

การพัฒนารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร



นายอภิรักษ์ พรหมศิริแสง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

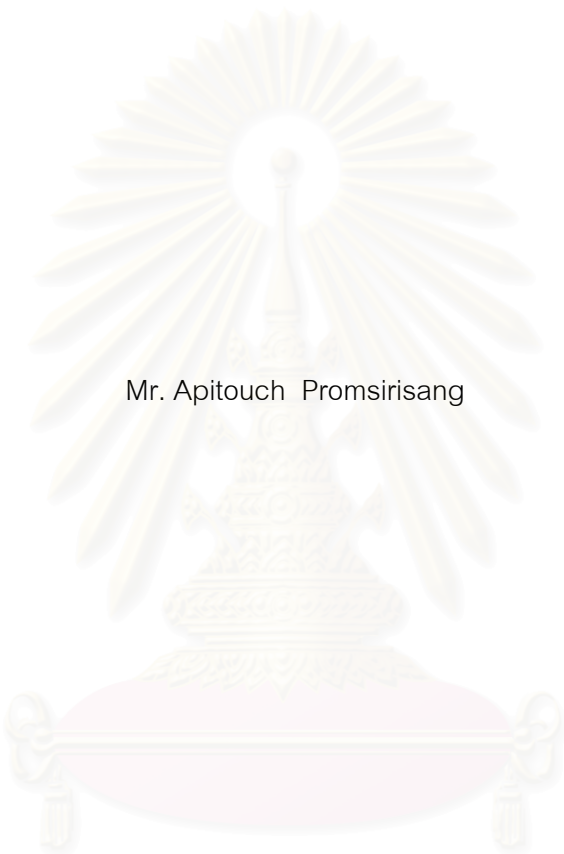
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0663-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE DEVELOPMENT OF ROOF DESIGN AND AIR CIRCULATION SYSTEM TO REDUCE
TEMPERATURE IN BUILDING



Mr. Apitouch Promsirisang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0663-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร
โดย	นายอภิรักษ์ พรหมศิริแสง
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรศักดิ์ บุรณากาญจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรศักดิ์ บุรณากาญจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พงศ์พันธ์ อนันต์วรดิษฐ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ พิรัช พัทธเศวต)

นายอภิรักษ์ พรหมศิริแสง : การพัฒนารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร (THE DEVELOPMENT OF ROOF DESIGN AND AIR CIRCULATION SYSTEM TO REDUCE TEMPERATURE IN BUILDING)
 อ. ที่ปรึกษา:ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสันต์ บุรณภาฎญจน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม:ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ 140 หน้า.
 ISBN 974-17-0663-4.

ในปัจจุบันสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยเริ่มมีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นยุคใหม่ จึงควรพัฒนาสู่แนวความคิดใหม่ โดยเฉพาะระบบเปลือกอาคาร (Building Envelope) ควรมีความสมบัติการป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และสามารถนำความเย็นจากสภาพแวดล้อมเข้าสู่อาคาร การออกแบบระบบเปลือกอาคารในส่วนหลังคานับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากหลังคาเป็นพื้นที่ที่ได้รับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ การเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้รูปแบบ ระบบการไหลเวียนอากาศในช่องหลังคา และการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน มาประยุกต์ใช้ควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้เข้าใกล้สภาวะน่าสบายมากที่สุด วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยใน โครงการโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา ใช้กล่องทดลองเป็นตัวทดสอบ ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ มวลสารวัสดุผนังหลังคา สีของวัสดุผนังหลังคา มวลสารของฉนวนความร้อน และการใช้การไหลเวียนอากาศในระบบหลังคา ขั้นตอนที่ 2 เทคนิคในการออกแบบระบบหลังคา เพื่อลดความร้อนของอุณหภูมิอากาศภายนอกเข้าสู่อาคาร โดยใช้อาคารโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือย่อมาตราส่วน 1:4 เป็นอาคารทดลอง และประเมินผล

ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 1 พบว่าในช่วงเวลากลางวัน วัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารน้อย คำนวณความร้อนสูง และมีการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นสั้นสูง ได้แก่ วัสดุหลังคาโลหะเคลือบสีดำ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและสูงกว่า วัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารมาก คำนวณความร้อนต่ำ และมีการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นสั้นต่ำ ส่วนในช่วงเวลากลางคืน วัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารน้อย คำนวณความร้อนสูง และมีการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวสูง ได้แก่ วัสดุหลังคาโลหะเคลือบสีที่มีผิวไม่มันวาว ส่งผลให้อุณหภูมิในกล่องทดลองต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และต่ำกว่า วัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารมาก คำนวณความร้อนต่ำ และมีการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวต่ำ นอกจากนี้การใช้การไหลเวียนอากาศใต้หลังคาส่งผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง โดยในช่วงเวลากลางวัน กล่องที่ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาจากภายนอก มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องสูงกว่ากล่องที่ใช้การไหลเวียนอากาศประมาณ 1.8 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงเวลากลางคืน กล่องที่ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาจากภายนอก มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องต่ำกว่ากล่องที่ใช้การไหลเวียนอากาศโดยเฉลี่ยประมาณ 1.9 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยเฉลี่ยประมาณ 2 องศาเซลเซียส ขั้นตอนที่ 2 นำผลการทดลองจากการทดสอบในขั้นตอนที่ 1 มาประยุกต์ทดสอบในอาคารทดลอง พบว่าการใช้หลังคาโลหะเคลือบสี กับฉนวนมวลสารน้อย ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศในช่วงเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิห้องชั้นบนในช่วงเวลากลางคืน ต่ำกว่าการใช้หลังคาโลหะเคลือบสีกับฉนวนมวลสารน้อย ประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยสรุปว่า การออกแบบระบบหลังคาที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และสามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืนที่ผิวหลังคามาใช้ ควรออกแบบระบบหลังคาดังนี้ 1) ใช้หลังคาที่มีมวลสารน้อย มีค่าการนำความร้อนสูง และต้องใช้ร่วมกับระบบฉนวนป้องกันความร้อนที่มีค่าการต้านทานความร้อนเพียงพอเพื่อป้องกันความร้อนจากผิวหลังคาเข้าสู่อาคาร 2) ระบบฉนวนป้องกันความร้อนต้องมีมวลสารน้อย เพื่อลดการสะสมความร้อนในช่วงเวลากลางคืน 3) เลือกวัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวสูง 4) ใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาจากภายนอกในเวลากลางวัน และ ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาจากภายนอกในเวลากลางคืน เพื่อสะสมความเย็นที่เกิดขึ้น 5) ช่องอากาศใต้หลังคา และระบบท่อระบายอากาศ ในระบบหลังคาควรมีความฝืดน้อยที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคา

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4374223225:MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: ROOF / EMISSIVITY / PASSIVE DESIGN

APITOUCH PROSIRISANG: THE DEVELOPMENT OF ROOF DESIGN AND AIR CIRCULATION SYSTEM TO REDUCE TEMPERATURE IN BUILDING. THESIS ADVISOR: DR. VORASUN BURANAKARN, THESIS CO-ADVISOR: PROFESSOR DR. SOONTORN BOONYATIKARN, 140 pp. ISBN 974-17-0663-4.

Temperatures are rising in Thailand, especially in the northeast, or Isan. This has led to the development of new architectural design concepts, especially the “building envelope”, which helps reduce thermal heat transference from the outside to interior spaces low temperature. Thus, employing the envelope concept for roof designs could be very important as the roof attracts high volumes of solar radiation. With a new roof design, this heat can be flowed and then ventilated during day time. This can then mean a much more comfortable interior environment. This thesis is a part of group research of “ Non-air conditioned elementary school design in the Northeastern Thailand” as a main theme.

This research has concluded in two parts. The first is to determine the different factors that affect the temperature of the area just below the roof. Boxes were employed to test factors that included the mass and colors of roofing materials, insulation mass and the ventilation system. The second phase is to a roof design techniques to reduce the transference of external heat into building interiors. A school building model in the northeast was used for collecting data.

Results of the first phase found that during day time, the box made from low mass roofing materials with high conductivity and high solar absorption, especially Metal roofing painted black. In fact, this caused higher interior temperatures than exterior. High mass, or high density, roofing materials with with low conductivity and low solar absorption gave the opposite results. Low mass, high conductivity and high emissivity materials over extended period, such as enameled metal, achieved lower interior temperatures than exterior during night time. Finally, high mass, or high density, roofing materials with low conductivity and low emissivity gave the opposite results. During the day time, the box was installed with a ventilation had a lower temperature than the box without the ventilation by 1.8 degrees C and during the night time, the box was installed without a ventilation had a lower temperature than the box with the ventilation by 1.9 degrees C as well as a lower a 2 degrees C inaverage temperature when compared to outside temperatures. In the second phase, results from phase 1 were employed for testing of the building model. Results showed that a low mass enameled metal roof would create a lower interior temperature in second floor rooms during the night time compared to asphalt shingle roof by about 1.5 degrees C.

In summary, a roof design that prevents thermal heat transference during the day time and uses night time radiation should be constructed as follows 1) a low mass material roof with high conductivity and a high insulation to prevent heat transfer to interior spaces. 2) the insulation system should still be low mass, or low density. 3) the roof materials should have a long-wave radiation 4) a roof ventilation system should be employed during daytime and turned off during the evenings to store nighttime cool air. 5) The roof cavity and duct systems should be loose friction loss, or open, as possible for the best flow.

Department Architecture

Student's signature.....

Field of study Architecture

Advisor's signature.....

Academic year 2001

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี จากความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับบุคคลต่างๆ เหล่านี้

- คณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วรสิทธิ์ บุรณากาญจน์ ที่ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา
ข้อเสนอแนะ ตลอดจนประสบการณ์ มุมมอง แง่คิดต่างๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งใน
การทำงาน ต่อไป
- กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้
- พ.อ.หญิง อำไพ พรหมสิริแสง มารดา ที่ให้ความสนับสนุน ในการศึกษาในระดับปริญญา
โท และยังเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย
- เจ้าหน้าที่ วังพญาไท โรงพยาบาลพระมงกุฎ ที่ให้ความสะดวกในการเก็บข้อมูลเบื้องต้น
ของการถ่ายเทความร้อนในส่วนหลังคาของวังพญาไท
- น.ส. สุภา รุจิรกุล สำหรับความช่วยเหลือ และกำลังใจในการทำงาน
- เพื่อน ๆ โรงเรียนโยธินบูรณะ
- เพื่อนๆสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
- เพื่อนร่วมรุ่น เทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นาย นรากร พุทธิไชย , นาย อานิก สกุลญานนทวิทยา , นส. สุธีวัน โฉ่หิ์สุวรรณ ,
นาย ไพบูลย์ วังรุ่งเรืองกิจ , นาย ชูพงษ์ ทองคำสมุทร , นาย อวิรุทธ์ อรุณพงศ์ , นส.
จันสอน สุฉิว , นส. ทิพวัลย์ ตั้งพูนทรัพย์ศิริ , นส. รุจิยา มุสิกะลักษณ , นส. พิมล
มาศ วรรณคนาพล , นาย มนต์ชัย อัสซพันธ์ , นส.เลิศลักษณ์ วุฒิสุวรรณ ทุกคน
สำหรับ มิตรภาพ ตลอดกาล

ทำยนี้ ขอขอบคุณ ธรรมชาติ ที่สร้างศาสตร์อันหลากหลาย ควรค่าแก่การค้นคว้าสืบไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฎ
การวิจัยร่วมโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน	9
2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร.....	14
2.3 คุณสมบัติของรังสีความร้อน	16
2.4 การคายรังสีความร้อน สู่อากาศในเวลากลางคืน	21
2.5 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ.....	24
2.6 ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศ.....	31
2.7 คุณลักษณะของฉนวนกันความร้อน.....	34
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย	41
3.1 การเตรียมการวิจัย.....	41
3.2 การกำหนดขั้นตอนในการทดลอง.....	49
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	58
3.5 การสรุปผล และเสนอแนะ	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการวิจัย	59
4.1 การทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิ ในช่องใต้หลังคา	59
4.2 เทคนิคในการออกแบบระบบหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร.....	92
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	102
5.1 ตัวแปรที่มีผลในการวิจัย.....	102
5.2 สรุปผลในการวิจัย.....	107
5.3 ข้อเสนอแนะ	110
รายการอ้างอิง.....	112
ภาคผนวก.....	115
ภาคผนวก ก. แผนภูมิไฮโครเมตริก.....	116
ภาคผนวก ข. ค่าการดูดซับและคายรังสีความร้อนของวัสดุ.....	118
ภาคผนวก ค. คุณสมบัติของวัสดุทางด้านความร้อน.....	121
ภาคผนวก ง. ค่าต้านทานความร้อนของอากาศ.....	128
ภาคผนวก จ. ค่าต้านทานความร้อนของระบบหลังคาในงานวิจัย.....	131
ภาคผนวก ฉ. ประมาณค่าศัพท์ในงานวิจัย.....	132
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	135

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงรายการวัสดุตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์.....	19
ตารางที่ 2-2 แสดงปริมาณการไหลของอากาศ เมื่ออัตราส่วนช่องเปิดเพิ่มขึ้น.....	32
ตารางที่ 3-1 แสดงตัวแทนวัสดุที่มีมวลสารต่างกัน ในการทดลองผลกระทบของมวลสารวัสดุผนังหลังคา	49
ตารางที่ 3-2 แสดงตัวแทนวัสดุที่มีค่าดูดซับความร้อนและค่าการคายรังสีความร้อนต่างกัน ในการทดลองผลกระทบของสีวัสดุผนังหลังคา.....	51
ตารางที่ 3-3 แสดงตัวแทนฉนวนกันความร้อนที่มีมวลสารแตกต่างกัน	54
ตารางที่ 3-4 แสดงการใช้การไหลเวียนอากาศ ในรูปแบบต่างๆ ในการทดลองผลกระทบการไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคา.....	56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1	แสดงคุณสมบัติการสะท้อนรังสี การดูดกลืนรังสี และการส่งผ่านรังสี.....	12
ภาพที่ 2-2	แสดงคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน ในแบบต่างๆ.....	10
ภาพที่ 2-3	แสดงคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน ในแนวระดับ	13
ภาพที่ 2-4	แสดงพฤติกรรมกระแสลมเมื่อมีความกดอากาศต่างกัน.....	24
ภาพที่ 2-5	แสดงความแตกต่างของความกดอากาศกับองศาหัดที่ต่างกัน	25
ภาพที่ 2-6	แสดงความแตกต่างของความกดอากาศกับองศาหัดที่ต่างกัน	26
ภาพที่ 2-7	การระบายอากาศแบบ Stack Effect.....	29
ภาพที่ 2-8	แสดงการไหลของอากาศ ที่มีสิ่งประกอบทางเข้าช่องลม ที่แตกต่างกัน.....	33
ภาพที่ 2-9	การไหลของความร้อนผ่านฉนวนมวลสาร.....	35
ภาพที่ 2-10	การไหลของความร้อนผ่านฉนวนประเภทสะท้อนความร้อน 3 ชั้น.....	36
ภาพที่ 2-11	แสดงการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร ในการติดตั้งฉนวนแบบต่างๆ.....	40
ภาพที่ 3-1	สถานที่ทำการทดลอง.....	41
ภาพที่ 3-2	รายละเอียดกล่องทดลอง.....	43
ภาพที่ 3-3	รายละเอียดกล่องทดลองเมื่อก่อสร้างเสร็จ	43
ภาพที่ 3-4	แสดงผังพื้นที่ชั้นล่างอาคารทดลอง	44
ภาพที่ 3-5	แสดงแสดงผังพื้นที่ชั้นบนอาคารทดลอง	44
ภาพที่ 3-6	แสดงรูปตัดอาคารทดลองแนว z-z	45
ภาพที่ 3-7	แสดงรูปตัดอาคารทดลองแนว x-x.....	45
ภาพที่ 3-8	รายละเอียดอาคารทดลองเมื่อก่อสร้างเสร็จ.....	46
ภาพที่ 3-9	เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บและบันทึกข้อมูลทางอุณหภูมิตั้งแต่.....	46
ภาพที่ 3-10	เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทางอุณหภูมิตั้งแต่ DATA LOGGER	47
ภาพที่ 3-11	แสดงการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิตั้งแต่รูปแบบต่างๆ.....	48
ภาพที่ 3-12	แสดงกล่องทดลองผลกระทบของมวลสารวัสดุฉนวนหลังคาต่อ อุณหภูมิตั้งแต่หลังคา	50
ภาพที่ 3-13	แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิตั้งแต่ในการทดลองผลกระทบของมวลสารวัสดุฉนวนหลังคาต่อ อุณหภูมิตั้งแต่หลังคา.....	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3-14 แสดงกล่องทดลองผลกระทบของสีวัสดุถุงหลังคาต่อ อุณหภูมิใต้ช่องหลังคา	52
ภาพที่ 3-15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหีวดอุณหภูมิ ในทดลองผลกระทบของ สีวัสดุถุงหลังคาต่ออุณหภูมิใต้ช่องหลังคา	53
ภาพที่ 3-16 แสดงกล่องทดลองผลกระทบของมวลสารฉนวนกันความร้อนต่อ อุณหภูมิใต้ช่องหลังคา	54
ภาพที่ 3-17 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหีวดอุณหภูมิ ในทดลองผลกระทบของ มวลสารฉนวนกันความร้อนต่ออุณหภูมิใต้ช่องหลังคา	55
ภาพที่ 3-18 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหีวดอุณหภูมิ ในทดลองผลกระทบของ การไหลเวียนอากาศต่ออุณหภูมิใต้ช่องหลังคา.....	56
ภาพที่ 3-19 แสดงวัสดุหลังคา และการไหลเวียนอากาศอากาศ ผลจากการทดลองท	

สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 2-1	แสดงแผ้วรังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศและบนผิวโลก.....16
แผนภูมิที่ 2-2	แสดงสัดส่วนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นองค์ประกอบของ พลังงานแสงอาทิตย์.....18
แผนภูมิที่ 2-3	แสดงการดูดซับความร้อน และการคายรังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุ ชนิดต่างๆ.....20
แผนภูมิที่ 2-4	แสดงการคายรังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุชนิดต่างๆ เมื่อมีมุมเปิดสู่ท้องฟ้าแตกต่างกัน.....23
แผนภูมิที่ 2-5	แสดงการเปรียบเทียบค่าต้านทานความร้อนของวัสดุต่างๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว.....38
แผนภูมิที่ 4-1	แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคากระเบื้องคอนกรีต.....62
แผนภูมิที่ 4-2	แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล.....63
แผนภูมิที่ 4-3	แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะเคลือบสีดำ.....64
แผนภูมิที่ 4-4	เปรียบเทียบอุณหภูมิในกล่องทดลอง จากวัสดุมุงประเภทต่างๆ.....65
แผนภูมิที่ 4-5	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศและ กล่องทดลองวัสดุหลังคา.....67
แผนภูมิที่ 4-6	เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองวัสดุหลังคา กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย.....68
แผนภูมิที่ 4-7	แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะเคลือบสีขาว.....71
แผนภูมิที่ 4-8	แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะไม่เคลือบผิว.....72

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 4-9	แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะเคลือบสีดำ.....73
แผนภูมิที่ 4-10	เปรียบเทียบอุณหภูมิในกล่องทดลอง จากวัสดุมุงประเภทต่างๆ.....74
แผนภูมิที่ 4-11	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศและ กล่องทดลองสีวัสดุหลังคา76
แผนภูมิที่ 4-12	เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองสีวัสดุหลังคา กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย.....77
แผนภูมิที่ 4-13	เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองสีวัสดุหลังคาโลหะเคลือบสีดำกับ หลังคาโลหะเคลือบสีเขียวดำ78
แผนภูมิที่ 4-14	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ กล่องหลังคาโลหะเคลือบสี เขียว และ กล่องหลังคาโลหะเคลือบสีดำ.....79
แผนภูมิที่ 4-15	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฉนวน ภายในกล่องทดลองมวลสารฉนวนกันความ ร้อน81
แผนภูมิที่ 4-16	เปรียบเทียบอุณหภูมิ ภายในกล่องทดลองมวลสารฉนวนกันความร้อนแบบ ต่างๆ82
แผนภูมิที่ 4-17	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ และ กล่องทดลองมวลสาร ฉนวนความร้อน.....84
แผนภูมิที่ 4-18	เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองมวลสารฉนวน ความร้อน กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย.....85
แผนภูมิที่ 4-19	เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละกล่องทดลอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการ ระบายอากาศ.....87
แผนภูมิที่ 4-20	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ และ กล่องทดลองหลังคาที่มี การใช้รูปแบบการไหลเวียนอากาศแตกต่างกัน.....89
แผนภูมิที่ 4-21	เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองหลังคาที่มีการ ไหลเวียนอากาศรูปแบบต่างๆ กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย.....90
แผนภูมิที่ 4-22	อุณหภูมิระบบหลังคาเมื่อให้หลังคาแอลพีดีส์ซิงเกิ้ล.....95
แผนภูมิที่ 4-23	อุณหภูมิระบบหลังคาเมื่อประยุกต์ใช้ผลจากการทดลองขั้นตอนที่1.....96

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 4-24	
เปรียบเทียบผลต่างของคุณหมุมิโดยเฉลี่ยของห้องชั้นบน กับ	
คุณหมุมิอากาศโดยเฉลี่ย.....	99
แผนภูมิที่ 4-25	
เปรียบเทียบผลต่างของคุณหมุมิโดยเฉลี่ยของห้องชั้นบน กับ	
คุณหมุมิอากาศโดยเฉลี่ย.....	81



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิจัยร่วมโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยร่วมเพื่อสร้างเป็นโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประกอบด้วย

เทคนิคการออกแบบส่วนของอาคารและการเลือกใช้วัสดุ โดยมีแนวคิดในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุต่างๆของอาคารเพื่อนำประโยชน์จากธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างสูงสุด ซึ่งแบ่งเป็น

- การพัฒนารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร (อภิรักษ์ พรหมสิริแสง, 2544)
- การพัฒนาผนังวัสดุธรรมชาติพื้นถิ่นเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายในอาคารกรณีศึกษา อาคารเรียนไม่ปรับอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย (ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2544)
- การปรุงแต่งสภาวะน่าสบาย โดยอาศัยอิทธิพลจากผิวสัมผัสดิน (ไพบุลย์ วัชรุ่งเรืองกิจ, 2544)

เทคนิคการออกแบบด้านแสงสว่างและการมองเห็น โดยมีแนวคิดในการออกแบบโดยแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงความสบายทางการมองเห็น เพื่อให้เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งแบ่งเป็น

- การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในห้องเรียนในชนบท (อวิรุทธ์ อรุพงษ์ศา, 2544)
- การจัดวางแสงประดิษฐ์ให้สัมพันธ์กับผังห้องเรียนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (อานิก สกุลญานานทวิทยา, 2544)
- แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของแสงภายในห้องเรียนเพื่อความสบายตาและเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนในชนบท (ทิพวัลย์ ตั้งพูนทรัพย์ศิริ, 2544)

เทคนิคการออกแบบเพื่อการปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร โดยนำปัจจัยธรรมชาติมาใช้ในการปรับสภาพแวดล้อมเพื่อเพิ่มช่วงเวลาที่อยู่ในสภาวะสบายของที่ตั้งอาคารให้มากขึ้น ประกอบด้วย

- การปรับสภาพแวดล้อมเพื่อเอื้อประโยชน์ต่อห้องเรียนธรรมชาติในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง (มนต์ชัย อัจฉพันธ์, 2544)
- การลดอุณหภูมิวัสดุปูพื้นภายนอกอาคารโดยวิธีการระเหย (เลิศลักษณ์ วุฒิสุวรรณ, 2544)

เทคนิคการประเมินอาคาร ประกอบด้วย

- การพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของกรอบอาคาร (สุธีวัน โฉ่สุวรรณ, 2544)
- การเปรียบเทียบทางเลือกการสร้างสภาวะน่าสบายทางด้านความร้อนในห้องเรียนไม่ปรับอากาศ (รุจิยา มุสิกะลักษณ์, 2544)
- ดัชนีพลังงานสะสมรวมของอาคารและวัสดุก่อสร้างในช่วงการก่อสร้างและรื้อถอน (พิมลมาศ วรรณคนาพล, 2544)
- แนวทางในการประเมินค่าเสียงในอาคารเรียนระดับประถมศึกษา (จันสอน สุลิวง, 2544)

การออกแบบโรงเรียนท้องถิ่นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวิธีการธรรมชาติ (นรากร พุทธิไชย, 2544) เป็นการออกแบบโรงเรียน ที่นำเอาเทคนิคต่างๆ ในการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ มาวิเคราะห์ ผสมผสาน เป็นแบบอาคารโรงเรียนที่มีความเหมาะสมต่อการเรียนรู้ในสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

RELATED RESEARCH OF NON-AIR CONDITIONED ELEMENTARY SCHOOL DESIGN IN THE NORTHEASTERN PART OF THAILAND

This thesis is a part of group research, consists of:

Concepts of building and building materials are to utilize and optimize the natural assets by considered :

- THE DEVELOPEMENT OF ROOF DESIGN AND AIR CIRCULATION SYSTEM TO REDUCE TEMPERATURE IN BUILDING (PROMSIRISANG, APITOUCH, 2001)
- A DEVELOPMENT OF BUILDING THERMAL WALL FROM LOCAL NATURAL MATERIALS , CASE STUDY : NON-AIR CONDITIONED STUDY ROOM NORTHEASTERN REGION , THAILAND (THONGKAMSAMUT, CHOOPONG, 2001)
- A BENEFIT OF THERMAL COMFORT FROM EARTH CONTACT SURFACE (WANGRUNGRUANGKIT, PAIBOON, 2001)

Concepts of lighting design and visual comfort are to integrated daylight and artificial light by considered:

- DAYLIGHT UTILIZATION FROM CLERESTORY IN RURAL CLASSROOM (URUPONGSA, AVIRUTH, 2001)
- THE PLANING OF ARTIFICIAL LIGHT REGARDING CLASSROOM PLAN FOR INCREASING ENERGY PERFORMANCE (SAKULYANONDVITTAYA, ARNIC. 2001)
- AN APPROACH TO IMPROVE VISUAL COMFORT IN CLASSROOM IN RURAL AREAS (TANGPOONSUPSIRI, TIPPAWAN, 2001)

Concept of modifying microclimate is to improve the comfort condition by natural assets considered:

- THE USE OF SITE TO MODIFY THERMAL COMFORT CONDITION FOR NATURE CLASSROOM IN LOWER NORTHEASTERN REGION (AUTCHAPUN, MONCHAI, 2001)
- EXTERIOR SURFACE TEMPERATURE REDUCTION THROUGH EVAPOLATION PROCESS (VUTTISUWAN, LERTLUX, 2001)

Concept of evaluation school performance is considered:

- A METHOD TO DEVELOP AN ENVELOPE INDEX FOR ENERGY EFFICIENCY BUILDING. (LOHASUWAN,SUTEewan, 2001)
- COMPARATIVE SOLUTION TO ACHIEVE THERMAL COMFORT IN NON-AIR CONDITIONED CLASSROOM (MUSIKALUCK, ROUJIYA. 2001)
- THE EMERGY INDEX OF BUILDINGS AND BUILDING MATERIALS DURING CONSTRUCTION AND DEMOLITION (WANKANAPON, PIMONMART. 2001)
- AN APPROACH TO FORMULATE ACOUSTIC EVALUATION INDEX IN PRIMARY SCHOOL (SOULIVONG, CHANSONE, 2001)

PASSIVE DESIGN FOR SCHOOL IN NORTHEASTERN REGION (PUTTHACO, NARAKORN, 2001) is the design of school which integrated, analyzed and optimized all natural factors ,and techniques to create appropriate school for better learning environment.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศที่แตกต่างกัน จะเป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดรูปแบบของสถาปัตยกรรมในแต่ละพื้นที่ ประเทศไทยอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ลักษณะของสถาปัตยกรรมจึงมีลักษณะเฉพาะในภูมิภาคนี้ ดังเห็นได้จากรูปแบบสถาปัตยกรรมที่มีมาในอดีต แต่สภาพแวดล้อมในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เนื่องจากการใช้ทรัพยากรต่างๆ โดยขาดการจัดการทางด้านพลังงาน โดยเฉพาะการใช้พลังงานที่ไม่สามารถสร้างทดแทนได้ (Non-renewable Energy) อย่างฟุ่มเฟือย เป็นที่มาของสภาวะเรือนกระจก (Green house Effect) และสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ทำให้ลักษณะภูมิอากาศในปัจจุบันมีความรุนแรงทางด้านอุณหภูมิอย่างมาก โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ทั้งในฤดูร้อนอากาศจะร้อนจัด และในฤดูหนาวอากาศก็จะหนาวจัดเช่นกัน ลักษณะรูปแบบของสถาปัตยกรรมท้องถิ่นที่เคยใช้ในอดีตไม่สามารถสร้างสภาวะน่าสบายให้แก่ผู้อยู่อาศัยได้ ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงรูปแบบของสถาปัตยกรรม ให้มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน จึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญอย่างยิ่ง แนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมพื้นที่ยุคใหม่ จึงควรพัฒนาสู่แนวความคิดใหม่ โดยเฉพาะการพัฒนากระบวนการเปลือกอาคาร (Building Envelope) ควรมีคุณสมบัติการป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และสามารถนำความเย็นจากสภาพแวดล้อมเข้าสู่อาคาร เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารเข้าใกล้สภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ให้มากที่สุด

การออกแบบปรับปรุงระบบเปลือกอาคารในส่วนหลังคา นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากหลังคาเป็นพื้นที่ ที่ได้รับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากกว่าส่วนอื่นๆ ดังจะเห็นได้จากอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร โดยเฉพาะชั้นที่ติดกับหลังคาจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเกือบตลอดเวลา (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) งานวิจัยนี้จึงเป็นการเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้ รูปแบบ รูปทรง ระบบการลอยตัวของอากาศในช่องหลังคา และการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับท้องฟ้าในเวลากลางคืน ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้เข้าใกล้สภาวะน่าสบายมากที่สุด เป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานในอาคาร พัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากร รวมทั้งไม่สร้างมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในช่วงกระบวนการผลิตและช่วงการใช้งานอีกด้วย งานวิจัยนี้ จึงเป็นข้อเสนอแนะแนวทางหนึ่งในการสร้างสถาปัตยกรรมสีเขียว (Green

Architect) ที่อาศัยปัจจัยต่างๆทางธรรมชาติรอบตัว มาเป็นประโยชน์ในการออกแบบ อันเป็นแนวทางในการสร้างสถาปัตยกรรมแบบยั่งยืน (Sustainable Architect)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการศึกษาการพัฒนาารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร ได้กำหนดวัตถุประสงค์ในการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลตัวแปรต่างๆ ระบบหลังคา ที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอาคาร
2. เพื่อวิเคราะห์และประยุกต์ใช้ ตัวแปรดังกล่าว เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้เข้าใกล้สภาวะน่าสบายมากที่สุด
3. เพื่อหาแนวทางในการออกแบบระบบหลังคาที่เหมาะสมกับภูมิอากาศร้อนชื้น เพื่อการประหยัดพลังงาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การทำวิจัยในครั้งนี้ ได้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ได้กำหนดขอบเขตในการวิจัย ไว้ดังต่อไปนี้

1. คำนึงถึงเฉพาะตัวแปรที่ส่งผลกระทบทางด้านอุณหภูมิเท่านั้น ส่วนตัวแปรอื่น เช่น ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ฯลฯ ให้ถือว่าส่งผลกระทบอย่างเท่าเทียมกัน
2. การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเฉพาะรูปแบบสำหรับอาคารที่ไม่ใช้ระบบปรับอากาศเท่านั้น
3. ก่อทดลองจะวางแนวพื้นหลังคา หันเข้าสู่ทิศใต้ เพื่อรับอิทธิพลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์อย่างเต็มที่ ในช่วงการทำวิจัย
4. การวิจัยในครั้งนี้ ยังไม่รวมถึงการป้องกันการเกิดการควบแน่นภายในผิววัสดุ และช่องใต้หลังคา
5. สถานที่ทำการทดลอง ใช้พื้นที่ในเขตปริมณฑลของกรุงเทพมหานคร เป็นตัวแทนของพื้นที่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น
6. การทำวิจัยครั้งนี้ สามารถเก็บผลการทดสอบได้ในช่วงเดือนธันวาคม 2544 ถึงเดือนเมษายน 2545 ไม่ครอบคลุมตลอดปี เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านระยะเวลาในการทำวิจัย

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

- หลังคา (Roof) หมายถึง สิ่งที่ปกคลุมส่วนบนของอาคารสำหรับป้องกันแดดและฝน รวมทั้งโครงสร้างหรือสิ่งอื่นใด ซึ่งประกอบขึ้นเพื่อยึดเหนี่ยวสิ่งปกคลุมนี้ให้มั่นคงแข็งแรง
- สภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) หมายถึง สภาวะที่ร่างกายไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวเกินไป โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 6 ตัวแปร (Fanger, 1967) คือ (1) อุณหภูมิอากาศ (2) ความชื้นสัมพัทธ์ (3) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (4) ความเร็วลม (5) อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย และ (6) เสื้อผ้าที่สวมใส่
- ความต้านทานความร้อน (Thermal of Heat Resistance) หมายถึง คุณสมบัติของวัสดุในการทนทานต่อความร้อนโดยปราศจากการเสื่อมสภาพหรือการเสียหาย
- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb Temperature) หมายถึง อุณหภูมิของวัตถุที่สามารถอ่านได้จากเทอร์มิสเตอร์ทั่วไปหรือเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยปกติจะต้องควบคุมไม่ให้ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของแหล่งกำเนิดความร้อนต่างๆ เช่น ดวงอาทิตย์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดการดูดซับความร้อนระหว่างตัวรับรู้และแหล่งกำเนิดความร้อน
- การลอยตัวของอากาศร้อน (Stack Effect / Chimney Effect) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่อากาศร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็น จึงลอยตัวสูงขึ้นไปในอากาศเบื้องบน ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่จุดสูงสุดสูงกว่า (ร้อนกว่า) อุณหภูมิที่อยู่ข้างล่าง ในกรณีนี้หากมีช่องเปิดทั้งข้างล่างและข้างบน ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศออกทางส่วนบนสุดของอาคาร และอากาศดังกล่าวจะถูกแทนที่ด้วยอากาศที่เย็นกว่าจากช่องเปิดด้านล่าง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ให้ทราบถึงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ของระบบหลังคา ที่มีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา
2. ทราบแนวทางในการติดตั้งระบบฉนวนความร้อน เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
3. ทราบแนวทางเลือกวัสดุหลังคา ที่สามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน(Night sky Radiation)
4. ทราบแนวทางออกแบบระบบหลังคา เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้เข้าใกล้สภาวะน่าสบายมากที่สุด

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อหาแนวทางในการการพัฒนารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร สามารถแบ่งขั้นตอนการวิจัย ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทบทวนวรรณกรรม

ศึกษาทฤษฎี บทความ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาหาอิทธิพลของตัวแปรและแนวทางในการออกแบบระบบหลังคา ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้เข้าใกล้สภาวะน่าสบายมากที่สุด โดยกำหนดหมวดหมู่ตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังนี้

- คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน
- การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร
- คุณสมบัติของรังสีความร้อน
- การคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน
- การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ
- ประสิทธิภาพในการไหลเวียนอากาศ
- คุณสมบัติฉนวนป้องกันความร้อน

ขั้นตอนที่ 2 สร้างอาคารทดลอง และเตรียมอุปกรณ์ในการวิจัย

- สร้างกล่องทดลอง ขนาดประมาณ กว้าง 0.80 เมตร ยาว 1.00 เมตร สูง 0.80 เมตร โดยใช้กล่องทดลองเป็นตัวทดสอบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ (ดูรายละเอียดอาคารในบทที่ 3)
- สร้างอาคารทดลอง โรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจำลองสร้างอาคารในมาตราส่วน 1 : 4 เป็นอาคาร 2 ชั้น มีขนาดประมาณ กว้าง 3 เมตร ยาว 5.20 เมตร สูง 4.85 เมตร โดยใช้ขนาดวัสดุก่อสร้างและขนาดของช่องว่างช่องอากาศตามขนาดอาคารจริง (ดูรายละเอียดอาคารในบทที่ 3)
- เตรียมเครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งติดตั้งโปรแกรมในการบันทึกข้อมูล สำหรับเครื่อง Data Logger System 2000
- เตรียมเครื่อง Data Logger System 200 เป็นตัวรับสัญญาณ โดยใช้สายโทรศัพท์แบบ 2 สายเป็นสายวัดอุณหภูมิ โดยจะแปลงสัญญาณมาเก็บบันทึกในเครื่องคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนที่3 ทดสอบความน่าเชื่อถือ ของอุปกรณ์และเครื่องมือ ในการวิจัย

- ทำการทดสอบสายสัญญาณวัดข้อมูล และปรับตั้งค่าตัวประกอบ แต่ละสายสัญญาณให้มีข้อมูลแตกต่างกันน้อยที่สุด
- ทำการทดสอบกล่องทดลองและอาคารทดลอง เพื่อป้องกันผลกระทบจากตัวแปรแทรกสอด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดของการเก็บข้อมูล เช่น ความชื้นที่สะสมในมวลสาร , ความชื้นจากสี , ความร้อนที่เกิดจากระยะการบ่มตัวของคอนกรีต , การรั่วซึมจากอากาศภายนอกของตู้ภายในอาคารทดลอง(Infiltration) เป็นต้น

ขั้นตอนที่4 ทำการทดสอบ ประเมินผลโดยเก็บข้อมูลจากกล่องทดลอง และอาคารทดลอง

1. ทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา
 การทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา ทำการทดสอบโดยอาศัยกล่องทดลอง เนื่องจากสามารถควบคุมอิทธิพลของตัวแปรอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง กับตัวแปรที่นำมาทดสอบได้อย่างชัดเจน มีตัวแปรในการทดสอบดังนี้

การทดลองที่1 ผลกระทบของมวลสารของวัสดุผนังหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

คัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารแตกต่างกัน ควบคุมสภาวะภายนอกของวัสดุผนังหลังคาให้มีค่าการดูดซับความร้อนในช่วงคลื่นสั้น และ ค่าการคายรังสีความร้อนในช่วงคลื่นยาว ใกล้เคียงกัน โดยคัดเลือกวัสดุที่ก่อสร้างสะดวก ไม่มีสารพิษสะสมที่มีผลกระทบต่อผู้ใช้อาคาร วัสดุผนังหลังคาที่นำมาใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

- กระเบื้องคอนกรีต สีเทานกพิราบ หน้า 12 ม.ม.
- หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล (ไม้อัดหนา 12 ม.ม. ปิดด้วยแผ่นยางกันซึม)
- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสี) หน้า 0.5 ม.ม.

โดยแบ่งกรณีในการศึกษาดังนี้

- กรณีการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
- กรณีการถ่ายเทรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน

การทดลองที่2 ผลกระทบของสีวัสดุผนังหลังคา ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

โดยคัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่มีสีแตกต่างกัน และค่าการคายรังสีเฉื่อยในช่วงคลื่นยาว (long-wave emissivity) และค่าดูดซับรังสีในช่วงคลื่นสั้น (solar absorbtion) ที่แตกต่างกัน วัสดุผนังหลังคาที่นำมาใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสีขาว) หนา 0.5 ม.ม.
- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี ไม่เคลือบผิว) หนา 0.5 ม.ม.
- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสีดำ) หนา 0.5 ม.ม.

โดยแบ่งกรณีในการศึกษาดังนี้

- กรณีการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
- กรณีการถ่ายเทรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน

การทดลองที่3 ผลกระทบของมวลสารของฉนวนป้องกันความร้อน ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

โดยคัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารของฉนวนกันความร้อนแตกต่างกัน และค่าต้านทานความร้อน(R-value) ที่ใกล้เคียงกัน และควบคุมวัสดุผนังให้เหมือนกันทุกกล่องทดลอง ฉนวนกันความร้อนที่นำมาใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

- ฉนวนเคลือบแบบผ้าห่ม(ห่อด้วยผ้าดิบ) หนา 6 นิ้ว
- ฉนวนใยแก้วแบบผ้าห่ม หนา 3 นิ้ว
- ฉนวนโฟมEPS ที่ความหนาแน่น 1 ปอนด์ ต่อ ล.บ.ฟุต หนา 3 นิ้ว

โดยแบ่งกรณีในการศึกษาดังนี้

- กรณีการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
- กรณีการถ่ายเทรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน

การทดลองที่4 ผลกระทบของการไหลเวียนอากาศ ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

ในการทดลองนี้ได้ควบคุมตัวแปรวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารของฉนวนกันความร้อนเป็นตัวแปรคงที่ แล้วมีการปรับเปลี่ยนการไหลเวียนอากาศให้มีความแตกต่างกันในแต่ละกล่องทดลอง ในแต่ละกล่องทดลองจะมีการไหลเวียนอากาศที่แตกต่างกันดังนี้

- กล่องที่เปิดการไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง
- กล่องที่เปิดการไหลเวียนอากาศในช่วงกลางคืน(20.00น.-7.00น.) และเปิดการไหลเวียนอากาศในช่วงกลางวัน(7.00น. - 20.00น.)
- กล่องที่เปิดการไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง

โดยแบ่งกรณีในการศึกษาดังนี้

- กรณีการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
- กรณีการถ่ายเทรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน

2. เทคนิคในการออกแบบระบบหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร

จากการทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาข้างต้น ได้นำตัวแปรดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ ในอาคารทดลอง กรณีศึกษาโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อศึกษาหาแนวโน้มของผลกระทบทางด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในอาคารทดลอง โดยมีรูปแบบการศึกษาดังนี้

กรณีที่1 ระบบหลังคาทั่วไป

เมื่อใช้หลังคามวลสารปานกลาง : หลังคาแอสฟัลต์ซีเมนต์ (ไม้อัดหนา 12 ม.ม. ปิดด้วยแผ่นยางกันซึม) +ฉนวนมวลสารน้อย : ฉนวนใยแก้วแบบผ้าห่มหนา 8 นิ้ว

กรณีที่2 ระบบหลังคา จากการทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร

เมื่อใช้วัสดุและวัสดุผนังหลังคาจากการทดลองที่1และ2 +ฉนวนหลังคาจากการทดลองที่3 : และ การเปิดปิดช่องใต้หลังคา จากการทดลองที่4

โดยแบ่งกรณีในการศึกษาดังนี้

- กรณีการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
- กรณีการถ่ายเทรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน

ขั้นตอนที่ 6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

นำผลการทดลองในแต่ละการทดสอบ นำมาวิเคราะห์หา ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และการนำความเย็นในช่วงเวลากลางคืน นำมาผสมผสาน หา รูปแบบระบบหลังคาที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยใช้หลักการทางสถิติ เปรียบเทียบผลการทดลอง แสดงออกในรูปแบบภูมิ , กราฟ วิเคราะห์ถึง ที่มา สาเหตุ จากผลการทดลองที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 7 สรุปผล และเสนอแนะ

นำผลวิเคราะห์จากการทดลอง นำมาสรุปผลแนวทางการออกแบบระบบหลังคาที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น รวมทั้งอธิบายข้อจำกัดในการวิจัย ปัญหาที่เกิดขึ้น กระบวนการวิจัย และเสนอแนะแนวทางแก้ไขเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ศึกษา และผู้ทำวิจัยในแนวทางนี้ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้ศึกษาทฤษฎี บทความ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาหาอิทธิพลของตัวแปรและแนวทางในการออกแบบระบบหลังคา ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้เข้าใกล้สภาวะน่าสบายมากที่สุด โดยแบ่งเรื่องในการศึกษา ดังนี้

- คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน
- การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร
- คุณสมบัติของรังสีความร้อน
- การคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน
- การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ
- ประสิทธิภาพในการไหลเวียนอากาศ
- คุณสมบัติฉนวนป้องกันความร้อน

2.1 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน

คุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อน โดยปรกติหลังงานความร้อนจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยจะมีรูปแบบการถ่ายเทความร้อน แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ส่วนใหญ่รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร จะมีทั้ง 3 รูปแบบ แล้วแต่กรณีที่การถ่ายเทความร้อนรูปแบบไหนจะสำคัญมากกว่ากัน

2.1.1 การนำความร้อน (Conduction)

เป็นปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อวัตถุ หรือเกิดจากการสัมผัสของเนื้อวัตถุ การถ่ายเทความร้อนเกิดจากการสั่นของโมเลกุลในเนื้อวัตถุที่มีอุณหภูมิสูง ส่งต่อสูโมเลกุลข้างเคียง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนเกิดขึ้น การนำความร้อน มีสมการในการคำนวณ ดังนี้ (William T. Meyer, 1979)

$$Q = U * A * (T_i - T_o)$$

เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) (Btu/h. *ft² *°F)

A = พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (ft²)

T_i = อุณหภูมิที่สูงกว่า (°F)

T_o = อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (°F)

2.1.2 การพาความร้อน (Convection)

เป็นปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวกลางจำพวกของไหล (Fluid) และก๊าซ เมื่อของไหลสัมผัสวัสดุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน จะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานขึ้นในลักษณะการพาความร้อน การพาความร้อน มีสมการในการคำนวณ ดังนี้ (William T. Meyer, 1979)

$$Q = h * A * (T_a - T_s)$$

เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา (Btu/h)

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ของฟิล์มฟิสิกส์บริเวณที่ของไหลผ่าน ที่ (Btu/h. *ft² *°F)

A = พื้นที่ของผิววัสดุ บริเวณที่ของไหลผ่าน (ft²)

T_a = อุณหภูมิอากาศ (°F)

T_s = อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ (°F)

2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

เป็นปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อน จากวัสดุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์ (0 K) โดยอาศัยสเปกตรัมการแผ่รังสี คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) ที่เปล่งออก จากพื้นผิวนั้นๆ โดยการแผ่รังสีความร้อนนี้จะแผ่กระจายออกทุกทิศทาง วัสดุที่แผ่รังสีออกมา โดยไม่ได้รับรังสีความร้อนจากวัตถุอื่น อุณหภูมิของวัสดุนั้นจะลดลง ในทางกลับกัน ถ้าวัสดุได้รับ

การแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุอื่น ๆ มากกว่า การแผ่รังสีความร้อนของตัวมันเอง อุณหภูมิของวัตถุ นั้นก็จะเพิ่มขึ้น การแผ่รังสีความร้อน มีสมการในการคำนวณ ดังนี้ (William T. Meyer, 1979)

$$Q = \delta * \epsilon * A * (T_1 - T_2)$$

เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อน (Btu/h)

δ = ค่าคงที่ของ Stefan-Boitzmann = 1.7135×10^{-9} (Btu/h. *ft² *°F)

ϵ = ค่าการคายรังสีความร้อนของผิววัสดุ

A = พื้นที่ของผิววัสดุ บริเวณที่แผ่รังสี (ft²)

T_1 = อุณหภูมิผิววัสดุ ที่แผ่รังสี (°F)

T_2 = อุณหภูมิที่ได้รับการแผ่รังสี (°F)

เมื่อวัตถุใดๆ ได้รับการแผ่รังสีความร้อน วัสดุนั้นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับว่ารังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมดนั้นได้ถูก สะท้อนรังสี(Reflectance: ρ) และรังสีที่ถูกส่งผ่าน (Transmittance: τ)ไปมากน้อยเท่าไร ส่วนรังสีความร้อนที่เหลือจะถูก ดูดกลืนรังสี (Absorptance: α) เข้าสู่เนื้อวัตถุ ซึ่งจะเป็ตัวแปรที่ทำให้วัสดุนั้นๆมีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้(William T. Meyer, 1979)

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

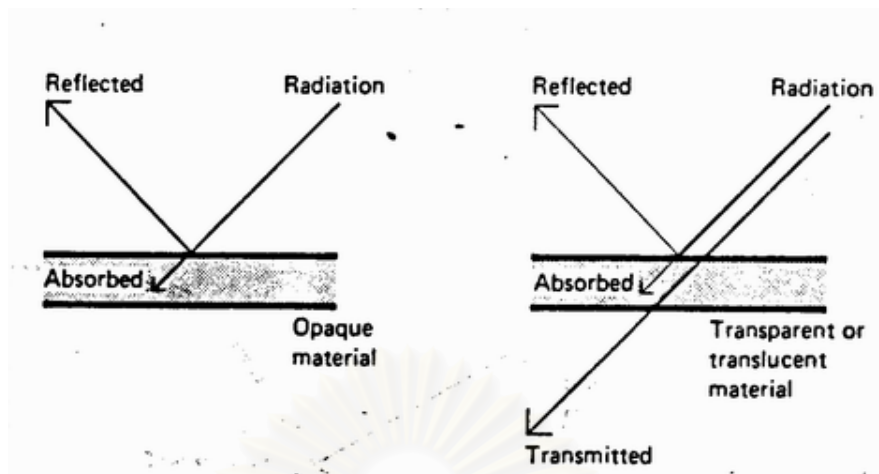
ρ = ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน

α = ค่าการดูดกลืนรังสีความร้อน

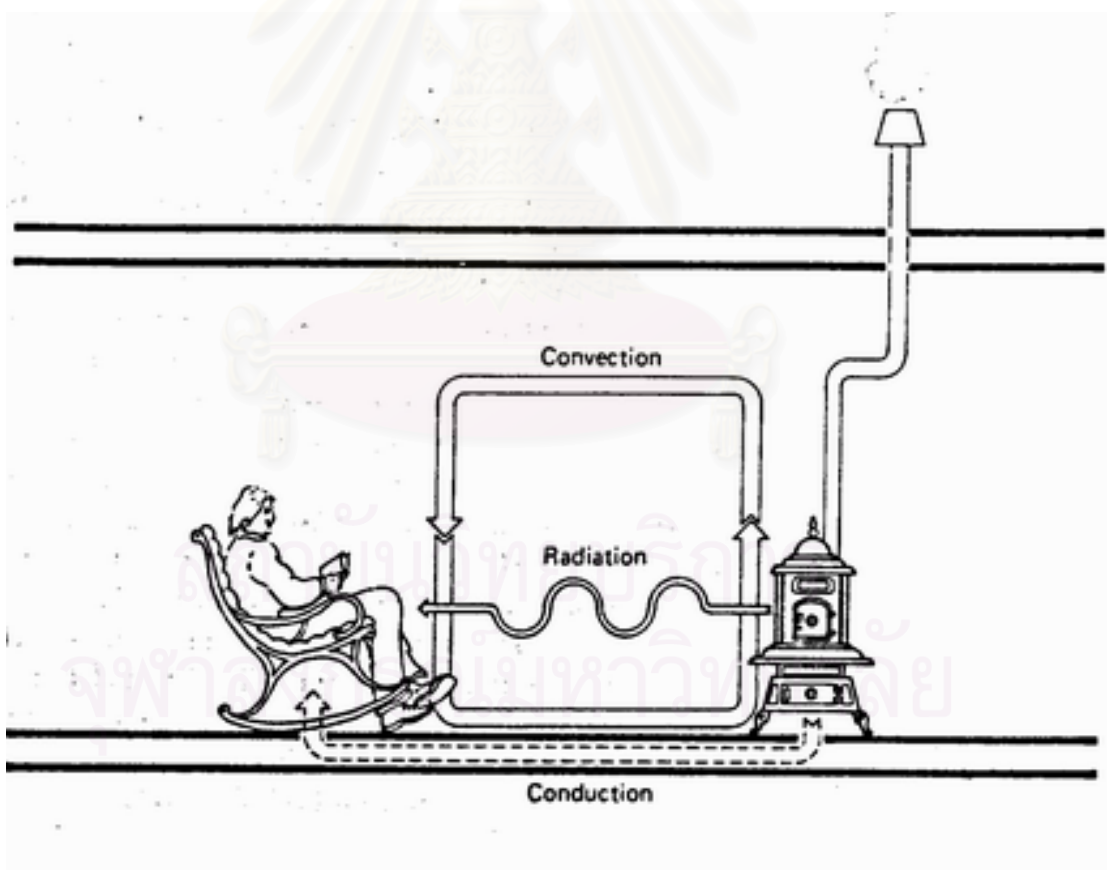
τ = ค่าการส่งผ่านรังสีความร้อน

จากสมการดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าวัสดุทึบแสง(Opaque Material) จะไม่มีมีรังสีที่ถูกส่งผ่าน (Transmittance: τ) ดังนั้นจะได้สมการดังนี้ $\rho + \alpha = 1$

ส่วนวัสดุที่โปร่งแสงที่รังสีความร้อนสามารถส่งผ่าน (Transparent or Translucent Material) ได้สมการดังนี้ $\rho + \alpha + \tau = 1$

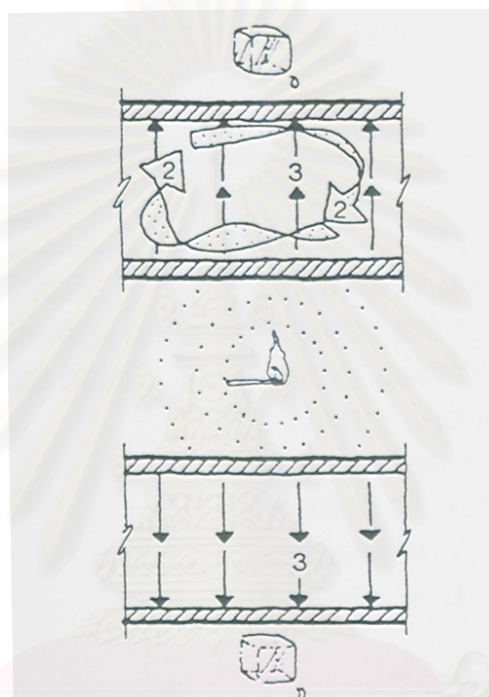


ภาพที่2-1 แสดง คุณสมบัติการสะท้อนรังสี การดูดกลืนรังสี และการส่งผ่านรังสีความร้อนของวัสดุ
 ที่มา: William T. Meyer, *Energy Economics and Building Design*, (New York: Mcgraw-Hill Book Company, 1979) ,p.14.



ภาพที่2-2 แสดง คุณสมบัติการการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ
 ที่มา: William T. Meyer, *Energy Economics and Building Design*, (New York: Mcgraw-Hill Book Company, 1979) ,p.14.

- เมื่อเป็นการถ่ายเทความร้อนจากด้านล่างสู่ด้านบน (เมื่ออุณหภูมิผิววัสดุภายในอาคารสูงกว่า อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคา) จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจาก การพาความร้อน (Convection (2)) ในช่องอากาศของหลังคา เนื่องจากการลอยตัวของโมเลกุลอากาศที่ร้อน และการแทนที่ของโมเลกุลอากาศที่เย็นกว่า และ การถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี (Radiation (3)) โดยจะเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนทะลุผ่านช่องว่าง ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากพื้นผิวของวัสดุที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยัง พื้นผิวของวัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกทิศทาง



An air space in a roof or floor

ภาพที่ 2-3 แสดง คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน ในแนวระนาบ

ที่มา: Stein, B. and Reynold, J.S. Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8th Edition. (New York: John Willy & Sons, 1992) ,p.116.

- เมื่อเป็นการถ่ายเทความร้อนจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง (เมื่ออุณหภูมิผิววัสดุภายนอกอาคารสูงกว่า อุณหภูมิผิวภายในอาคารหลังคา) โดยการถ่ายเทความร้อนจาก การแผ่รังสี (Radiation (3)) โดยจะเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนทะลุผ่านช่องว่าง ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากพื้นผิวของวัสดุที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยัง พื้นผิวของวัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกทิศทาง ส่วน การพาความร้อน (Convection (2)) แทบจะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากการลอยตัวของโมเลกุลอากาศที่ร้อนกว่าด้านบน ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า โมเลกุลอากาศที่เย็นกว่าด้านล่าง จึงไม่เกิดการไหลเวียนของโมเลกุลอากาศขึ้น

2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

ระบบเปลือกอาคาร ซึ่งหมายถึงทุกๆส่วนของอาคารที่สัมผัสกับอากาศภายนอกอาคาร จำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ส่วนที่บดแสง และส่วนโปร่งแสง ระบบเปลือกอาคารที่ดีจะต้องช่วยลดปริมาณความร้อนและความชื้นที่เข้าสู่อาคาร และ หากเป็นไปได้ควรมีการนำเอาความเย็นจากสภาพแวดล้อมบริเวณที่ตั้งมาใช้พร้อมกับการใช้ประโยชน์จากปัจจัยธรรมชาติ

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะส่วนระบบเปลือกอาคารที่ทึบแสง ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเนื่องกับการวิจัย โดยมีสมการในการคำนวณ ดังนี้ (ASHRAE, 1989)

$$Q = U * A * (T_i - T_o)$$

- เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา
 U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) (Btu/h. *ft² *°F)
 A = พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (ft²)
 T_i = อุณหภูมิที่สูงกว่า (°F)
 T_o = อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (°F)

หรือ $Q = U * A * CLTD$

- เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา
 U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) (Btu/h. *ft² *°F)
 A = พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (ft²)
 $CLTD$ = ภาวะความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า (Cooling Load Temperature) (°F)

ทั้งสองสมการสามารถคำนวณระบบเปลือกอาคารที่ทึบแสงได้เช่นกัน

โดยจะใช้สูตร $Q = U * A * (T_i - T_o)$ เมื่อ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในอาคารคงที่ (Steady State Condition)

โดยจะใช้สูตร $Q = U * A * CLTD$ เมื่อ ต้องการค่าปริมาณความร้อนที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยค่า CLTD จะเป็นเป็นค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ไม่คงที่ มีอิทธิพลจากภายนอก เช่น ตำแหน่งที่ตั้ง เวลา วัน เดือน ปี อิทธิพลของมวลสาร อิทธิพลของแสงแดด สีอาคาร อิทธิพลของสภาพแวดล้อม

การปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวทำให้มีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงยิ่งขึ้น เนื่องจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน ($T_i - T_o$) จะมีค่าแตกต่างจากค่าความเป็นจริงอย่างมาก จึงได้มีการประยุกต์นำเอาอิทธิพลของตัวแปร ของแสงอาทิตย์ และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยมีสมการในการคำนวณ ดังนี้ (ASHRAE, 1989)

$$\text{Sol-air Temperature (} T_e \text{)} = T_{out} + I * \frac{\alpha}{h_o} - \frac{T^M}{R} \frac{1}{h_o}$$

$$T_e = \text{Sol-air Temperature (} ^\circ\text{F)}$$

$$T_{out} = \text{อุณหภูมิของอากาศภายนอก (} ^\circ\text{F)}$$

$$I = \text{รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด}$$

$$\text{(Total Solar Radiation Incident on the Surface) (Btu/h.ft}^2\text{)}$$

$$\alpha = \text{สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)}$$

$$h_o = \text{สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวรวมทั้ง Long Wave Radiation และ Convection (Btu/h.ft}^2\text{. } ^\circ\text{F) มีค่าประมาณ 3.0 (Btu/h.ft}^2\text{. } ^\circ\text{F)}$$

$$R = \text{อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (Btu/h.ft}^2\text{)}$$

$$T^M = \text{สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิว}$$

$$\text{(Hemispherical Emittance of the Surface)}$$

มวลสารของวัสดุ และ ค่าความจุความร้อนจำเพาะยังสามารถใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิวัสดุ

โดยมีสมการ ดังต่อไปนี้

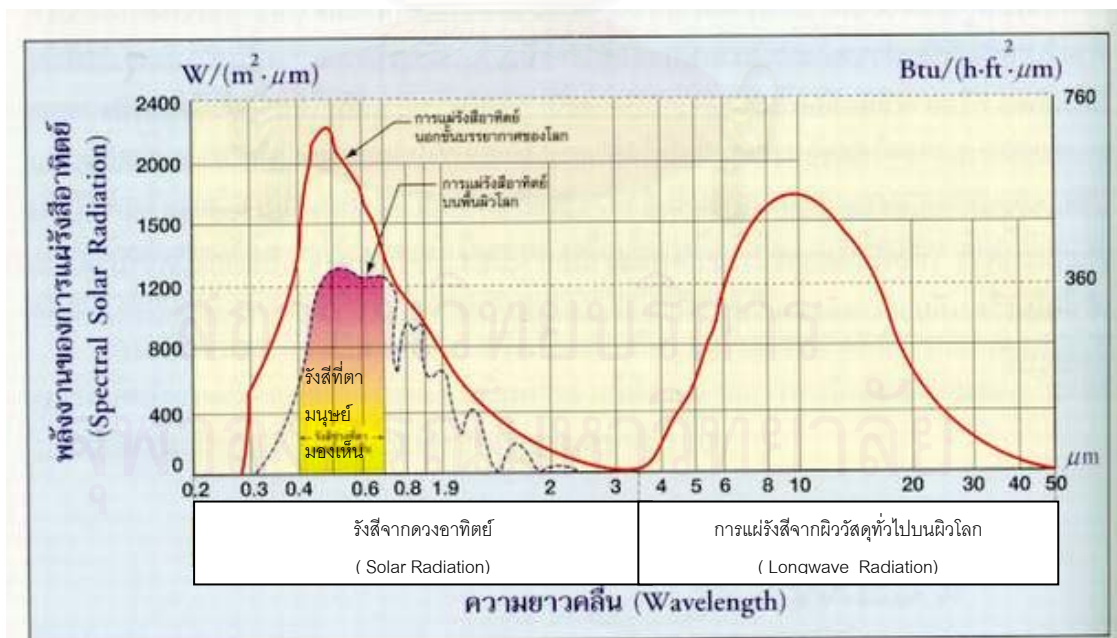
$$Q = mc \Delta t$$

Q	=	ปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็น Btu
m	=	มวลสารของวัสดุ มีหน่วยเป็น lb
c	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็น Btu/lb °F
Δt	=	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต้องการ มีหน่วยเป็น °F

2.3 คุณสมบัติของรังสีความร้อน

รังสีความร้อนในธรรมชาติ สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยจะมีความแตกต่างในช่วงความยาวคลื่น และพลังงานของการแผ่รังสี(Spectral Solar Radiation) ประกอบด้วย

- รังสีความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) หรือรังสีคลื่นสั้น
- รังสีความร้อนจากผิววัสดุ หรือรังสีในช่วงคลื่นยาว (Longwave Radiation)



แผนภูมิที่ 2-1 แสดง การแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศและบนพื้นผิววัสดุ

ที่มา: ปรับปรุงจาก กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การใช้กระจก. (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2542), หน้า 10.

2.3.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) หรือรังสีคลื่นสั้น

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) หรือรังสีคลื่นสั้น ที่ส่องมายังพื้นโลก รังสีส่วนหนึ่ง จะถูกชั้นบรรยากาศกรองไว้ โดยรังสีบางจะถูกสะท้อนกลับด้วยโมเลกุลของชั้นบรรยากาศ และ บางส่วนจะถูกดูดซับไว้ในชั้นบรรยากาศ

รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ที่ส่องมายังพื้นโลกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Radiation)
2. รังสีที่กระจายจากท้องฟ้า (Diffuse Radiation) เมื่อรังสีดวงอาทิตย์มาถึงชั้นบรรยากาศ รังสีบางส่วนจะถูก ก๊าซ ไอน้ำ ฝุ่นละออง ในชั้นบรรยากาศ ทำให้รังสี โดยตรงถูกกระจายออก
3. รังสีจากดวงอาทิตย์ที่กระทบพื้นผิวและสะท้อนความร้อน (Reflected Radiation) เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิววัสดุบนผิวโลก พื้นผิวนั้นๆจะสะท้อนความร้อน โดยเฉพาะวัสดุที่มีสีอ่อน และผิวมันวาว

รังสีจากดวงอาทิตย์หรือรังสีคลื่นสั้น(Solar Radiation) ที่ส่องลงมาถึงพื้นโลกจะเป็นรังสี ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.29-3.5 ไมโครเมตร (μm) โดยพลังงานในส่วนนี้จะประกอบด้วย พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่างๆกัน ดังนี้

-รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet :UV) เป็นพลังงานในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.29 - 0.4 ไมโครเมตร (μm) เป็นรังสีที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสีของวัสดุ อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ รวมทั้งผิวหนังของมนุษย์ด้วย ดังจะเห็นได้จาก วัสดุ เครื่องใช้ต่างๆ ที่โดนรังสีดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลาหนึ่ง สีที่ผิวของวัสดุนั้นๆจะซีดจางลง เนื่องจากรังสี UV ดังกล่าว โดยจะมีสัดส่วนเป็น 9% ของพลังงานจากดวงอาทิตย์ทั้งหมด

-แสงที่มองเห็น (Visible Light) เป็นพลังงานในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.4 - 0.7 ไมโครเมตร (μm) พลังงานที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ ซึ่งจะปรากฏ ในพลังงานในรูปของแสง ที่ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นสิ่งของต่างๆ ได้ โดยแสงที่มองเห็นได้นี้ จะมีสัดส่วนเป็น 28% ของพลังงานจากดวงอาทิตย์ทั้งหมด

- รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (Near Infrared Ray : NIR) เป็นพลังงานในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.7 - 3.5 ไมโครเมตร (μm) เป็นพลังงานในรูปของความร้อน จะเห็นได้ว่าเมื่อเราสัมผัสกับรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง เราจะรู้สึกร้อนขึ้นมาทันที เนื่องจากรังสีอินฟราเรดนี้ และมีสัดส่วนเป็น 53% ซึ่งมีสัดส่วนที่มากที่สุดของพลังงานจากดวงอาทิตย์ทั้งหมด ดังนั้นรังสีในช่วงความยาวคลื่นนี้จึงเป็นตัวแปรหลักที่ทำให้เกิดความร้อนจากดวงอาทิตย์ เข้าสู่อาคาร



แผนภูมิที่2-2 แสดงสัดส่วนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นองค์ประกอบของพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มา: ปรับปรุงจาก กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การใช้กระจก. (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม,2542) , หน้า11.

วัสดุต่างๆบนโลกเมื่อได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นสั้น ผิววัสดุจะสะท้อนรังสี(Reflectance: ρ) หรือถ้าเป็นวัสดุโปร่งแสง ก็จะมีการส่งผ่านรังสี (Transmittance: τ) ส่วนรังสีความร้อนที่เหลือจะถูก ดูดกลืนรังสี(Absorptance: α) เข้าสู่เนื้อวัตถุ ดังสมการ $\rho + \alpha + \tau = 1$ (ดูรายละเอียดข้อ2.1.3) ซึ่งค่าการดูดกลืนรังสีนี้ จะเป็นตัวแปรหลัก ที่ทำให้วัสดุนั้นๆ มีอุณหภูมิมากขึ้นเพียงใด (ดูรายละเอียดค่าการดูดกลืนรังสีในช่วงคลื่นสั้นในภาคผนวก) โดยค่าการดูดกลืนรังสี หาได้จาก

$$\alpha = \frac{\text{รังสีที่ถูกดูดกลืน (absorbed radiation)}}{\text{รังสีที่ตกกระทบ (incident radiation)}}$$

ตารางที่ 2-1 แสดงรายการวัสดุตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ ด้านนอก	วัสดุ	สีที่ใช้ทาภายนอก
1. วัสดุผิวสะท้อนแสง ($0 < < 0.2$)	- ผิววัสดุฉาบด้วยดีบุก - แผ่นอลูมิเนียม - แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอลูมิเนียม - แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียมชุดมัน	- สีสะท้อนแสง
2. วัสดุที่มีผิวสีอ่อน ($0.2 < < 0.4$)	- อิฐเคลือบเป็นมันสีขาว - เหล็กชุบสังกะสีสีขาว	- แลคเกอร์สีขาว - สีเงิน - สีขาวเป็นเงา
3. วัสดุที่มีผิวสีผิวปานกลาง ($0.4 < < 0.6$)	- วัสดุทาสีอลูมิเนียม - หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว - อิฐสีเหลืองอ่อน - หินอ่อนสีขาว - กรวดล้างสีขาว	- สีเขียวอ่อน - สีน้ำเงินปานกลาง - สีเหลืองปานกลาง - สีส้มปานกลาง - สีเขียวปานกลาง
4. วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม ($0.6 < < 0.8$)	- คอนกรีตไม่ทาสี - ไม้ผิวเรียบ - แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส - หินล้างสีเทา	- สีแดง - สีน้ำเงิน - สีเทาอ่อน - สีสนิมปานกลาง
5. วัสดุที่มีผิวสีเข้ม ($0.8 < < 1.0$)	- วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะตอย - คอนกรีตสีน้ำตาล - วัสดุผนังหลังคาสีเขียว - หินชนวนสีเทาแกมน้ำเงิน - อิฐสีแดง - อิฐแอสฟัลต์สีน้ำเงิน - คอนกรีตสีดำ	- สีน้ำเงินแก่หรือเขียวแก่ - สีเทาแกมน้ำเงินเข้ม - สีน้ำตาลแก่ - สีโอลีฟเข้ม - สีดำ - แลคเกอร์สีน้ำเงินแก่ - สีเทาแก่ - แลคเกอร์สีดำ - สีดำธรรมชาติ - สีดำเรียบมาก

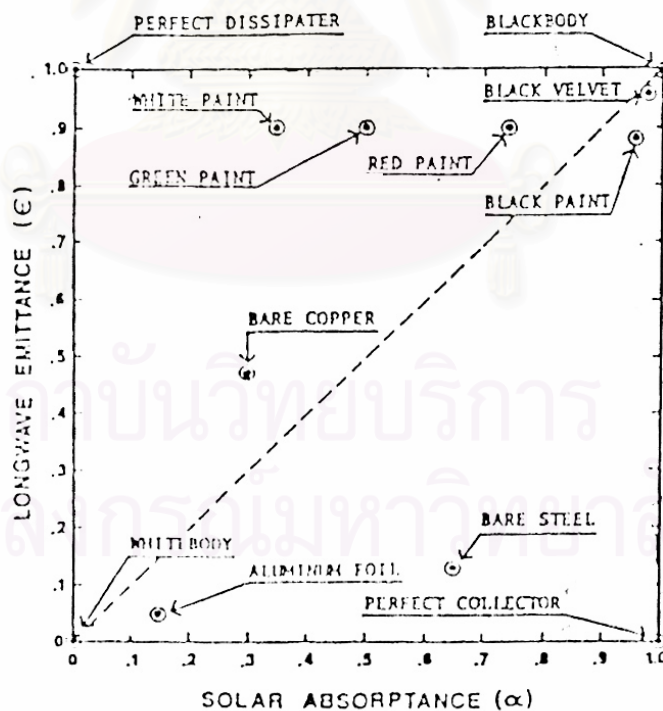
ที่มา: ปรับปรุงจาก กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2538), หน้า 20.

2.3.2 การแผ่รังสีจากวัสดุในช่วงคลื่นยาว (Longwave Radiation)

วัสดุที่บดแสงต่างๆบนโลก เมื่อได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นสั้น (Solar Radiation) จะดูดกลืนรังสีความร้อนนี้ไว้ และจะคายรังสีความร้อนนี้ออกมาในช่วงคลื่นยาว (Longwave Radiation) ซึ่งจะมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ไมโครเมตร (μm) ขึ้นไปโดยลักษณะการคายรังสีความร้อนในช่วงคลื่นยาวนี้จะไม่สามารถทะลุผ่านกระจกได้ ในขณะที่รังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นสามารถผ่านเข้ามาได้ จึงเป็นสาเหตุของภาวะเรือนกระจก(Greenhouse Effect) ที่เกิดการสะสมความร้อนในอาคาร โดยค่าการคายรังสีความร้อนในช่วงคลื่นยาว หาได้จาก

$$\mathcal{E} = \frac{\text{ปริมาณการแผ่รังสีจากผิววัสดุ (Radiation from Material)}}{\text{ปริมาณการแผ่รังสีจากวัตถุดำในอุดมคติ (Radiation from Blackbody)}}$$

วัตถุดำในอุดมคติ (Blackbody) เป็นวัสดุในอุดมคติที่สามารถคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าได้อย่างสมบูรณ์ (Perfect Emitted =1)



แผนภูมิที่ 2-3 แสดงค่าการดูดซับความร้อน และการคายรังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุ ชนิดต่างๆ
ที่มา: Anderson, B. N. Solar Energy: Fundamentals in Building Design. (New York: McGraw-Hill, 1977.),p354-355.

สามารถจำแนกค่าการแผ่รังสีความร้อนในช่วงคลื่นยาว ของวัสดุต่างๆได้เป็นประเภทใหญ่ได้ดังนี้

1. วัสดุธรรมชาติที่เป็นโลหะจะมีค่าการคายรังสีความร้อนสูง ประมาณตั้งแต่ 0.85 ขึ้นไป (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.)
2. วัสดุที่เป็นโลหะ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้
 - โลหะไม่เคลือบผิว ที่ผิวเป็นเนื้อโลหะ เช่น อลูมิเนียม ฟรอยด์ สังกะสี ทองเหลือง ทองแดง ฯลฯ จะมีค่าการคายรังสีความร้อนต่ำ ประมาณต่ำกว่า 0.5 ลงไป (ดูแผนภูมิที่ 2-3)
 - 4. โลหะเคลือบผิว เช่น การเคลือบสีต่างๆ เช่น หลังคาโลหะเคลือบสีเขียว สีขาว สีแดง สีดำ เป็นต้น จะทำให้ผิวโลหะมีค่าการคายรังสีความร้อนสูงได้ ประมาณสูงกว่า 0.85 (ดูแผนภูมิที่ 2-4)

2.4 การคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้า ในช่วงเวลากลางคืน

การนำความเย็น โดยการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในคายความร้อนสู่ท้องฟ้า มีดังนี้

1. สภาพบรรยากาศท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน
2. ค่าการคายความร้อนในช่วงคลื่นยาว (Longwave Radiation)
3. ค่ามุมของวัสดุที่เปิดสู่ท้องฟ้า(Angle Factor) ในช่วงเวลากลางคืน

2.4.1 สภาพบรรยากาศท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน

สภาพบรรยากาศท้องฟ้า เป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน โดยในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์(Troposphere) ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่ใกล้กับผิวโลก ที่ระดับความสูงไม่เกิน 25,000 ฟุตที่บริเวณขั้วโลก และ 60,000 ฟุตที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร ในความสูงทุกๆ 1 กิโลเมตร อุณหภูมิของบรรยากาศจะลดลงเฉลี่ยประมาณ 6.5°C ทำให้ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์นี้ จะมีอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศลดต่ำประมาณ -80°C ที่บริเวณขั้วโลก และ -55°C ที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร (เจริญ เจริญรัตน์ภักย์ , 2536) ชั้นบรรยากาศบริเวณนี้จึงเป็นแหล่งความเย็นที่สำคัญ ที่ทำให้วัสดุต่างๆบนผิวโลก สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนสู่ท้องในช่วงเวลากลางคืน (Nightsky Radiation) จะสังเกตได้จากการเกิดปรากฏการณ์ที่ วัสดุต่างๆบนผิวบางชนิดมีอุณหภูมิลดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางคืน ในบางครั้ง

อุณหภูมิผิววัสดุลดลงต่ำมากจนต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point) ทำให้เกิดปรากฏการณ์ มีน้ำค้าง เกาะอยู่ตามยอดหญ้า หลังคาร์บอนต์ ฯลฯ ในช่วงเวลากลางคืนขึ้น

ในชั้นบรรยากาศดังกล่าวจะประกอบด้วย ก๊าซ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ไอน้ำ ฝุ่นละออง ฯลฯ โยสามารถแบ่งสภาพท้องฟ้าในกรณีหลักๆได้ดังนี้

1. สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)
2. สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)
3. สภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky)

สภาพท้องฟ้าดังกล่าว เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้ ประสิทธิภาพในการคายรังสีความร้อน และรับรังสีความร้อนมีความแปรปรวนได้ โดยจะสังเกตเห็นได้จาก ในช่วงเวลากลางวันซึ่งเป็น ช่วงเวลาที่ท้องฟ้าเป็นแหล่งความร้อนจากดวงอาทิตย์ ในวันที่มีฝุ่นละอองมาก หรือ มีเมฆมาก ครึ้มฝน (Overcast Sky) ความร้อนจากดวงอาทิตย์ก็จะส่งผ่านมายังผิวโลกได้น้อยลง แตกต่าง จากวันที่ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ในทางกลับกันในช่วงเวลากลางคืน ความร้อนที่ถูกสะสมใน วัสดุต่างๆบนผิวโลก และคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน เพื่อที่จะรักษาสมดุล ทางอุณหภูมิแก่ผิวโลก เช่นเดียวกับในช่วงเวลากลางวัน ในวันที่มีฝุ่นละอองมาก หรือ มีเมฆมาก ครึ้มฝน (Overcast Sky) การคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า วันที่มี สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) เนื่องจากการสกัดกั้นการคายรังสีความร้อน จากสภาพก้อนเมฆ และฝุ่นละออง ต่อแหล่งความเย็นในชั้นบรรยากาศ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น สภาวะเรือนกระจก (Green House Effect) ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปรากฏการณ์การคายความร้อนสู่ท้องฟ้ามี ประสิทธิภาพลดลง

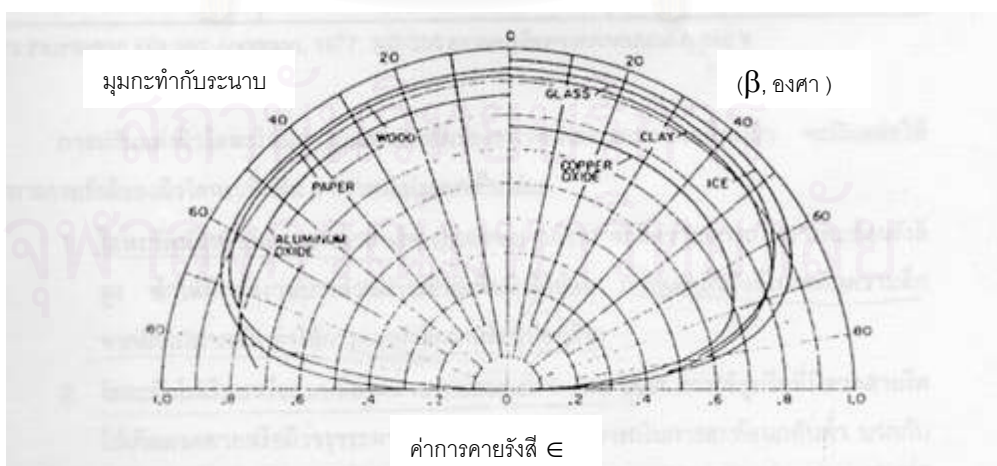
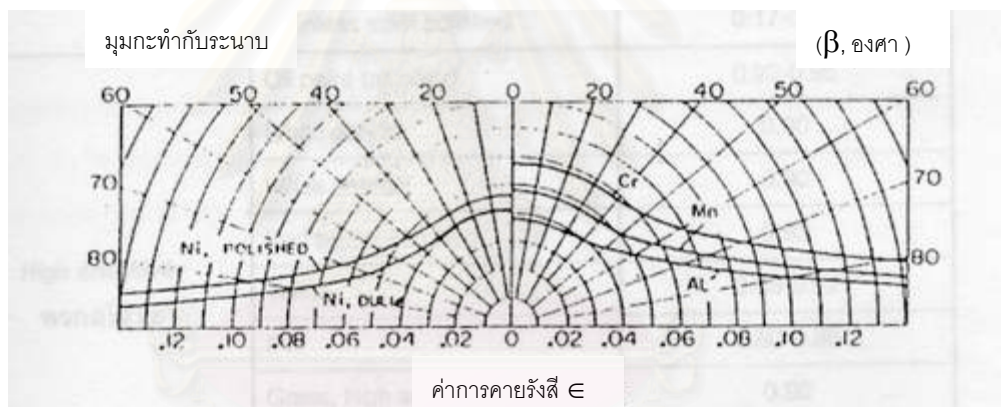
2.4.2 ค่าการคายความร้อนในช่วงคลื่นยาว (Longwave Radiation)

ค่าการคายความร้อนในช่วงคลื่นยาว (Longwave Radiation) (ดูรายละเอียดในข้อ 2.2.2 การแผ่รังสีจากวัสดุในช่วงคลื่นยาว) เป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าใน ช่วงเวลากลางคืน โดยวัสดุที่ค่าการคายรังสีความร้อนสูง จะมีความสามารถในการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าสูงเช่นกัน ในทางกลับกัน วัสดุที่ค่าการคายรังสีความร้อนต่ำ จะมีความสามารถในการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าต่ำ เช่น พลาสติกที่มีผิวมันวาว

2.4.3 ค่ามุมของวัสดุที่เปิดสู่ท้องฟ้า (Angle Factor) ในช่วงเวลากลางคืน

ค่ามุมที่เปิดสู่ท้องฟ้า (Angle Factor) มีผลต่อการคายรังสีความร้อนในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจาก ในช่วงเวลากลางคืนท้องฟ้าจะเป็นแหล่งความเย็นขนาดใหญ่ ดังนั้นวัสดุที่ทำมุมวางขนานกับแนวระนาบขนานกับท้องฟ้า (Horizontal) มากเท่าไร ก็จะมีมุมที่เปิดสู่พื้นที่รับความเย็นมากขึ้นเท่านั้น ในทางกลับกัน ในช่วงเวลากลางวัน ท้องฟ้ากลับเป็นแหล่งความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ ทำให้วัสดุที่ทำมุมวางขนานกับแนวระนาบขนานกับท้องฟ้า มากเท่าไร ก็จะมีมุมที่เปิดสู่พื้นที่รับความร้อนมากขึ้นเท่านั้น

ดังนั้นในการเลือกมุมในการออกแบบหลังคาจึงควรพิจารณาถึงเป้าหมายในการออกแบบระบบหลังคานั้นๆ จึงจะได้มุมหลังคาที่สามารถลดการรับความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และมีประสิทธิภาพในการคายความร้อนสู่ท้องฟ้าสูงในช่วงเวลากลางคืน และสามารถระบายน้ำฝนรวมถึงฝุ่นละออง ได้อย่างเหมาะสม



แผนภูมิที่ 2-4 แสดงค่าการคายรังสีความร้อนพื้นผิววัสดุ ชนิดต่างๆ เมื่อมีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าแตกต่างกัน ที่มา: Anderson, B. N. Solar Energy: Fundamentals in Building Design. (New York: McGraw-Hill, 1977.)

2.5 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation)

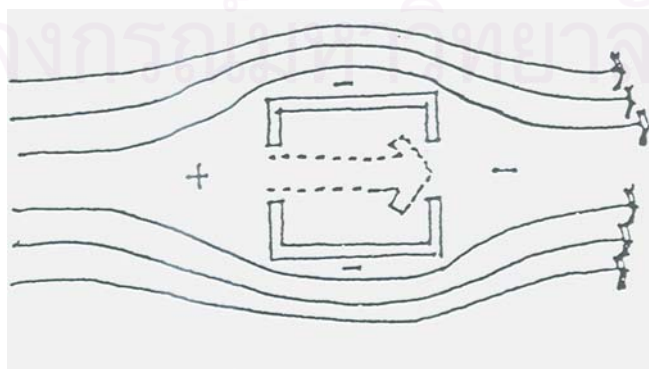
ในการออกแบบระบบการไหลเวียนของอากาศใต้หลังคา นับว่าเป็นส่วนที่ควรให้ความสำคัญ เนื่องจากถ้าสามารถวางรูปแบบที่เหมาะสม จะสามารถช่วยถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในช่องใต้หลังคาได้ เป็นการลดการสะสมความร้อน ทำให้ลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ โดยการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นได้จากสาเหตุหลัก 2 ประการ ดังนี้

1. ความกดอากาศที่เกิดจากแรงลมภายนอก (Wind Pressure) ที่กระทำกับอาคาร
2. การไหลเวียนอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Gradients)

ความแตกต่างความกดอากาศจากแรงลม (Wind Pressure) และจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Gradients) สามารถเกิดขึ้นพร้อมกัน อย่างไรก็ตามความแตกต่างความกดอากาศที่เกิดจากแรงลมมักจะมีอิทธิพลเหนือกว่า

2.5.1 ความกดอากาศที่เกิดจากแรงลมภายนอก (Wind Pressure)

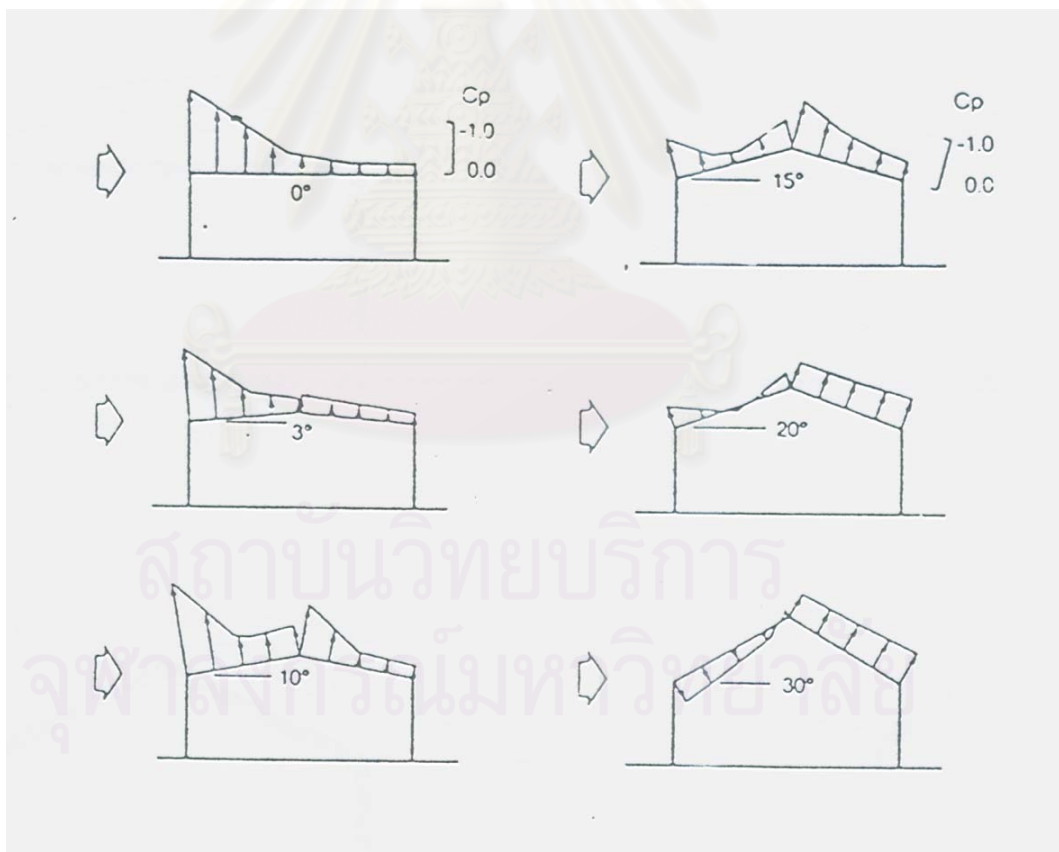
เมื่อมีกระแสลมพัดผ่าน จะทำให้เกิดความกดอากาศสูง (Positive Pressure) บริเวณด้านที่ปะทะ และทำให้เกิดความกดอากาศต่ำ (Negative Pressure) ขึ้นทางด้านข้าง และด้านใต้ลมของด้านที่ลมปะทะ ทิศทางของลมที่ไหลเข้ามาจะเกิดการเหนี่ยวนำให้ไหลไปสู่บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ ซึ่งบริเวณความกดอากาศต่ำจะมีเนื้อที่ค่อนข้างน้อยลงตามระยะห่าง อันเกิดจากการที่อากาศค่อยๆ เข้ามาแทนที่ตามลำดับ โดยระยะห่างของช่วงความกดอากาศต่ำนี้ จนถึงบริเวณที่อากาศเริ่มเข้ามาแทนที่ จะใช้ระยะประมาณ 2 เท่าของความสูงและลมจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วเดิมก่อนผ่านอาคาร จะใช้ระยะประมาณ 7 เท่าของความสูง



ภาพที่ 2-4 แสดงพฤติกรรมของกระแสลมเมื่อ มีความกดอากาศที่ต่างกัน

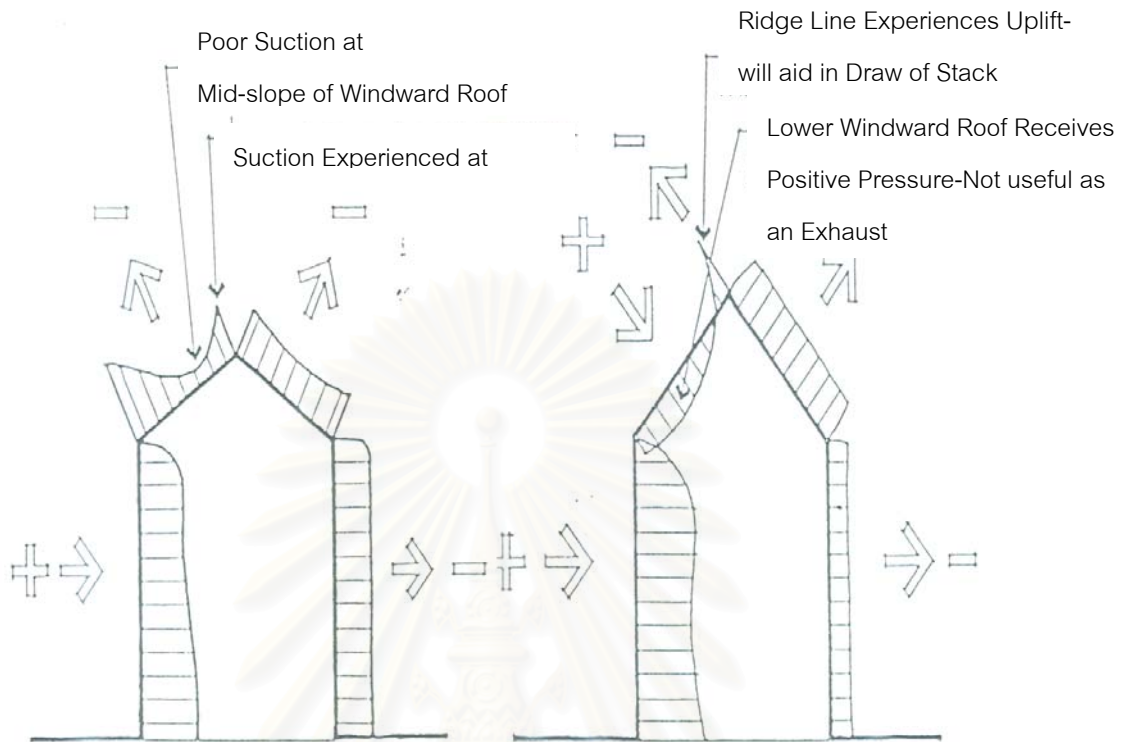
ในการออกแบบช่องทางเข้าและออกของช่องระบายอากาศ ให้ได้ประสิทธิภาพในการไหลเวียนอากาศที่สมบูรณ์ จึงควรออกแบบให้ช่องทางเข้ากระแสลมอยู่ในตำแหน่งที่มีความกดอากาศสูง (Positive Pressure) และทางออกลมอยู่ในตำแหน่งที่มีความกดอากาศต่ำ (Negative Pressure) เนื่องจากทิศทางของกระแสลมที่ไหลเข้าสู่อาคารจะเกิดการเหนี่ยวนำให้ไหลไปสู่บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ

ในลักษณะเดียวกัน ความลาดชันของหลังคาที่แตกต่างกัน สามารถสร้างพื้นที่ความกดอากาศที่แตกต่างกันได้ โดยหลังคาที่ไม่มีมุมเอียงหรือมีมุมเอียงต่ำ จะเกิดแต่ความกดอากาศต่ำ (Negative Pressure) ที่ผิวหลังคา และเมื่อหลังคามีมุมเอียงมากขึ้นจะเริ่มเกิดความกดอากาศสูง (Positive Pressure) บริเวณส่วนของผิวหลังคาด้านที่ลมปะทะ และจะเกิดความกดอากาศต่ำทางด้านตรงข้ามกับด้านที่ปะทะลม



ภาพที่ 2-5 แสดงความแตกต่างของความกดอากาศกับองศาหลังคาที่ต่างกัน

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 1989 ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. (Atlanta Georgia, 1989.) , p. 14.6.



ภาพที่2-6 แสดงความแตกต่างของความกดอากาศกับองศาหลังคาที่ต่างกัน

ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices. (New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 200,202.

ปริมาณกระแสลมที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณได้จากสมการ (MEEB,1992)

$$Q = C_v A V$$

โดยที่ Q = Volume Flow Rate ของอากาศ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (cfm)

C_v = Effectiveness Factor ที่ปรับ สำหรับรับทิศทางลม 0.50 – 0.60 สำหรับลมที่พัดตั้งฉากกับหน้าต่าง 0.25 – 0.35 สำหรับลมที่พัดทะแยงกับหน้าต่าง

A = พื้นที่ช่องเปิดหน้าต่างทางด้านลมเข้า มีหน่วยเป็น ตารางฟุต (ft²)

หมายเหตุ : ด้านทางลมออกมีพื้นที่เท่ากับช่องลมเข้า

V = ความเร็วลมมีหน่วยเป็น ฟุตต่อนาที (ft / m)

2.5.2 การไหลเวียนอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Gradients)

เป็นปรากฏการณ์ที่เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะลอยตัวสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าซึ่งมีมวลอากาศมากกว่าเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการไหลเวียนอากาศระหว่างอากาศที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันขึ้น จากหลักการดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์สร้างความเย็นให้แก่อาคาร ได้ดังนี้

• การสร้างความเย็นโดยการพาความร้อน (Convection Cooling)

เป็นแนวทางในการสร้างความเย็นให้แก่อาคารโดยการนำความเย็นจากสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายในอาคาร เข้ามาแทนที่โดยวิธีการพาความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารออกไป หลักการพาความร้อน (Convection) เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับหลังคา ระบบนี้จะช่วยลดอุณหภูมิภายในช่องหลังคา และลดอุณหภูมิผิวของวัสดุภายในช่องหลังคาได้ ซึ่งจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวันซึ่งอุณหภูมิภายในช่องหลังคาจะมีอุณหภูมิสูงมาก

อัตราการพาความร้อน (Convection Cooling) ที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณจากสมการ (ASHRAE,1989)

$$q_s = 60 Q \rho C_p \Delta t$$

โดยที่ q_s = ปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (Btu/h)

60 = จำนวนนาที่ใน 1 ชั่วโมง

Q = อัตราการไหลของอากาศ (cfm)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (lbm / ft³) มีค่าเท่าประมาณ 0.075 lbm / ft³

C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ (Btu / lb °F)

มีค่าเท่าประมาณ 0.24 Btu / lb °F

Δt = ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอก (°F)

การออกแบบให้เกิดการระบายอากาศ โดยการใช้ระบบ Convection Cooling จากสมการ อัตราการระบายความร้อนที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอก
- อัตราการไหลของอากาศ

- การระบายความร้อนแบบปล่อง (Stack Ventilation)

การเกิดการไหลเวียนอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อมีการไหลเวียนของอากาศที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง เนื่องจากอุณหภูมิอากาศที่สูง จะลอยตัวสูงขึ้นและระบายสู่ภายนอกอาคารทางช่องเปิดในระดับสูง แล้วอากาศที่เย็นกว่าซึ่งมีความหนาแน่นอากาศมากกว่า ก็จะลอยเข้ามาแทนที่ทางช่องเปิดทางด้านล่าง จึงทำให้เกิดการไหลเวียนอากาศเข้ามาในอาคาร การไหลเวียนอากาศลักษณะนี้เรียกว่าการระบายความร้อนแบบปล่อง (Stack Effect) สามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบหลังคา เนื่องจากในช่วงเวลากลางวันช่องใต้หลังคาจะมีอุณหภูมิสูงมาก อากาศในส่วนนี้จะลอยตัวสู่อากาศภายนอก สามารถเห็นยว่นาเอาอากาศที่เย็นกว่าเข้ามาแทนที่ และทำให้เกิดการไหลเวียนอากาศภายในอาคารเกิดขึ้นได้

ในการออกแบบระบบนี้ควรคำนึงถึงการปรับสภาพแวดล้อมรอบอาคาร เพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายนอกที่จะเข้ามาแทนที่ โดยยังมีความแตกต่างของอุณหภูมิมาก ช่องเปิดทางอากาศเข้า-ออกมีความสูงต่างกันมาก และขนาดของช่องเปิดใหญ่ มีความผิดในการไหลเวียนอากาศน้อย อัตราการไหลเวียนอากาศก็จะสูงขึ้น ปริมาณกระแสลมที่เกิดขึ้นภายในอาคารเนื่องจาก Stack Effect สามารถคำนวณจากสมการ (MEEB,1992)

$$Q = CA \sqrt{\frac{h (t_i - t_o)}{t_i}}$$

โดยที่ Q = Air Flow (cfm)

C = Constant of Proportionality = 313

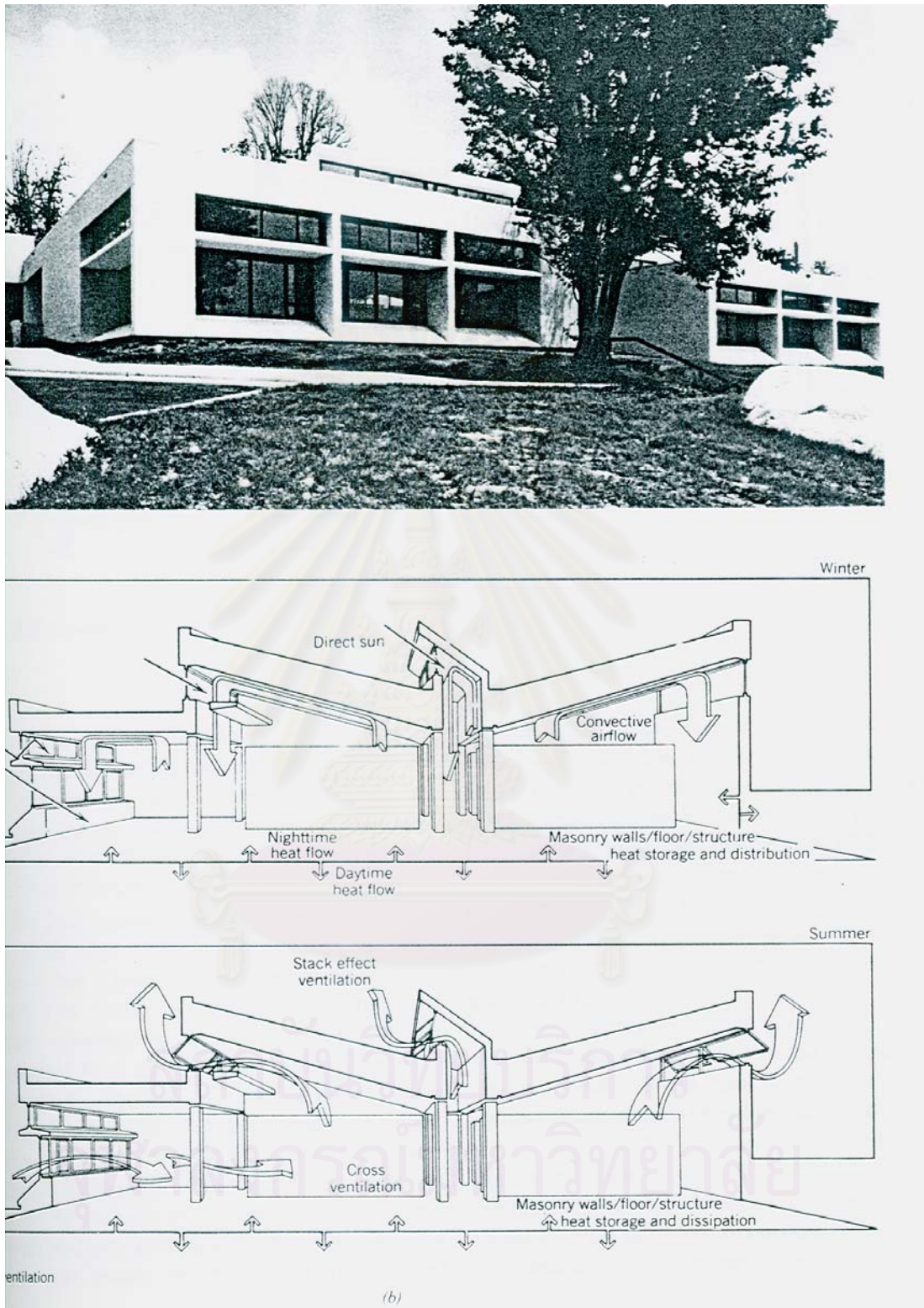
หมายเหตุ = เป็นค่าที่ประมาณการว่ามีสภาพไหลเวียนอากาศสูงสุดในเชิงทฤษฎี 65 % ถ้าสภาพการไม่ดีเนื่องจากการไหลเวียนจากช่องเปิดไปตามปล่องไม่ตรงไปตรงมาใช้ค่า C = 240

A = พื้นที่หน้าตัดของปล่อง (Stack) หรือช่องลมออก (Outlet) ทั้งนี้พื้นที่ช่องลมเข้า (Inlet) อย่างน้อยที่สุดต้องเท่ากับ Outlet และ Cross Section ของ Stack (ft²)

H = ความสูงระหว่างช่อง Inlet และ Outlet (ft)

t_i = อุณหภูมิอากาศภายใน ในความสูง h (°F)

t_o = อุณหภูมิอากาศภายนอก (°F)



ภาพที่ 2-7 แสดงการระบายอากาศแบบ Stack Effect

ที่มา: Stein, B. and Reynold, J.S. Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8th Edition. (New York: John Willy & Sons, 1992) ,p.397.

การออกแบบให้เกิดการระบายอากาศ โดยการใช้ระบบ Stack Effect จากสมการสามารถวิเคราะห์หัตถ์แปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ได้ดังนี้

- ความแตกต่างของอุณหภูมิ
- พื้นที่หน้าตัดช่องทางเข้า-ออกลม
- ความสูงระหว่างช่องทางเข้า และ ช่องทางออกลม

ความแตกต่างของอุณหภูมิ ออกแบบให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอากาศร้อนที่ลอยตัว และอากาศเย็นที่เข้ามาแทนที่ โดยออกแบบให้อุณหภูมิในปล่องบริเวณทางออกลมมีอุณหภูมิสูง เช่น การเลือกใช้วัสดุที่มีการดูดซับรังสีความร้อนสูง เป็นต้น แต่ต้องคำนึงถึงวิธีการป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ให้ถ่ายเทเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารได้

ช่องเปิดทางเข้า-ออกลม การออกแบบควรจะกำหนดให้ช่องเปิดทางเข้า-ออกลม มีความฝืดน้อยที่สุด กำหนดให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดใหญ่พอที่จะให้ลมไหลผ่านโดยสะดวก ไม่มีสิ่งกีดขวาง หรือการหักมุมที่เพิ่มความฝืดในการไหลของกระแสลม โดยพื้นที่หน้าตัดของปล่อง และควรจะเป็นรูปวงกลม หรือใกล้เคียงจัตุรัส เพื่อให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิว กับ เนื้อที่หน้าตัดต่ำ

ความสูงระหว่างช่องทางเข้า และ ช่องทางออกลม ในการออกแบบควรที่จะกำหนดระยะห่างของช่องทางเข้า และ ช่องทางออกลม ให้มีระยะห่างที่เหมาะสมต่อการระบายอากาศภายในพื้นที่ใช้สอยนั้นๆ โดยถ้ามีระยะห่างมาก จะทำให้อัตราความเร็วของการระบายอากาศสูงขึ้น และในทางกลับกัน ถ้าช่องระยะห่างน้อย จะทำให้อัตราความเร็วของการระบายอากาศจะน้อยลง

ช่องทางออกลมไม่ควรอยู่บริเวณที่มีความกดอากาศสูง (Positive Pressure) เนื่องจากเมื่อกระแสลมมาปะทะอาคารจะทำให้เกิดความกดอากาศสูงเกิดขึ้น ถ้าการออกแบบตำแหน่งช่องทางออกของลม อยู่ในตำแหน่งบริเวณนี้ จะทำให้เกิดกระแสลมตีย้อนกลับลงมาในปล่อง ทำให้ประสิทธิภาพในการลอยตัวของอากาศร้อนแบบ(Stack Effect) เกิดขึ้นได้ลำบาก ดังนั้นจึงควรออกแบบให้ช่องทางออกของลมอยู่ในบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ(Negative Pressure)

เมื่อ Natural Ventilation ที่เกิด และจาก Wind Force ใช้พร้อมกัน ผลรวมของ Flow Rate เป็นดังนี้ (MEEB,1992)

$$QWS = \sqrt{ (QW^2 + QS^2) }$$

โดยที่ Q = Flow Rate จากผลของ Stack Ventilation และ Wind Force

QW= Flow Rate จาก Wind Effect

QS= Flow Rate จาก Stack Effect

2.6 ประสิทธิภาพในการไหลเวียนอากาศ

ในการออกแบบ ระบบหลังคา และพื้นที่ใช้สอย ให้เกิดประสิทธิภาพในการไหลเวียนอากาศ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในส่วนต่างๆของรูปแบบหลังคา และองค์ประกอบอาคาร เช่น ขนาดและตำแหน่งของช่องทางเข้า และทางออกลม โครงสร้างภายใน สิ่งประกอบทางเข้าทางออกลม แรงเฉื่อยในการไหล ล้วนแล้วแต่มีผลต่อแนวทางการไหลของกระแสลมภายในระบบหลังคา และพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

ประสิทธิภาพของการไหลของอากาศภายในอาคาร ขึ้นอยู่กับ

2.6.1 การวางตำแหน่งของช่องทางเข้า และช่องทางออกของอากาศ

อัตราส่วนช่องทางเข้า ต่อช่องทางออกของอากาศที่แตกต่างกัน จะให้ผลต่อปริมาณของอากาศที่มีการไหลเวียน รวมทั้งการวางตำแหน่งของช่องทางเข้าและช่องทางออก จะมีผลในการบังคับทิศทางของการไหลเวียนอากาศที่เกิดขึ้น โดยตำแหน่งช่องทางเข้าและออกที่ไม่ตรงกัน จะทำให้ปริมาณการไหลเวียนอากาศลดลงบ้าง ขึ้นอยู่กับการจัดวางตำแหน่งช่องเปิด และความมืดภายใน

จากการศึกษาการวางตำแหน่งของช่องเปิดทางเข้า และช่องเปิดทางออกของอากาศ พบว่า (Givoni,B.,1969)

1. พื้นที่ทางลมเข้าและทางลมออกที่เท่ากันจะทำให้เกิดปริมาณการไหลของอากาศมากที่สุด

2. พื้นที่ทางลมเข้าที่น้อยกว่าทางลมออกจะทำให้เกิดกระแสลมที่แรงมากขึ้น สามารถปรับนำมาใช้ได้กับบางพื้นที่ใช้สอย
3. พื้นที่ทางลมเข้าที่มากกว่าทางลมออกจะทำให้เกิดกระแสน้อยและเบา แต่จะมีความสม่ำเสมอของปริมาณลมตลอดเวลา (ASHRAE,1989)

ตารางที่2-2 แสดงปริมาณการไหลของอากาศ เมื่ออัตราส่วนของช่องเปิดเพิ่มขึ้น

Ratio of Outlet to Inlet		Increase In Percent
1:1	1:1	0
1:1.5	1.5:1	17.5
1:2	2:1	26
1:2.5	2.5:1	31
1:3	3:1	34
1:3.5	3.5:1	36
1:4	4:1	37
1:6	6:1	38

ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices. (New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 58.

2.6.2 แรงเฉื่อยในการไหล (Inertia Effect)

ในกรณีที่ทางเปิดเข้าและทางออกวางไว้ตรงกันจะเกิดผลต่อแนวการไหลของอากาศเนื่องจากความดันที่เท่ากันทั้งภายนอกและภายใน

ในกรณีที่ช่องเปิดทางเข้าออกไม่ตรงกัน อากาศจะถูกบังคับให้ไหลทิศทาง แนวการไหลของอากาศภายในจะพยายามไหลตามทิศทางที่จะเป็นแนวการไหลเดิมโดยแรงเฉื่อย และเมื่อวกกลับแรงที่เกิดจากความแตกต่างของความดัน วิธีการไหลแบบนี้จะเกิดขึ้นได้อีก ในเมื่อมีสิ่งอื่นๆ มาประกอบทางเข้าหรือออกของอากาศ (สมสิทธิ์ นิตยะ,2541)

2.6.3 องค์ประกอบภายใน

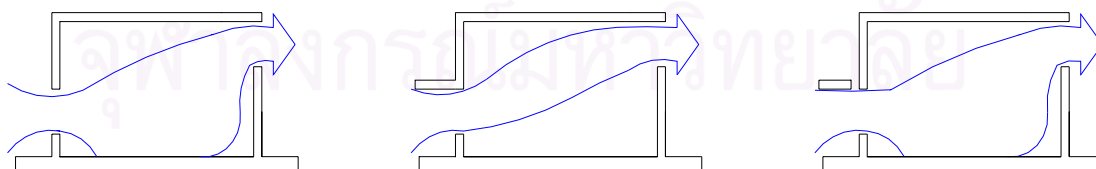
การไหลเวียนอากาศที่เกิดขึ้นนอกจากจะมีการวางตำแหน่ง ช่องทางเข้า และออก ให้ได้ ปริมาณการไหลเวียนอากาศดังที่ต้องการแล้ว องค์ประกอบภายใน นับว่ามีผลต่อปริมาณและ ทิศทางของการไหลเวียนอากาศที่เกิดขึ้น องค์ประกอบภายใน ดังกล่าวได้แก่ การจัดวางตำแหน่ง โครงสร้างภายใน พื้นทีหน้าตัดภายในช่องหลังคา การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ภายใน ฯลฯ

ในการจัดวางองค์ประกอบภายใน สามารถออกแบบให้เป็นตัวเปลี่ยนแปลงทิศทาง และ กระจายกระแสลมให้เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ต้องการได้ แต่ถ้าอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม หรือมีปริมาณ มากเกินไป จะทำให้เกิดความผิดปกติให้อัตราการไหลเวียนอากาศน้อยลง

2.6.4 องค์ประกอบภายนอก

องค์ประกอบภายนอกอาคาร มีผลต่อแนวการไหลของอากาศภายในอาคาร โดย องค์ประกอบภายนอกนี้ หมายถึง สิ่งแวดล้อมที่อยู่ใกล้กับอาคาร รวมถึง องค์ประกอบภายนอกของ เปลือกอาคารเช่น ส่วนยื่น แผงกันแดด ชายคารูปแบบต่างๆ ฯลฯ

ในการออกแบบองค์ประกอบภายนอก สามารถออกแบบให้เป็นตัวเปลี่ยนแปลงทิศทาง และกระจายกระแสลมให้เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ต้องการได้เช่นเดียวกับ การจัดวางองค์ประกอบภายใน ดังจะเห็นได้ว่า การวางตำแหน่ง ต้นไม้ ไม้พุ่ม ต้นไม้ใหญ่ สามารถบังคับและปรับเปลี่ยนทิศทาง และปริมาณกระแสลมที่เกิดขึ้นได้ รวมทั้งส่วนประกอบช่องเปิดทางเข้า-ออกลม เช่นชายคาที่วาง ระดับบนขอบหน้าต่าง เมื่อเว้นระยะจากขอบหน้าต่างเล็กน้อย เพื่อให้เกิดการปรับความดันของ กระแสลม จะทำให้แนวการไหลของอากาศต่ำลงมากกว่า กว่ารูปแบบชายคาที่อยู่ในระดับติดขอบ หน้าต่างได้



ภาพที่ 2-8 แสดงการไหลของอากาศ ที่มีสิ่งประกอบทางเข้า ช่องลม ที่แตกต่างกัน
ที่มา: ปรับปรุงจาก สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น. (สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2541), หน้า.126.

2.7 คุณลักษณะของฉนวนกันความร้อน (Thermal Insulation)

ในการผลิตวัสดุผนังหลังคา และวัสดุที่มีคุณลักษณะในการเป็นฉนวนกันความร้อนนั้น ต้องเข้าใจถึงคุณลักษณะกลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนกันความร้อน กล่าวคือ

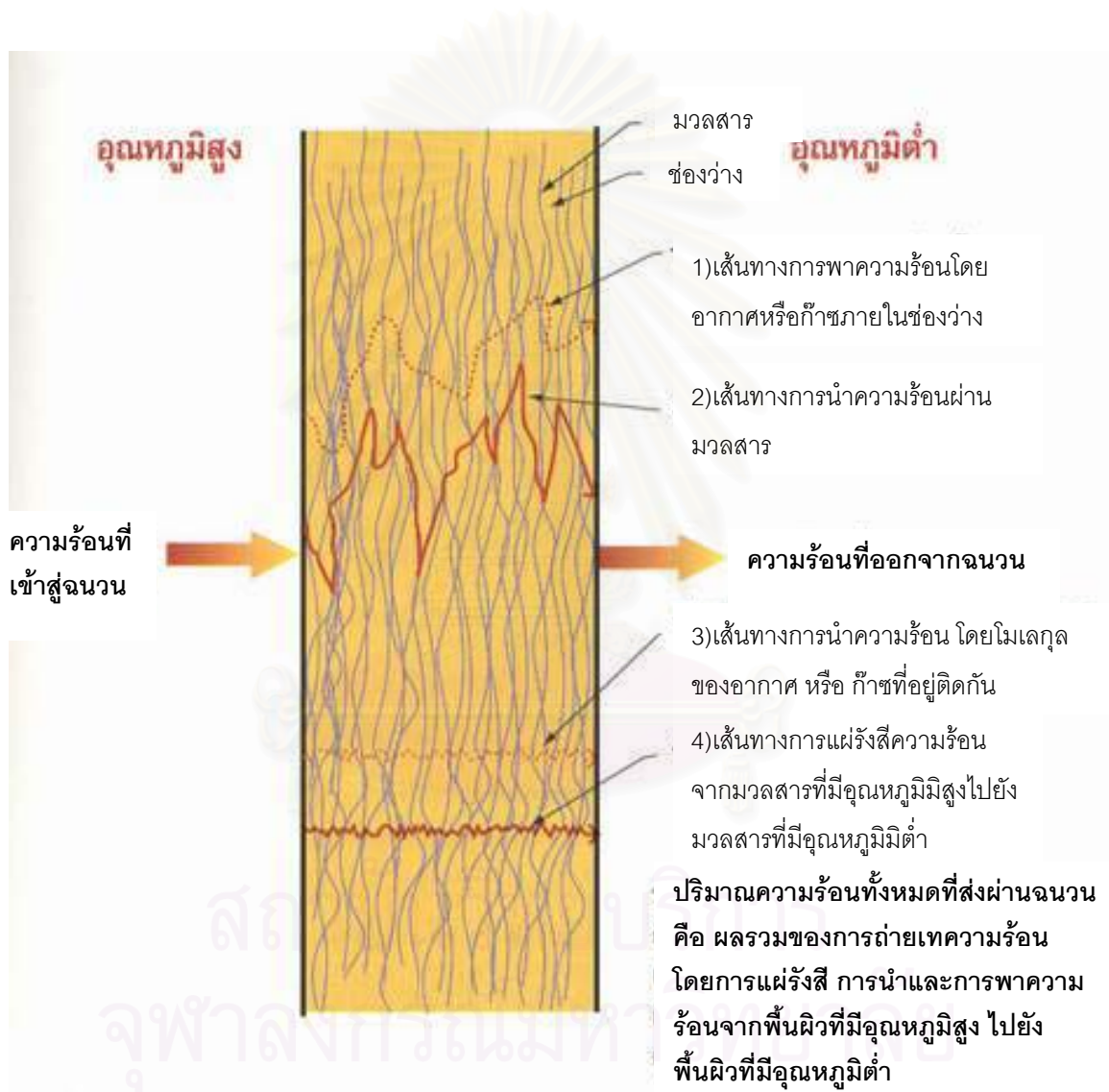
ฉนวนกันความร้อน คือ วัสดุที่มีความสามารถในการป้องกันความร้อนไม่ให้ส่งจากด้านใด ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย การถ่ายเทความร้อนผ่าน (Heat Transfer) นี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ อุณหภูมิของวัตถุทั้งสองมีความแตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ฉนวนมวลสาร และ ฉนวนสะท้อนความร้อน (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2543)

- **ฉนวนมวลสาร (Mass Insulation)** เป็นลักษณะของฉนวนกันความร้อนที่ประกอบด้วยช่องโพรงเล็กๆ และช่องอากาศภายในวัสดุที่มีลักษณะเป็นแบบปิดทึบ (Totally Enclosed) ช่องเล็กเหล่านี้จะเกิดขึ้นจากเกล็ด (Flakes) เส้นใย (Fibers) ปมแข็ง (Nodules of Solids) หรือเซลล์ของตัววัสดุนั่นเอง

กลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนมวลสารเกิดขึ้นได้โดยช่องเล็กๆที่อยู่ภายในวัสดุ และลักษณะเป็นโพรงอากาศนี้เองที่ทำหน้าที่ต้านทานการไหล (Flow) ของอากาศหรือก๊าซ ทำให้มีความร้อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่จะสามารถถ่ายเทผ่านจากด้านหนึ่งของวัสดุไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุไปยังอีกด้านหนึ่งโดยกระบวนการพาความร้อนได้ เมื่อพิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฉนวนที่มีความหนาแน่นค่าหนึ่งของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนใดๆ นั้น สภาพการนำความร้อนปรากฏ (Apparent Thermal Conductivity) ที่เกิดขึ้นจะลดลงได้ เนื่องจากการพาความร้อน โดยอากาศภายในฉนวนกันความร้อนนั้นลดลง เพราะการลดขนาดของช่องอากาศระหว่างเซลล์ของเส้นใยที่ทำให้อากาศภายในฉนวนกันความร้อนหยุดนิ่งไม่เคลื่อนที่จนมีสภาพเป็นฉนวนกันความร้อนอย่างดี ถึงแม้ว่าภายในเซลล์บางส่วนจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยแต่ละเส้นภายในฉนวนนั้นก็ตาม เมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มมากขึ้น (เส้นใยแต่ละเส้นชิดกัน) การแผ่รังสีตามทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนก็จะลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เส้นใยติดกันมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อความหนาแน่นของวัสดุหรือฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยและพื้นผิวสู่พื้นผิวจะลดลง ทำให้สภาพการนำความร้อนปรากฏลดลงด้วย จนกระทั่งเมื่อเส้นใย หรือเซลล์ต่อเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน จะเกิดการนำความร้อนขึ้นภายในวัสดุจนถึงจุดที่การแผ่รังสีความร้อนจะลดลงมีค่าน้อยกว่า การนำความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่เพิ่มขึ้น

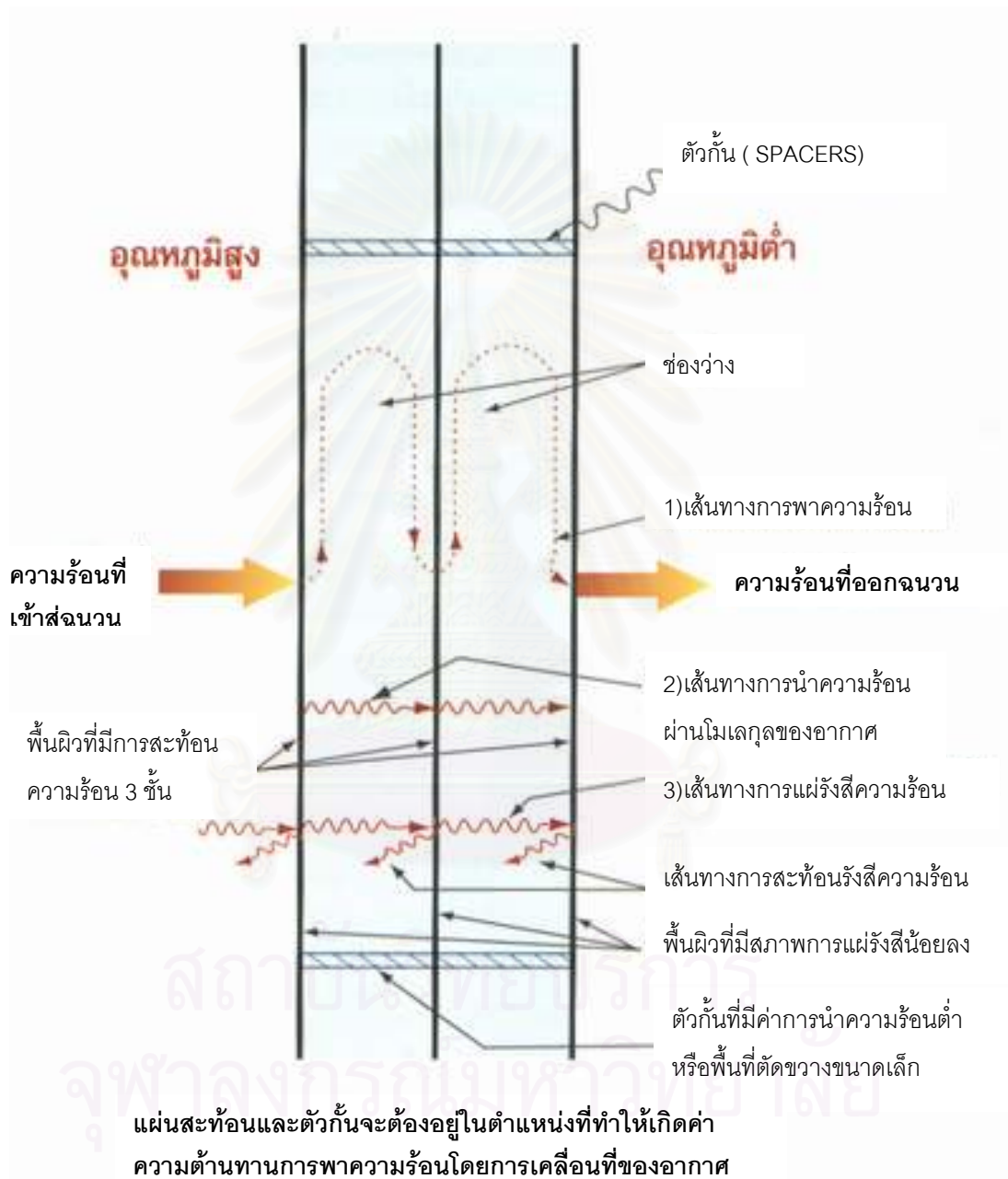
(จากผลของการเพิ่มความหนาแน่นของวัสดุที่ทำให้เส้นใยชิดกันมากขึ้น) สภาพการนำความร้อนปรากฏจะเริ่มเพิ่มขึ้น ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการใช้ฉนวนมวลสารนั้น จะมีค่าความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ผลิตฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภทที่เหมาะสมค่าหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น ฉนวนกันความร้อนที่ดี จึงควรเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่าสภาพการนำความร้อนปรากฏต่ำสุด



ภาพที่ 2-9 แสดงการไหลของความร้อนผ่านฉนวนมวลสาร

ที่มา: William C. Turner and John F. Malloy, *Thermal Insulation Handbook*, (Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, Inc., 1981) ,p.193 Figure 41.

- **ฉนวนสะท้อนความร้อน (Reflective Insulation)** ประกอบด้วยสำหรับการสะท้อนความร้อนกลับอยู่ระหว่างแผ่นสะท้อนความร้อน โดยมีกระบวนการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นภายในวัสดุ วัสดุที่ทำฉนวนประเภทนี้ส่วนมากทำจาก อลูมิเนียม (Aluminium) หรือเหล็กปลอดสนิม (Stainless Steel)



ภาพที่ 2-10 แสดงการไหลความร้อนผ่านฉนวนประเภทสะท้อนความร้อน 3 ชั้น

ที่มา: William C. Turner and John F. Malloy, *Thermal Insulation Handbook*, (Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, Inc., 1981) ,p.193 Figure 42.

2.7.1 แนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อนมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท หลายรูปแบบ ดังนั้นแนวทางในการเลือกใช้ฉนวนแต่ละประเภทควรเลือกให้เหมาะสมกับ วัตถุประสงค์ และลักษณะการใช้งานในแต่ละพื้นที่ที่ใช้สอย การเลือกใช้ฉนวนมีข้อพิจารณา ดังนี้ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2543)

- ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Thermal Resistivity) สามารถหาได้จากค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance; R-Value) วัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง จะมีความสามารถในการป้องกันความร้อนไม่ให้ไหลผ่านเข้ามาสู่พื้นที่ใช้งานได้ (ดูแผนภูมิ 2-5)

- รูปแบบทางกายภาพ (Physical Forms) ฉนวนกันความร้อนแต่ละชนิดจะมีรูปแบบทางกายภาพที่แตกต่างกันไป เช่น แบบคลุมห่ม แบบแผ่น แบบฉีดย่น ควรเลือกให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งาน ตำแหน่งการติดตั้ง เช่น การใช้ฉนวนกันแบบฉีดย่นกับหลังคา ที่ไม่มีฝ้าเพดาน หรือหลังคาที่มีรูปแบบยากต่อการติดตั้งฉนวนแบบผ้าห่ม หรือ แบบแผ่น เป็นต้น

- ความหนาแน่น (Bulk Density) และความจุความร้อน (Heat Capacity) ฉนวนกันความร้อนที่มีคุณภาพดี จะมีค่าความหนาแน่น และค่าความจุความร้อนที่เหมาะสมเพียงค่าเดียวเท่านั้น ดังนั้นในการเลือกใช้ฉนวนแต่ละประเภทควรตรวจสอบข้อมูลดังกล่าวจากผู้ผลิต

- อุณหภูมิการใช้งานที่เหมาะสม (Suitability for Service Temperature) เนื่องจากฉนวนแต่ละประเภทจะมีข้อจำกัดของอุณหภูมิในการใช้งาน โดยเฉพาะพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลความร้อนในช่วงอุณหภูมิสูง เช่นพื้นที่ในส่วนกระจก Sky Light เป็นต้น

- ความทนทานต่อความชื้น (Resistance to Eater Penetration) ภูมิอากาศของประเทศไทย เป็นภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีความชื้นในอากาศสูงเกือบตลอดทั้งปี ดังนั้นการกันความชื้นที่เกิดขึ้นในฉนวนจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะในอาคารปรับอากาศ หากเกิดความชื้นในเนื้อฉนวนบางประเภท จะทำให้ความสามารถในการต้านทานความร้อนลดน้อยลงอย่างมาก

- ความแข็งแรงทางกล (Mechanical Strength) ในบางพื้นที่ที่ใช้สอยฉนวนต้องมีความสามารถในการรับน้ำหนัก ด้านทางต่อแรงดึงแรงเฉือน ทนต่อการกระแทก สั่นสะเทือน การปิดงอ

- ความต้านทานต่อแรงอัด (Resistance to Compaction)

- การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (Thermal Expansion)

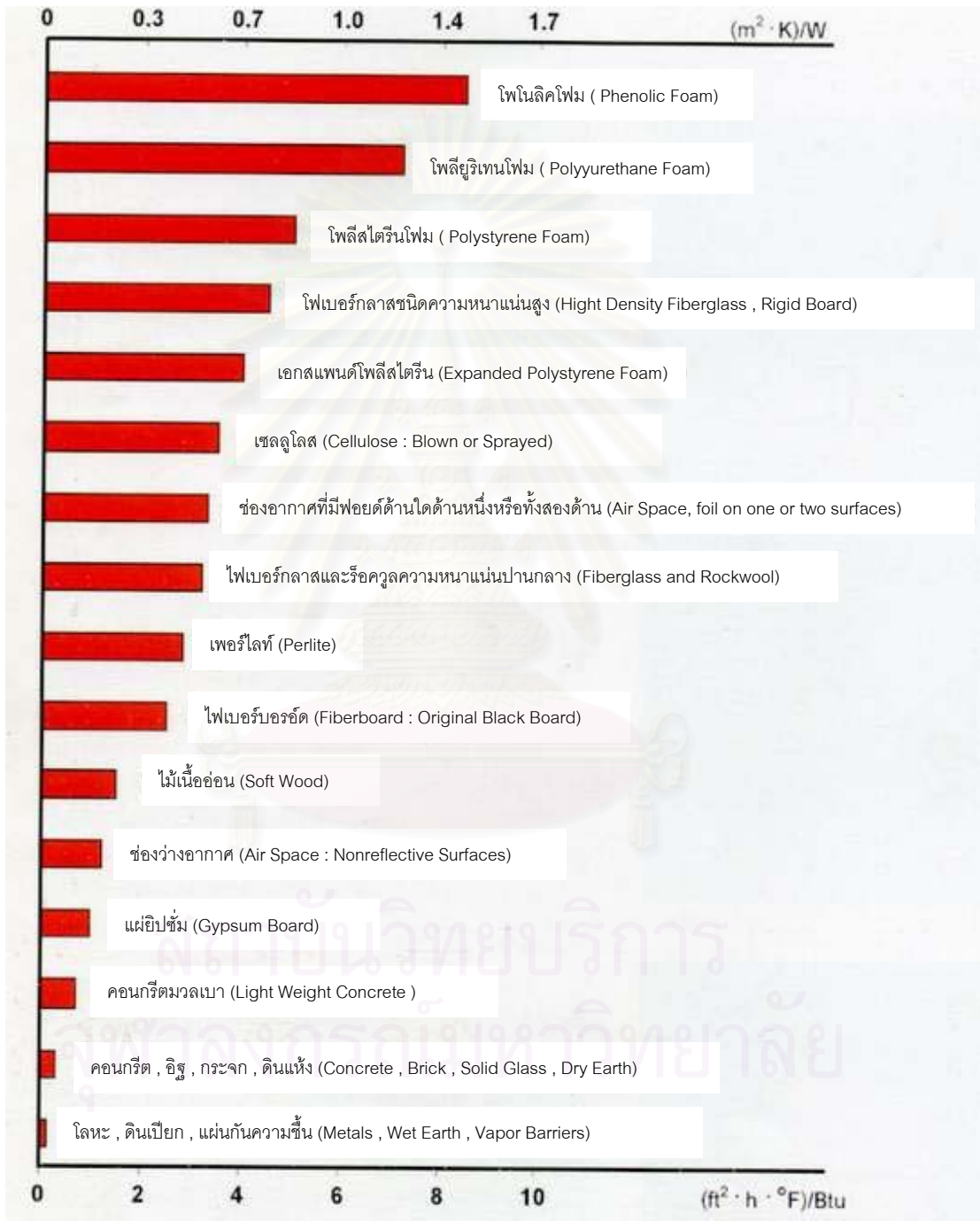
- อันตรายจากไฟไหม้ (Fire Hazard)

- ความต้านทานต่อแมลงและเชื้อรา (Resistance to Vermin and Fungus) และความปลอดภัยต่อสุขภาพ

- การกันเสียง (Acoustical Resistance)

- การปลอดจากกลิ่น (Freedom from Odour)

5. ความต้านทานต่อการกัดกร่อน และสารเคมี (Corrosion and Chemical Resistance)
6. การบำรุงรักษา (Maintenance)



แผนภูมิที่ 2-5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุต่าง ๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า . (กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542) , หน้า 140.

2.7.2 เทคนิคในการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนในส่วนหลังคา

พื้นที่เปลือกอาคาร (Building Envelope) ในส่วนหลังคา เป็นเปลือกอาคารที่มีมุมในการรับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง มากกว่าพื้นที่เปลือกอาคารในส่วนอื่นๆ จะเห็นได้จาก อุณหภูมิในห้องใต้หลังคา หรือ อุณหภูมิห้องชั้นบนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมาก โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นการใช้ฉนวนกันความร้อนในพื้นที่ส่วนนี้ นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

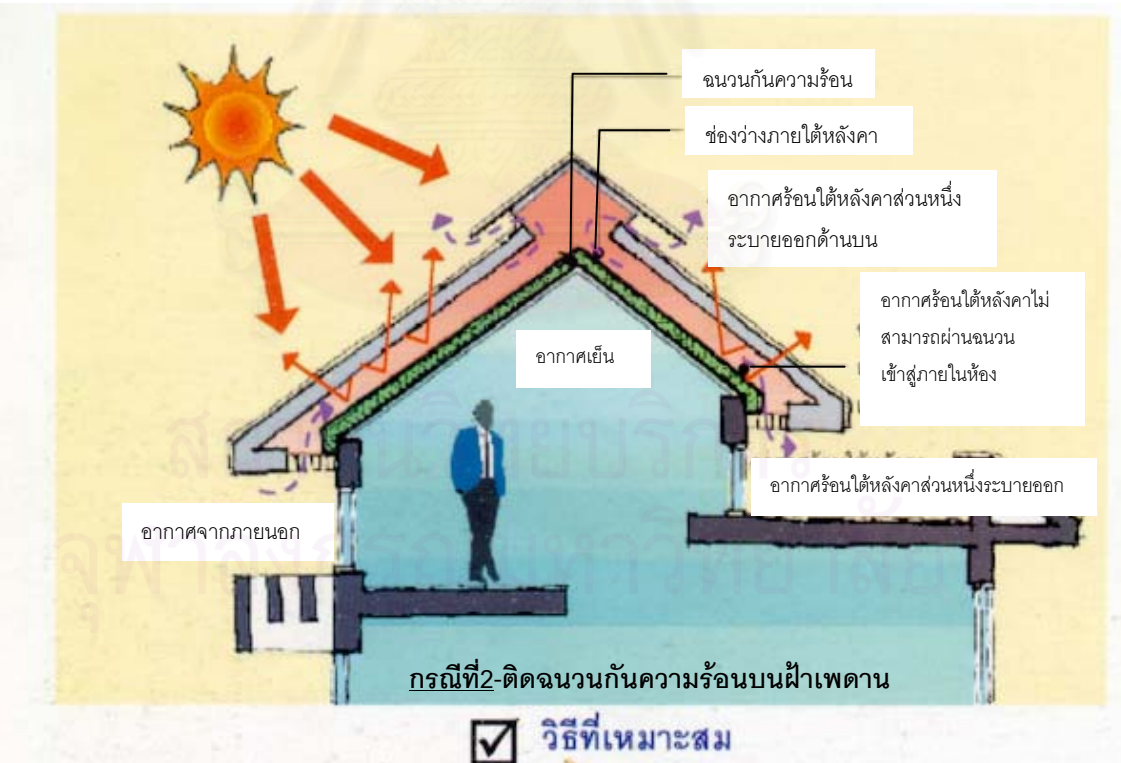
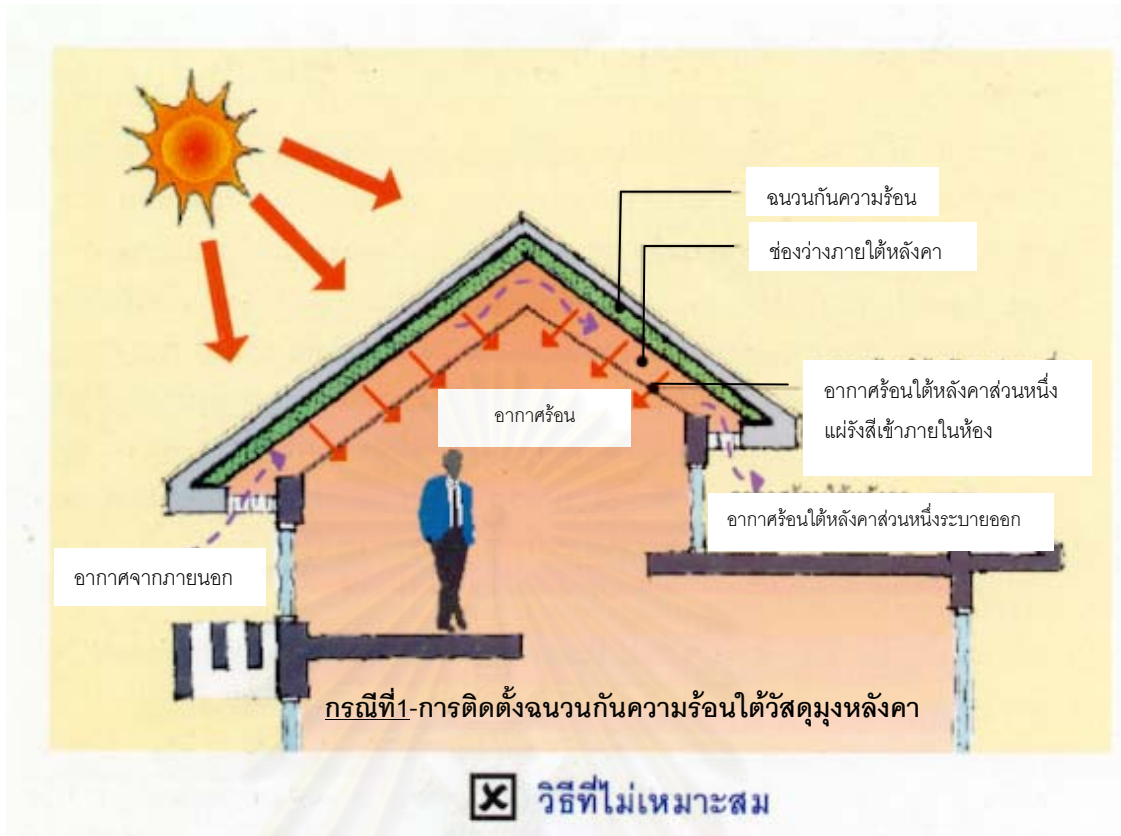
ในการติดตั้งระบบฉนวนป้องกันความร้อนในส่วนหลังคา ต้องมีความเข้าใจถึงตำแหน่งแหล่งที่มาความร้อน และตำแหน่งพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ในการติดตั้งระบบฉนวนกันความร้อนจึงควรอยู่ในตำแหน่งที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ให้ ถ่ายเทลงสู่พื้นที่ใช้สอยอาคารได้อย่างเหมาะสม

กรณีที่1-การติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้วัสดุผนังหลังคา

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้วัสดุผนังหลังคาเป็นตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ยังไม่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้อย่างเต็มที่ ถึงแม้ว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้ วัสดุผนังหลังคา จะช่วยลดการแผ่รังสีความร้อนสู่ช่องอากาศใต้หลังคา แต่อากาศร้อนจากภายนอก รวมถึงการแผ่รังสีความร้อนที่คงเหลือ ยังสามารถถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ พื้นที่ใช้สอยได้โดยตรง เนื่องจากฝ้าเพดานที่ใช้กันทั่วไป เช่นยิปซัมบอร์ด กระเบื้องแผ่นเรียบ ฯลฯ จะเป็นวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อน(R-Value) ต่ำมาก ทำให้ความร้อนที่ลงเหลือดังกล่าว ยังเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยได้

กรณี2-ติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน เป็นตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้อย่างเต็มที่มากกว่ากรณีแรก เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากวัสดุผนังหลังคา และอากาศร้อนจากภายนอก ไม่สามารถถ่ายเทความร้อนเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยได้โดยตรง เนื่องจากตำแหน่งฉนวนกันความร้อน ที่กั้นระหว่างอากาศร้อนจากภายนอกกับพื้นที่ใช้สอยโดยตรง ทำให้อากาศร้อนบริเวณดังกล่าว ไม่สามารถผ่านเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยได้อย่างเต็มที่



ภาพที่ 2-11 แสดงการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร ในการติดตั้งฉนวนแบบต่างๆ

ที่มา: สุนทร บุญญธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า . (กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542) , หน้า 150.

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง แล้วทำให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปร และแนวทางในการทำวิจัย โดยใช้ทำการทดสอบตัวแปรทางด้านอุณหภูมิจากกล่องทดลอง และ อาคารทดลอง โดยมียุทธวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยขั้นนี้ มุ่งเน้นการออกแบบระบบหลังคาที่สามารถป้องกัน ความร้อนในช่วงเวลากลางวันและสามารถกักเก็บความร้อนจากการคายรังสีความร้อนคืนสู่ ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน และสามารถนำมาใช้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยแบ่งขั้นตอน การเตรียมการทดลอง ดังนี้

1. การเตรียมสถานที่ทดลอง
2. การเตรียมกล่องทดลอง และอาคารทดลอง
3. การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย
4. ทดสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย

3.1.1 การเตรียมสถานที่ทดลอง

สถานที่ใช้ในการวิจัยขั้นนี้ ได้กำหนดให้เป็นพื้นที่ที่เป็นตัวแทนของสภาพภูมิอากาศในเขตร้อนชื้น และต้องไม่มีผลกระทบของตัวแปรแทรกสอดจากบริเวณข้างเคียง กล่าวคือ ต้องเป็นพื้นที่โล่งแจ้ง ไม่มีสิ่งปลูกสร้างในบริเวณข้างเคียง เช่น พื้นถนนคอนกรีต อาคารขนาดใหญ่ อาคารสูงหรือต้นไม้ใหญ่ ที่อาจจะเป็นร่มเงา ทำให้อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ของความเร็วลมที่พัดผ่านกล่องทดลอง และอาคารทดลองไม่สม่ำเสมอได้ สถานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ตั้งอยู่ในหมู่บ้านแห่งหนึ่ง ในเขตปริมณฑลของกรุงเทพฯ มีขนาดพื้นที่ประมาณ 400 ตารางวา มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการทดลอง รวมทั้งยังสะดวกในการเดินทาง การซื้ออุปกรณ์ก่อสร้าง และการก่อสร้าง



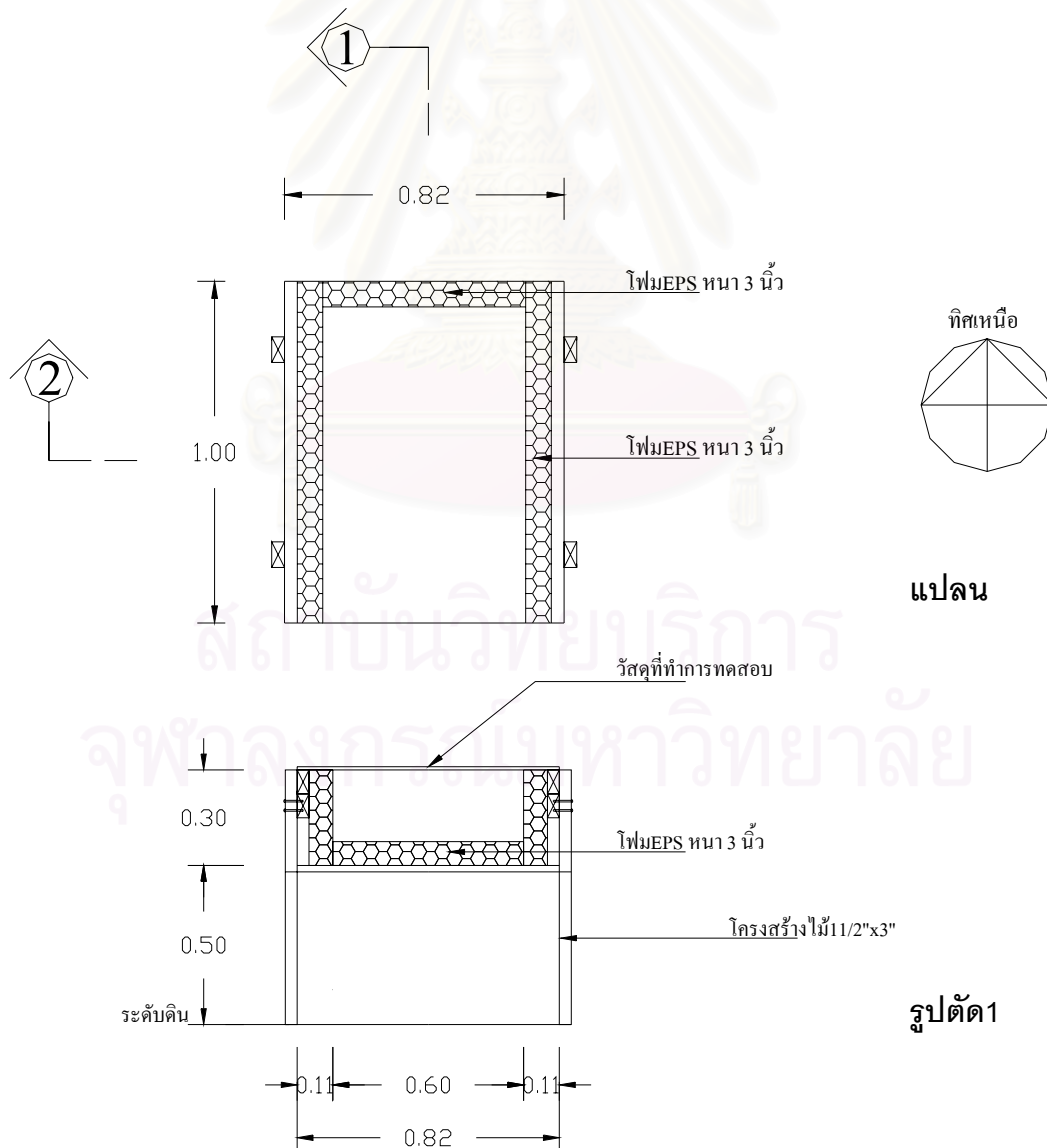
ภาพที่3-1 สถานที่ทำการทดลอง

3.1.2 การเตรียมกล่องทดลอง และอาคารทดลอง

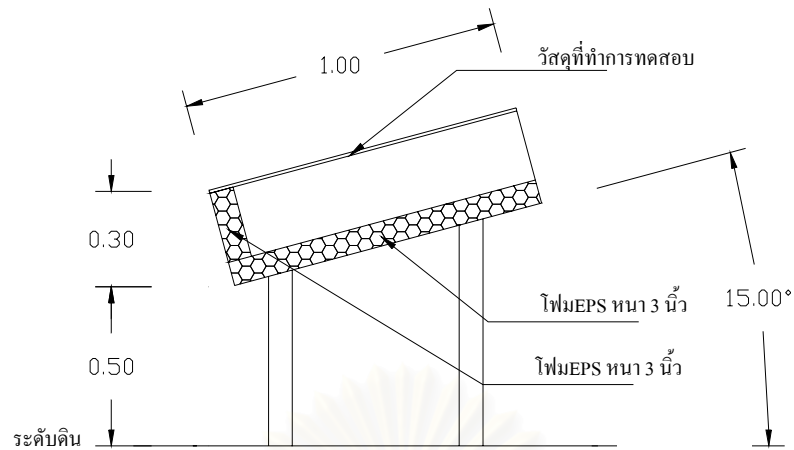
การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดรูปแบบในการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยกล่องทดลองเป็นตัวทดสอบ เนื่องจากกล่องทดลองสามารถควบคุมอิทธิพลของตัวแปรอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ต้องการทดสอบ ได้อย่างชัดเจน โดยจำลองช่องอากาศภายในกล่องทดลองแทนช่องใต้หลังคา รายละเอียดกล่องทดลอง ดังนี้

1. ใช้โฟม Polystyrene Foam (EPS) ที่ความหนาแน่น 1 ปอนด์ ต่อ ล.บ.ฟุต เป็นส่วนป้องกันอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากด้านล่างและด้านข้าง โดยเปิดฝากล่องในส่วนบนเพื่อสามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นสู่ภายนอก

2. กำหนดมุมเอียงที่ 15 องศา เนื่องจากเป็นมุมเปิดสู่ท้องฟ้า ที่มีผลกระทบต่อการรับและคายความร้อนจากท้องฟ้าสูง



รูปตัด1

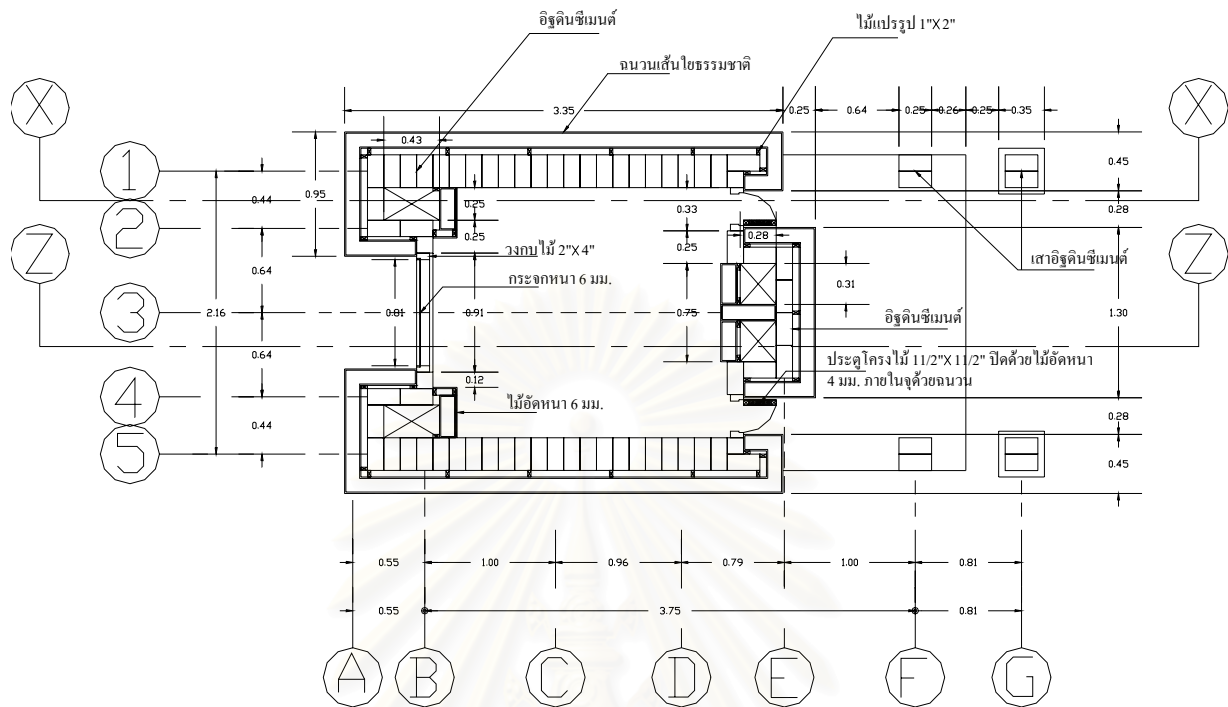


ภาพที่3-2 รายละเอียดดกล่องทดลอง

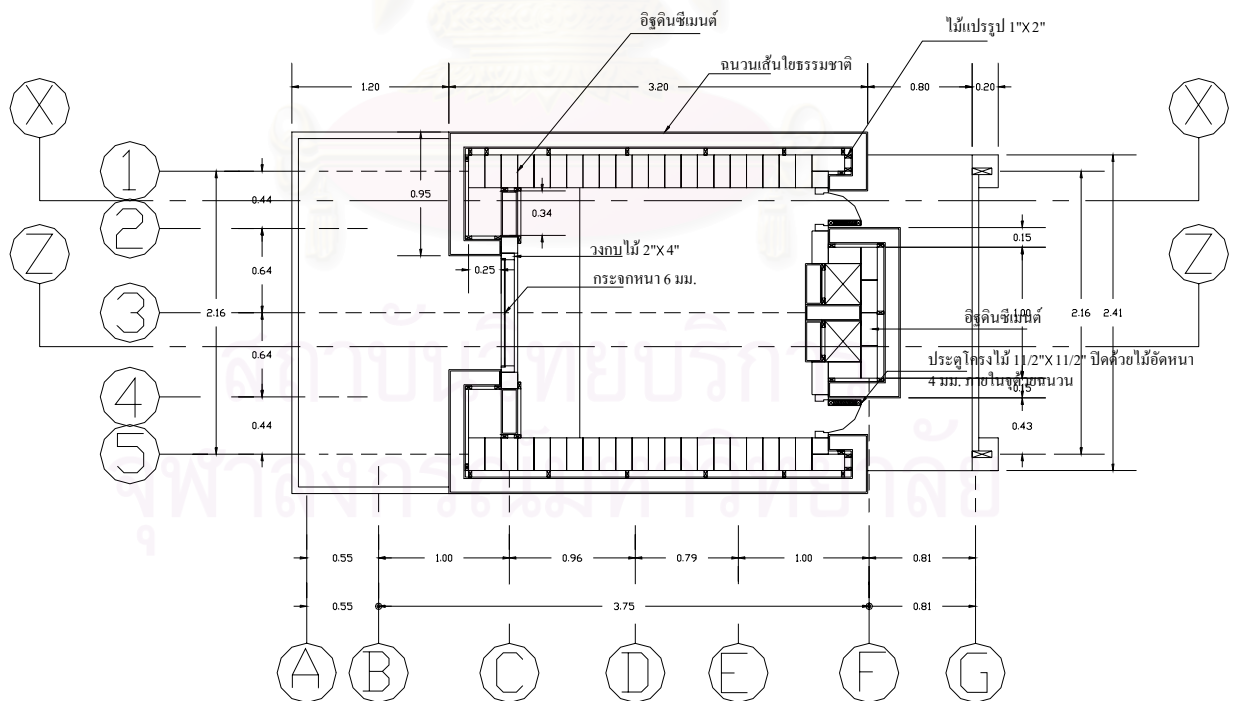


ภาพที่3-3 รายละเอียดดกล่องทดลองเมื่อสร้างเสร็จ

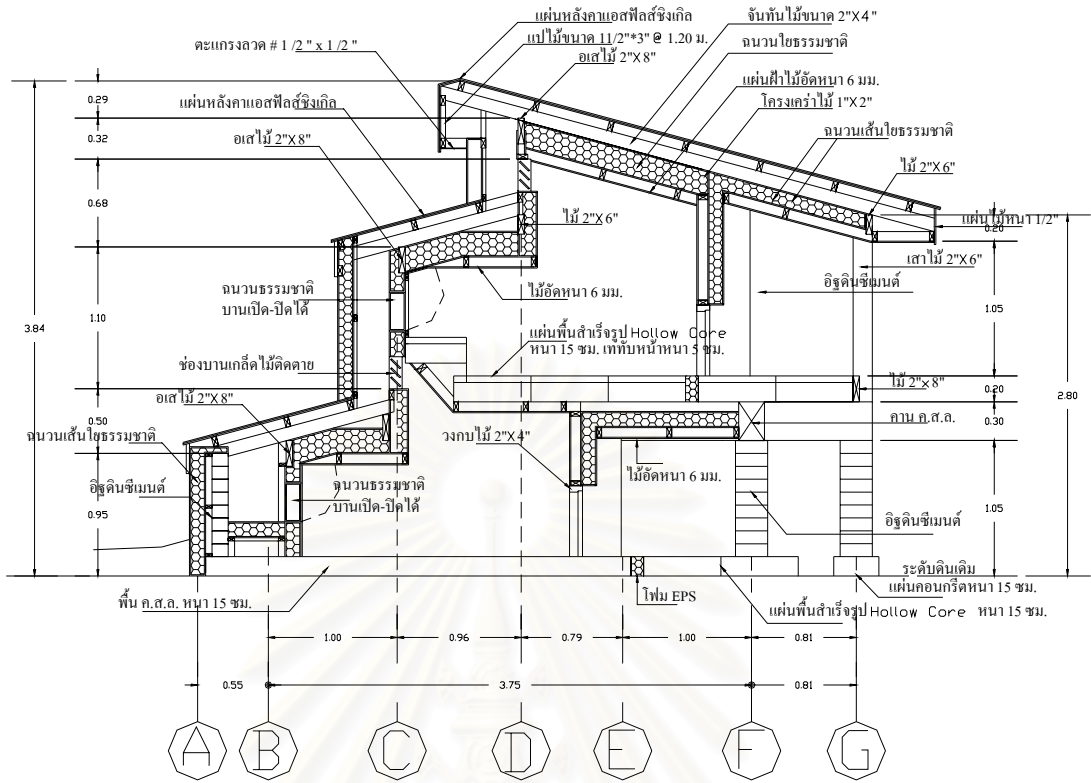
จากการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยดกล่องทดลอง ได้คัดเลือกตัวแปรที่มีความเหมาะสมนำมาประเมินผลกับ อาคารทดลอง โรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจำลองสร้างอาคารในมาตราส่วน 1 : 4 เป็นอาคาร 2 ชั้น มีขนาดประมาณ กว้าง 3 เมตร ยาว 5.20 เมตร สูง 4.85 เมตร โดยใช้วัสดุก่อสร้าง, ขนาดความหนาวัสดุ,ขนาดของช่องอากาศใต้หลังคา ,ขนาดช่องท่อ ตามแบบอาคารที่ก่อสร้างจริง มีรายละเอียดดังนี้



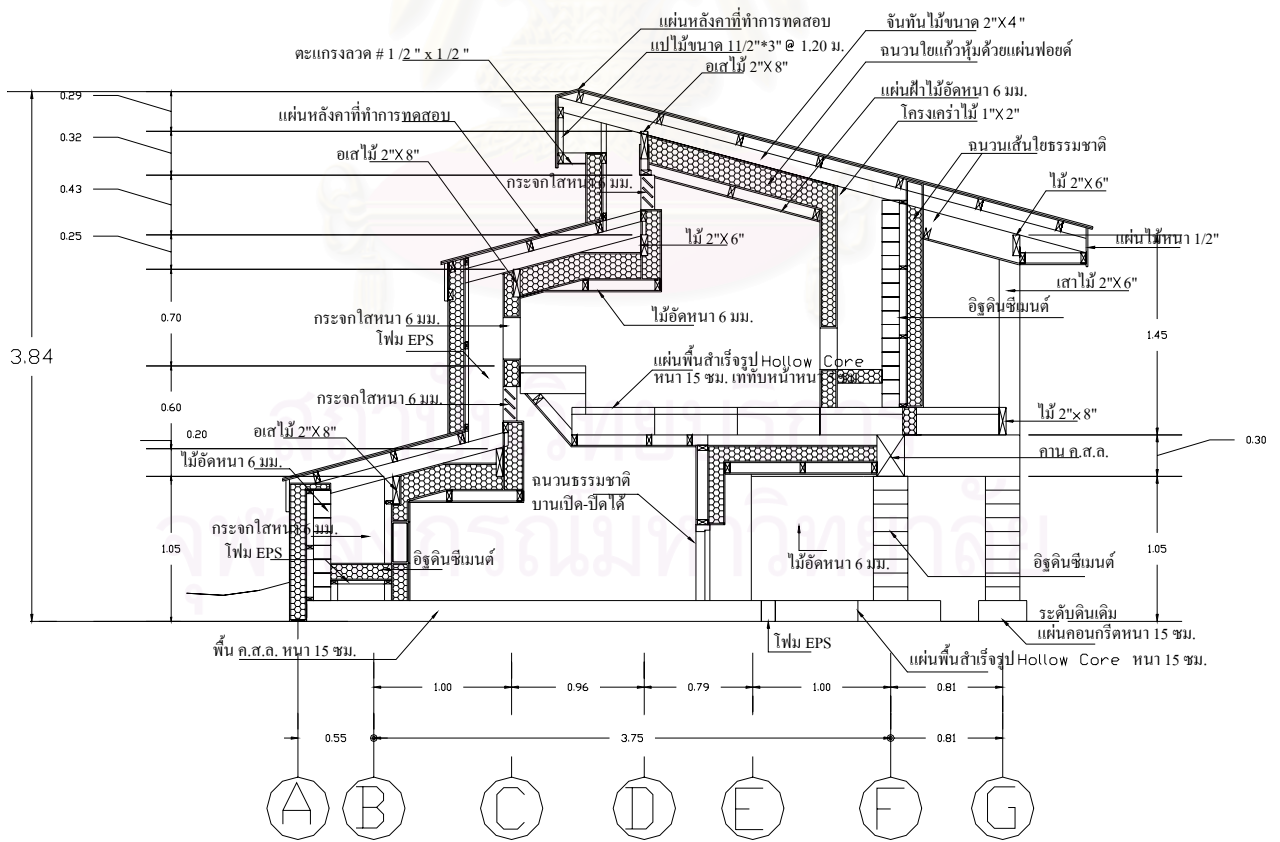
ภาพที่ 3-4 แสดงผังพื้นชั้นล่างอาคารทดลอง



ภาพที่ 3-5 แสดงผังพื้นชั้นบนอาคารทดลอง



ภาพที่3-6 แสดงรูปตัดแนว z - z



ภาพที่3-7 แสดงรูปตัดแนว x - x



ภาพที่3-8 รายละเอียดอาคารทดลองเมื่อสร้างเสร็จ

3.1.3 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องวัดอุณหภูมิ Data Logger System 200

ใช้เครื่อง Data Logger System 200 เป็นตัวรับสัญญาณ โดยจะบันทึกข้อมูลผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วย Program Sciometric Gen 200 Window-Based Software Version 1.46 เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลทางอุณหภูมิ การใช้งานเครื่อง Data Logger System 200 จะต้องป้องกันความร้อนจากแดด ฝน ความชื้น รวมทั้งป้องกันฝุ่นละอองจากภายนอกไม่ให้มากระทบเครื่องโดยตรง ควรต่อเครื่องรับสัญญาณร่วมกับเครื่องสำรองไฟ (UPS) เพื่อป้องกันความเสียหายของข้อมูล ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าตก หรือดับ เพราะอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาด ในการเก็บข้อมูลได้



ภาพที่3-9 แสดงภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทางอุณหภูมิ Data Logger System 200 กับเครื่องมือในการบันทึกข้อมูล

2. สายวัดและหัววัด อุณหภูมิ

ใช้หัวเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) ขนาดความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม เป็นตัวรับสัญญาณ ต่อกับสายโทรศัพท์แบบ 2 สายเป็นสายวัดอุณหภูมิ เป็นตัวแปลงสัญญาณเข้ากับเครื่อง Data Logger System 200 และบันทึกข้อมูลที่ได้ในคอมพิวเตอร์ เมื่อติดตั้งหัวเทอร์มิสเตอร์ต่อเข้ากับสายโทรศัพท์แล้ว ต้องมีการเคลือบด้วยวัสดุป้องกันความชื้น ที่บริเวณหัวเทอร์มิสเตอร์และรอยต่อของสาย เช่น แลคเกอร์ กาวยาง เป็นต้น ถ้าไม่ได้ป้องกันความชื้นในบริเวณดังกล่าว อาจจะทำให้การอ่านข้อมูลเกิดความผิดพลาดได้

ในการวิจัยนี้ การใช้หัวเทอร์มิสเตอร์ วัดอุณหภูมิ แบ่งเป็น 2 รูปแบบด้วยกัน มีรายละเอียด ดังนี้

-การวัดอุณหภูมิอากาศ จะใช้หัววัดอุณหภูมิสัมผัสกับอากาศบริเวณที่ต้องการวัดโดยตรง แต่ต้องป้องกันหัววัดอุณหภูมิไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงจากพระอาทิตย์ เพราะจะทำให้อุณหภูมิที่วัดได้สูงเกินกว่าค่าอุณหภูมิอากาศจริงที่ต้องการวัด

-การวัดอุณหภูมิผิววัสดุ จะใช้หัววัดอุณหภูมิสัมผัสกับผิววัสดุที่ต้องการ แต่จะต้องป้องกันอิทธิพลของรังสีความร้อนจากบริเวณโดยรอบ โดยใช้โฟม EPS ที่ความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อ ค.บ.ฟุต ขนาดประมาณ 11/2 ซ.ม. x 11/2 ซ.ม. x 2ซ.ม. เคลือบด้วยสีอะคริลิกสีขาว ปิดที่หัววัดอุณหภูมิ และป้องกันการรั่วซึมจากอากาศด้านนอก ด้วยซีลิโคน ดังภาพที่ 3-10



ภาพที่3-10 แสดงภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทางอุณหภูมิ Data Logger System 200



การวัดอุณหภูมิอากาศ



การวัดอุณหภูมิผิววัสดุ

ภาพที่3-11 แสดงการติดตั้งหัวอุณหภูมิรูปแบบต่างๆ

3.1.4 ทดสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย

- ทำการทดสอบสายสัญญาณวัดข้อมูล และปรับตั้งค่าตัวประกอบ แต่ละสาย โดยจะนำสายสัญญาณวัดข้อมูล วางไว้ในสภาวะอุณหภูมิเดียวกัน ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 80 องศาเซลเซียส ถึง 15 องศาเซลเซียส จากนั้นปรับแต่งค่าที่อ่านได้ในแต่ละสายสัญญาณด้วยการใช้สมการถดถอย(Regression) เพื่อหาสมการปรับการอ่านค่าในแต่ละสายสัญญาณให้มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด
- ทำการทดสอบอาคารทดลองและกล่องทดลอง เพื่อป้องกันกระทบจากตัวแปรแทรกสอด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดของการเก็บข้อมูล เช่น ความชื้นที่สะสมในมวลสาร , ความร้อนที่เกิดจากระยะการบ่มตัวของคอนกรีต , การรั่วซึมจากอากาศภายนอกของตู้ภายในอาคารทดลอง(Infiltration) , อิทธิพลจากสภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่ตั้งอาคารทดลอง ในแต่ละกล่องทดลอง มีการปรับตั้งค่าตัวประกอบ ด้วยการใช้สมการถดถอย(Regression) เพื่อหาสมการปรับการอ่านค่าในแต่ละกล่องทดลองให้มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด

3.2 การกำหนดขั้นตอนในการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย สามารถกำหนดขั้นตอนในการทดลอง การพัฒนารูปแบบ และระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร ดังต่อไปนี้

1. ทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา
 - ผลกระทบของมวลสารของวัสดุผนังหลังคา
 - ผลกระทบของสีวัสดุผนังหลังคา
 - ผลกระทบของมวลสารของฉนวนป้องกันความร้อน
 - ผลกระทบของการไหลเวียนอากาศ ช่องใต้หลังคา
2. เทคนิคในการออกแบบระบบหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร

3.2.1 ทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

การทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา ทำการทดสอบโดยอาศัยกล่องทดลอง เนื่องจากสามารถควบคุมอิทธิพลของตัวแปรอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง กับตัวแปรที่นำมาทดสอบได้อย่างชัดเจน มีตัวแปรในการทดสอบดังนี้

การทดลองที่ 1 ผลกระทบของมวลสารของวัสดุผนังหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา โดยคัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารแตกต่างกัน โดยควบคุมสีภายนอกให้มีความ (emissivity) ใกล้เคียงกัน โดยวัสดุดังกล่าวสามารถใช้ได้กับอาคารกรณีศึกษา โรงเรียนต้นแบบ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ และไม่มีสารพิษสะสมที่มีผลกระทบต่อผู้ใช้อาคาร วัสดุผนังหลังคาที่นำมาใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

- กระเบื้องคอนกรีต สีเทาชมพูราบหนา 1.2 ม.ม.
- หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล (ไม้อัดหนา 12 ม.ม. ปิดด้วยแผ่นยางกันซึม)
- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสี) หนา 0.5 ม.ม.

ตารางที่ 3-1 แสดงตัวแทนวัสดุที่มีมวลสารแตกต่างกันที่ใช้ในการวิจัย ผลกระทบของมวลสารของวัสดุผนังหลังคา

วัสดุที่มีมวลสารต่างกัน	ความหนา (mm)	น้ำหนักวัสดุ (Kg/m ²)
กระเบื้องคอนกรีต	12	40
หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล	12	14.35
หลังคาโลหะ	0.5	4.15



กล่องหลังคากระเบื้องคอนกรีต



กล่องหลังคาแอลพีดีสังกะสี



กล่องหลังคาโลหะทาสีดำ

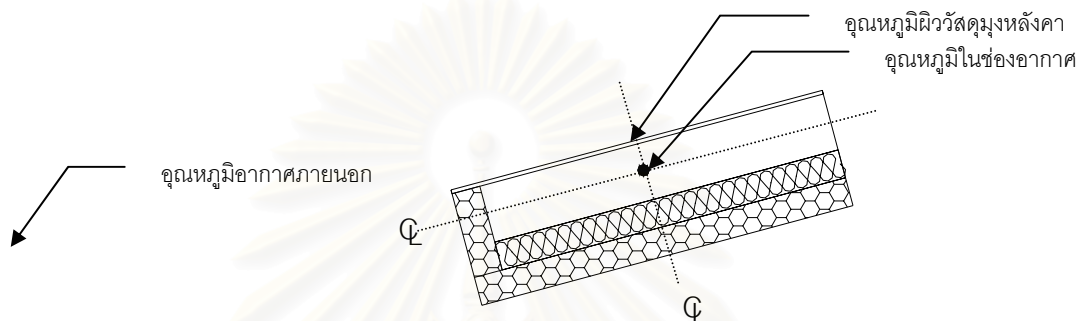
ภาพที่3-12 แสดงกล่องทดลองผลกระทบของมวลสารของวัสดุผนังหลังคา ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

โดยแบ่งกรณีในการศึกษาดังนี้

- กรณีการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์(Solar Radiation) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
- กรณีการถ่ายเทรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน (Night Sky Radiation)

ตรวจเช็คความเที่ยงของอุปกรณ์ และเครื่องมือ โดยเริ่มเก็บข้อมูล ตั้งแต่เวลา 0.00 น. ถึง 12.00 น. ในวันถัดไป ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 36 ชั่วโมง โดยจะเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ คือ

- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคา
- อุณหภูมิในช่องอากาศ



ภาพที่3-13 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ ในการทดลองผลกระทบของมวลสารของวัสดุผนังหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

การทดลองที่2 ผลกระทบของสีวัสดุผนังหลังคา ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

โดยคัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่มีสีแตกต่างกัน และค่าการคายรังสีเฉื่อยในช่วงคลื่นยาว (long-wave emissivity) และค่าดูดซับรังสีในช่วงคลื่นสั้น (solar absorbtion) ที่แตกต่างกัน วัสดุผนังหลังคาที่นำมาใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสีขาว) หนา 0.5 ม.ม.
- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี ไม่เคลือบผิว) หนา 0.5 ม.ม.
- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสีดำ) หนา 0.5 ม.ม.

ตารางที่3-2 แสดงตัวแทนวัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีความร้อนและการคายรังสีความร้อนแตกต่างกัน

วัสดุที่ทำการทดสอบ	ค่าการคายรังสีเฉื่อยในช่วงคลื่นยาว ϵ (long-wave emissivity)	ค่าดูดซับรังสีในช่วงคลื่นสั้น α (solar absorbtion)	$\frac{\alpha}{\epsilon}$
เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสีขาว	0.9	0.25	0.28
เหล็กเคลือบสังกะสี ไม่เคลือบผิว	0.13	0.65	5
เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสีดำ	0.93	0.93	1



กล่องหลังคาโลหะเคลือบสีขาว



กล่องหลังคาโลหะไม่เคลือบผิว



กล่องหลังคาโลหะเคลือบสีดำ

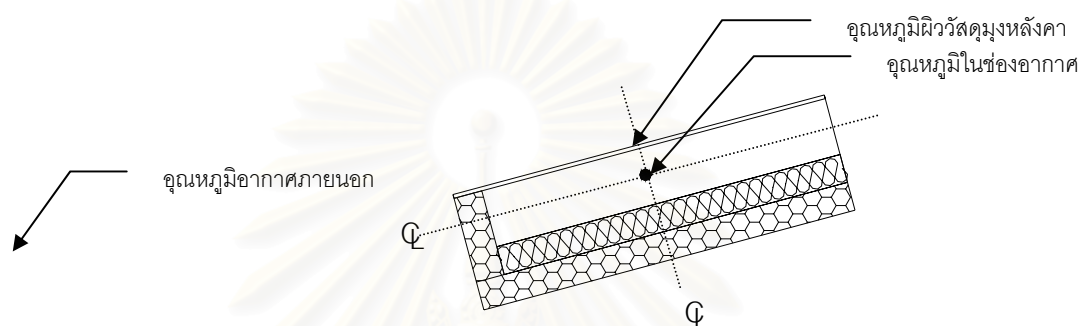
ภาพที่3-14 แสดงกล่องทดลองผลกระทบของสีวัสดุผนังหลังคา ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

โดยแบ่งกรณีในการศึกษาดังนี้

- กรณีการรับรังสีความร้อนจากกวางอาทิตย์(Solar Radiation)ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
- กรณีการถ่ายเทรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน (Night Sky Radiation)

ตรวจเช็คความเที่ยงของอุปกรณ์ และเครื่องมือ โดยเริ่มเก็บข้อมูล ตั้งแต่เวลา 0.00 น. ถึง 12.00 น. ในวันถัดไป ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 36 ชั่วโมง โดยจะเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ คือ

- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคา
- อุณหภูมิในช่องอากาศ



ภาพที่3-15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ ในการทดลองผลกระทบของสวัสดุมุงหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

การทดลองที่3 ผลกระทบของมวลสารของฉนวนป้องกันความร้อน ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

โดยคัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารของฉนวนกันความร้อนแตกต่างกัน และค่าต้านทานความร้อน(R-value) ที่ใกล้เคียงกัน และควบคุมวัสดุผนังหลังคาให้เหมือนกันทุกกล่องทดลอง ฉนวนกันความร้อนที่นำมาใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

- ฉนวนกลบแบบผ้าห่ม(ห่อด้วยผ้าดิบ) หนา 6 นิ้ว
- ฉนวนใยแก้วแบบผ้าห่ม หนา 3 นิ้ว
- ฉนวนโฟมEPS ที่ความหนาแน่น 1 ปอนด์ ต่อ ล.บ.ฟุต ขนาดประมาณ 11/2 ซม.ม.x 11/2 ซม.ม. x 2ซม.ม. หนา 3 นิ้ว

ตารางที่3-3 แสดงตัวแทนฉนวนป้องกันความร้อนที่มีมวลสารแตกต่างกัน

ฉนวนกันความร้อนที่ทำกรทดสอบ	ความหนา (in)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ค่าความต้านทานความร้อน (R-Value)(hr.ft ² .F.Btu)	น้ำหนักวัสดุ (kg)
ฉนวนกลบแบบผ้าห่ม	5	340	11.1	13.82
ฉนวนใยแก้วแบบผ้าห่ม	3	13.33	11.5	0.54
ฉนวนโฟมEPS	3	16	11.54	0.6



กล่องฉนวนกลบแบบผ้าห่ม

กล่องฉนวนใยแก้วแบบผ้าห่ม



กล่องฉนวนโฟมEPS

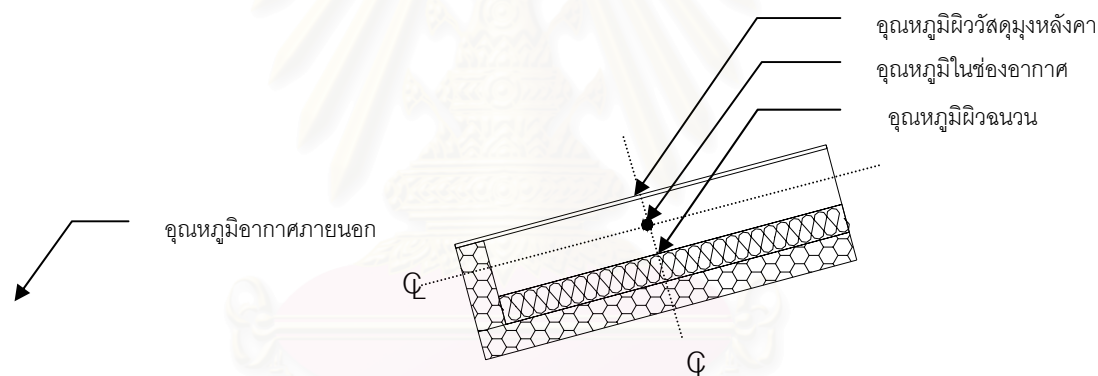
ภาพที่3-16 แสดงกล่องทดลองผลกระทบมวลสารของฉนวนป้องกันความร้อน ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

โดยแบ่งกรณีในการศึกษาดังนี้

- กรณีการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์(Solar Radiation) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
- กรณีการถ่ายเทรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน (Night Sky Radiation)

ตรวจเช็คความเที่ยงของอุปกรณ์ และเครื่องมือ โดยเริ่มเก็บข้อมูล ตั้งแต่เวลา 0.00 น. ถึง 12.00 น. ในวันถัดไป ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 36 ชั่วโมง โดยจะเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ คือ

- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคาด้านนอก
- อุณหภูมิในช่องอากาศ
- อุณหภูมิผิวฉนวน



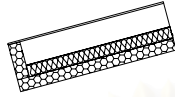
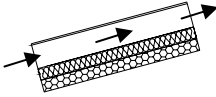
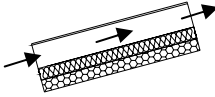
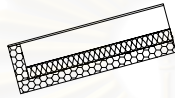
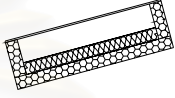
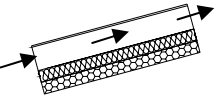
ภาพที่3-17 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ ในการทดลองผลกระทบของมวลสารฉนวนหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

การทดลองที่4 ผลกระทบของการไหลเวียนอากาศ ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

ในการทดลองนี้ได้ควบคุมตัวแปรวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารของฉนวนกันความร้อนเป็นตัวแปรคงที่ แล้วมีการปรับเปลี่ยนการไหลเวียนอากาศให้มีความแตกต่างกันในแต่ละกล่องทดลอง ในแต่ละกล่องทดลองจะมีการไหลเวียนอากาศที่แตกต่างกันดังนี้

- กล่องที่ปิดการไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง
- กล่องที่ปิดการไหลเวียนอากาศในช่วงกลางคืน(20.00น.-7.00น.) และเปิดการไหลเวียนอากาศในช่วงกลางวัน(7.00น. - 20.00น.)
- กล่องที่เปิดการไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง

ตารางที่3-4 แสดงการใช้การไหลเวียนอากาศในแต่ละกล่องทดลอง

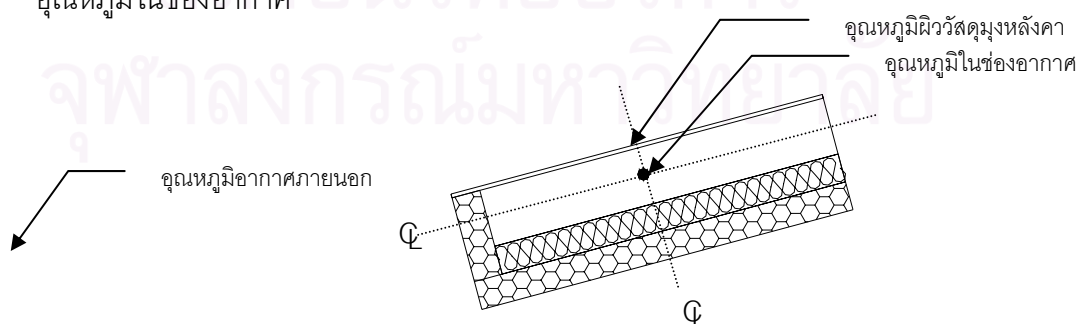
	กล่องปิด 24 ชั่วโมง	กล่องเปิดกลางวัน กล่องปิดกลางคืน	กล่องเปิด 24 ชั่วโมง
กลางวัน(20.00น.-7.00น.)			
กลางคืน(7.00น.-20.00น.)			

โดยแบ่งกรณีในการศึกษาดังนี้

- กรณีการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์(Solar Radiation) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
- กรณีการถ่ายเทรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน (Night Sky Radiation)

ตรวจเช็คความเที่ยงของอุปกรณ์ และเครื่องมือ โดยเริ่มเก็บข้อมูล ตั้งแต่เวลา 0.00 น. ถึง 12.00 น. ในวันถัดไป ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 36 ชั่วโมง โดยจะเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ คือ

- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคา
- อุณหภูมิในช่องอากาศ



ภาพที่3-18 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ ในการทดลองผลกระทบของการไหลเวียนอากาศ ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

3.2.2 เทคนิคในการออกแบบระบบหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร

จากการทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาข้างต้น ได้นำตัวแปรดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ ในอาคารทดลอง กรณีศึกษาโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อศึกษาหาแนวโน้มของผลกระทบทางด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในอาคารทดลอง โดยมีรูปแบบการศึกษาดังนี้

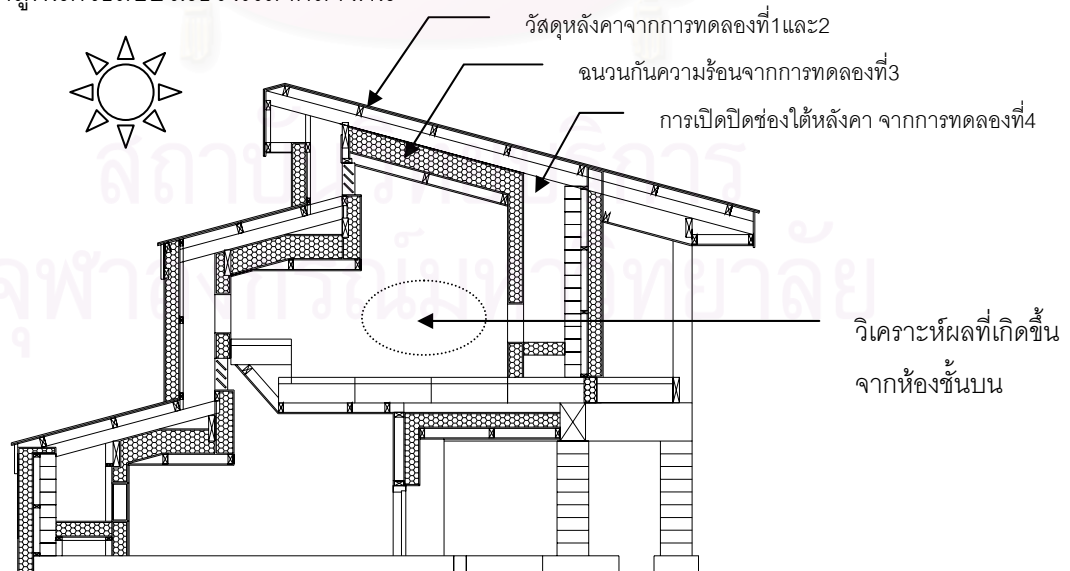
กรณีที่1 ระบบหลังคาทั่วไป

เมื่อใช้หลังคามวลสารปานกลาง : หลังคาแอสฟัลต์ซีเมนต์ (ไม้อัดหนา 12 ม.ม. ปิดด้วยแผ่นยางกันซึม) + ฉนวนมวลสารน้อย : ฉนวนใยแก้วแบบผ้าห่มหนา 8 นิ้ว

กรณีที่2 ระบบหลังคา จากการทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร

เมื่อใช้วัสดุและสีวัสดุหลังคาจากการทดลองที่1และ2 + ฉนวนหลังคาจากการทดลองที่3 และ ระบบการไหลเวียนอากาศจากการทดลองที่4

โดยนำวัสดุหลังคา, สีวัสดุหลังคา, ฉนวนกันความร้อน และระบบการไหลเวียนอากาศในช่องใต้หลังคา ผลจากการทดลองขั้นตอนที่1 เพื่อทดสอบ รูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคา ในการป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวันและสามารถนำความเย็นเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยในช่วงเวลากลางคืน



ภาพที่3-19 แสดงวัสดุหลังคา และการไหลเวียนอากาศ ผลจากการทดลองในขั้นตอนที่1

โดยแบ่งกรณีในการศึกษาดังนี้

- กรณีการรับรังสีความร้อนจากกวางอาทิตย์(Solar Radiation)ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
- กรณีการถ่ายเทรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน (Night Sky Radiation)

ตรวจเช็คความเที่ยงของอุปกรณ์ และเครื่องมือ โดยเริ่มเก็บข้อมูล ตั้งแต่เวลา 0.00 น. ถึง 12.00 น. ในวันถัดไป ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 36 ชั่วโมง โดยจะเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ คือ

- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคา
- อุณหภูมิในช่องอากาศใต้หลังคา
- อุณหภูมิผิวฉนวน
- อุณหภูมิผิวฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิห้องชั้น 2

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

นำผลการทดลองในแต่ละการทดสอบจากทดลองในขั้นตอนที่1 และขั้นตอนที่2 นำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และการนำความเย็นในช่วงเวลากลางคืน นำมาผสมผสาน หารูปแบบระบบหลังคาที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยใช้หลักการทางสถิติ เปรียบเทียบผลการทดลอง แสดงออกในรูปแบบภูมิ , กราฟ และวิเคราะห์ถึง สาเหตุ แนวทาง จากผลการทดลองที่เกิดขึ้น

3.4 สรุปผล และเสนอแนะ

นำผลวิเคราะห์จากการทดสอบ นำมาสรุปผลแนวทางการออกแบบระบบหลังคาที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ดังนี้

- สรุปตัวแปร ที่มีผลต่อระบบหลังคาที่สามารถป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และสามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน
- สรุปแนวทางในการออกแบบรูปแบบหลังคาและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร
- เสนอแนะแนวทางการวิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้อง
- เสนอแนะข้อควรคำนึงถึงในการทำวิจัยครั้งต่อไป

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย การพัฒนารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของ
หลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร สามารถแบ่งการวิเคราะห์ในการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา
2. เทคนิคในการออกแบบระบบหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร

4.1. ทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้ หลังคา

เพื่อหาอิทธิพลของตัวแปรในแต่ละส่วน ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้
หลังคา โดยใช้กล่องทดลองเป็นตัวทดสอบ เพื่อควบคุมอิทธิพลของตัวแปรแทรกสอดภายนอก โดย
กำหนดตัวแปรในการทดลองออกเป็น 4 ตัวแปร ดังนี้

1. ผลกระทบของมวลสารของวัสดุผนังหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา
2. ผลกระทบของสีวัสดุผนังหลังคา ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา
3. ผลกระทบของมวลสารของฉนวนป้องกันความร้อน ต่ออุณหภูมิภายในช่อง
ใต้ หลังคา
4. ผลกระทบของการไหลเวียนอากาศ ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1 ผลกระทบของมวลสารของวัสดุผนังหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

วัตถุประสงค์ : เพื่อทดสอบอิทธิพลของมวลสารของวัสดุผนังหลังคา ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

- ตัวแปรต้น
- มวลสารของวัสดุผนังหลังคา (ตัวแปรที่ทำการทดสอบ)
 - ชนิดฉนวนป้องกันความร้อน (ตัวแปรคงที่)
 - อุณหภูมิอากาศ
 - รังสีดวงอาทิตย์
- ตัวแปรตาม
- อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

: เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่เกิดขึ้นเมื่อใช้วัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารวัสดุที่แตกต่างกัน

โดยคัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารแตกต่างกัน โดยควบคุมสีภายนอกให้มีค่า (emissivity) ใกล้เคียงกัน โดยวัสดุดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ได้กับอาคารกรณีศึกษา โรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ และไม่มีสารพิษสะสมที่มีผลกระทบต่อผู้ใช้อาคาร วัสดุผนังหลังคาที่นำมาใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

- กระเบื้องคอนกรีต สีเทาชมพูราบหนา 1.2 ม.ม. น้ำหนัก 40 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล (ไม้อัดหนา 10 ม.ม. ปิดด้วยแผ่นยางกันซึม) น้ำหนัก 14.35 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสี) หนา 0.5 ม.ม. น้ำหนัก 4.15 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

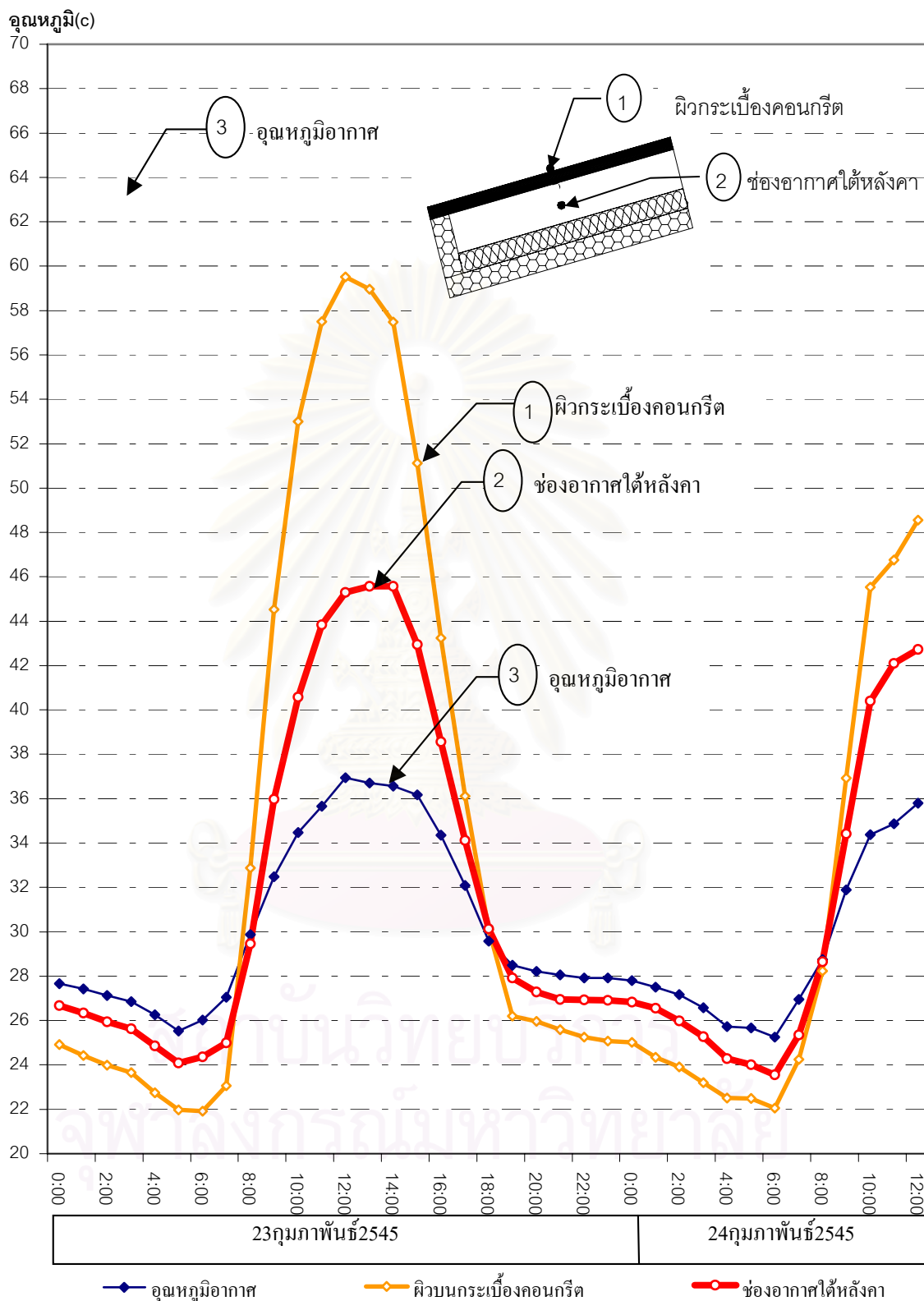
ผลการทดลอง

- แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย กระเบื้องคอนกรีต หนา 1.2 ม.ม. ดังแผนภูมิที่ 4-1
- แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล ดังแผนภูมิที่ 4-2

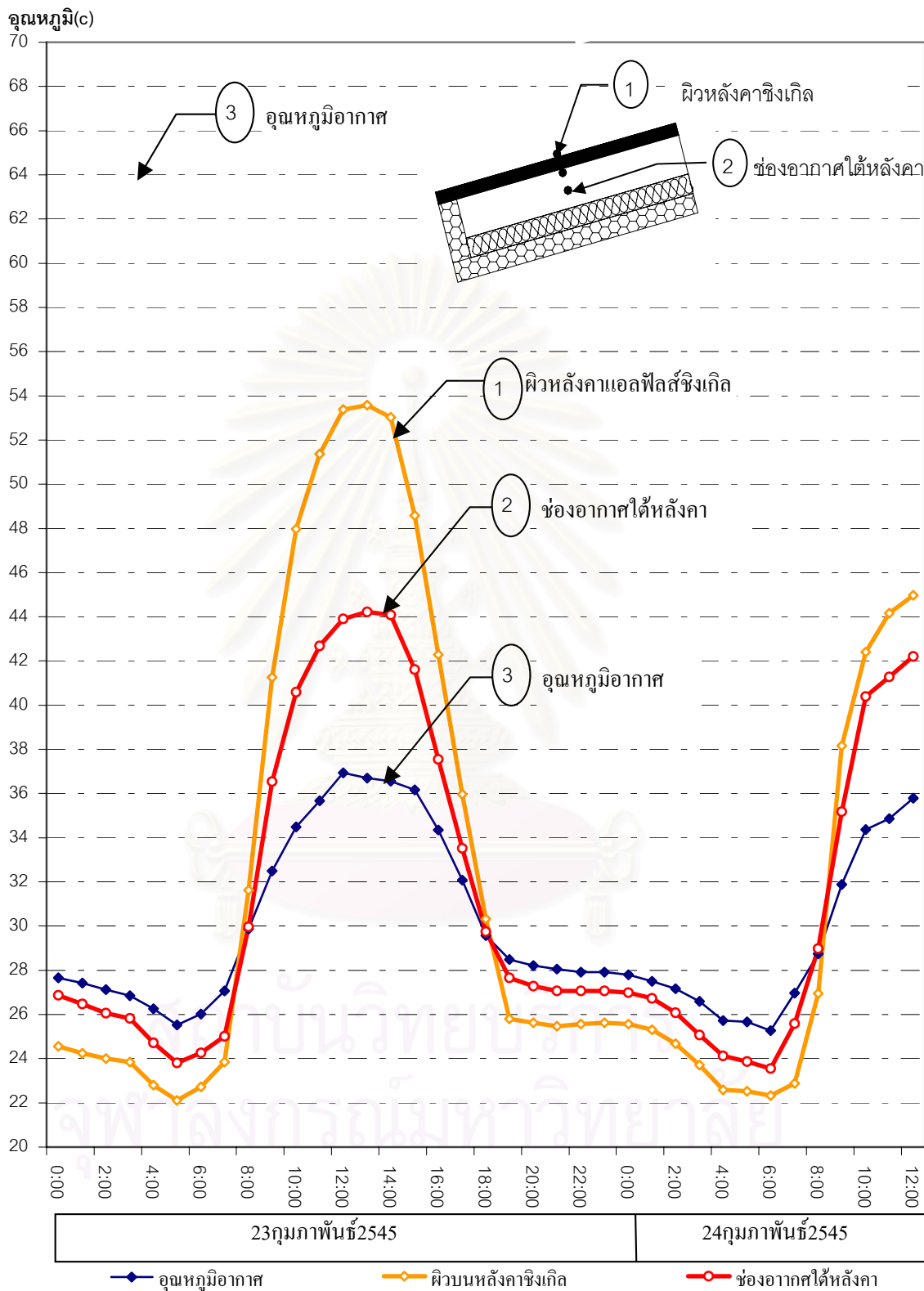
- แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุ่งด้วย หลังคาโลหะเคลือบสีดำ ดังแผนภูมิที่ 4-3
- เปรียบเทียบอุณหภูมิในกล่องทดลอง จากวัสดุผนังประเภทต่างๆ ดังแผนภูมิที่ 4-4
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศและกล่องทดลองวัสดุหลังคา ดังแผนภูมิที่ 4-5
- เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองวัสดุหลังคา กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย ดังแผนภูมิที่ 4-6



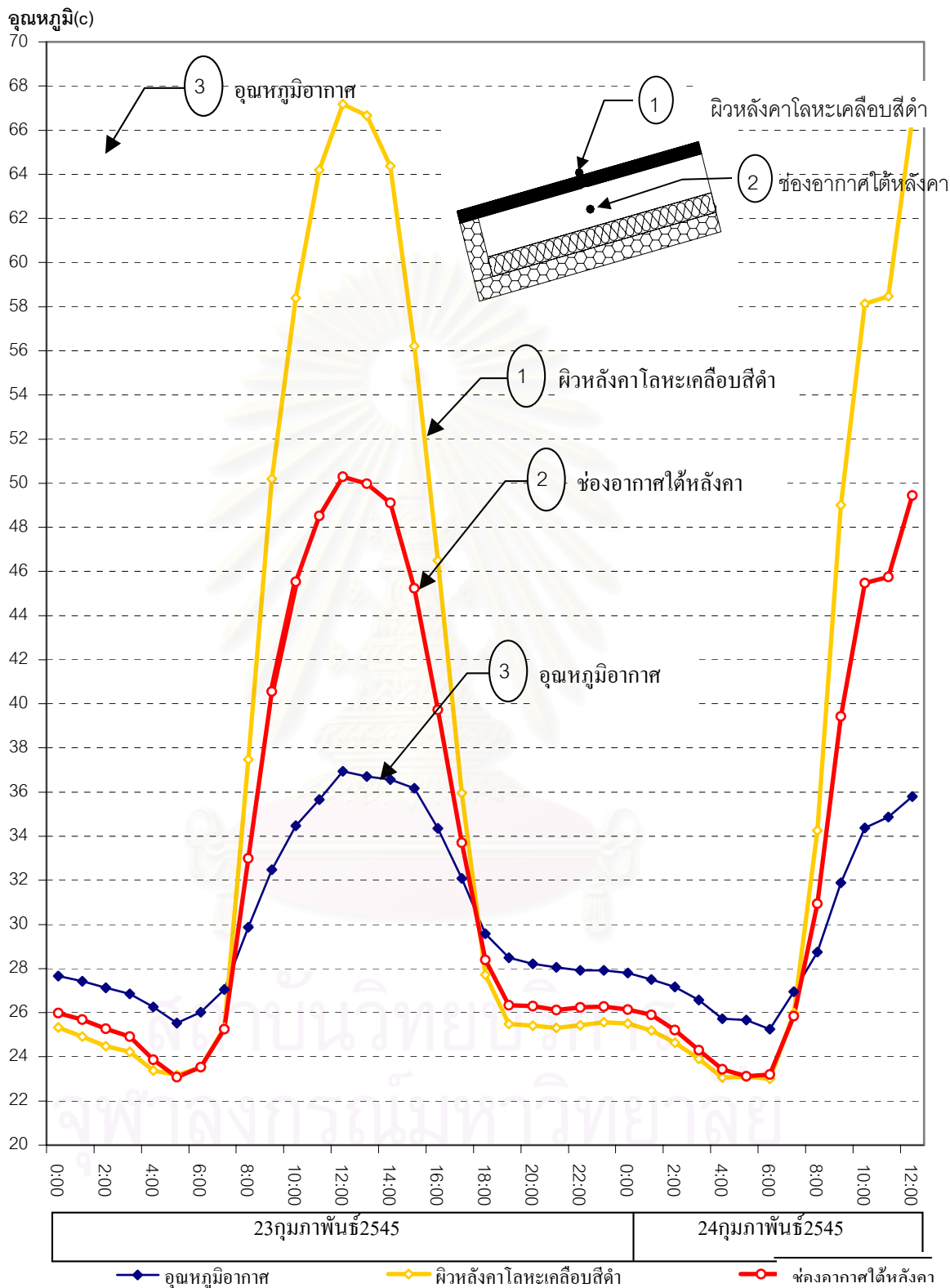
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-1 แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคากระเบื้องคอนกรีต

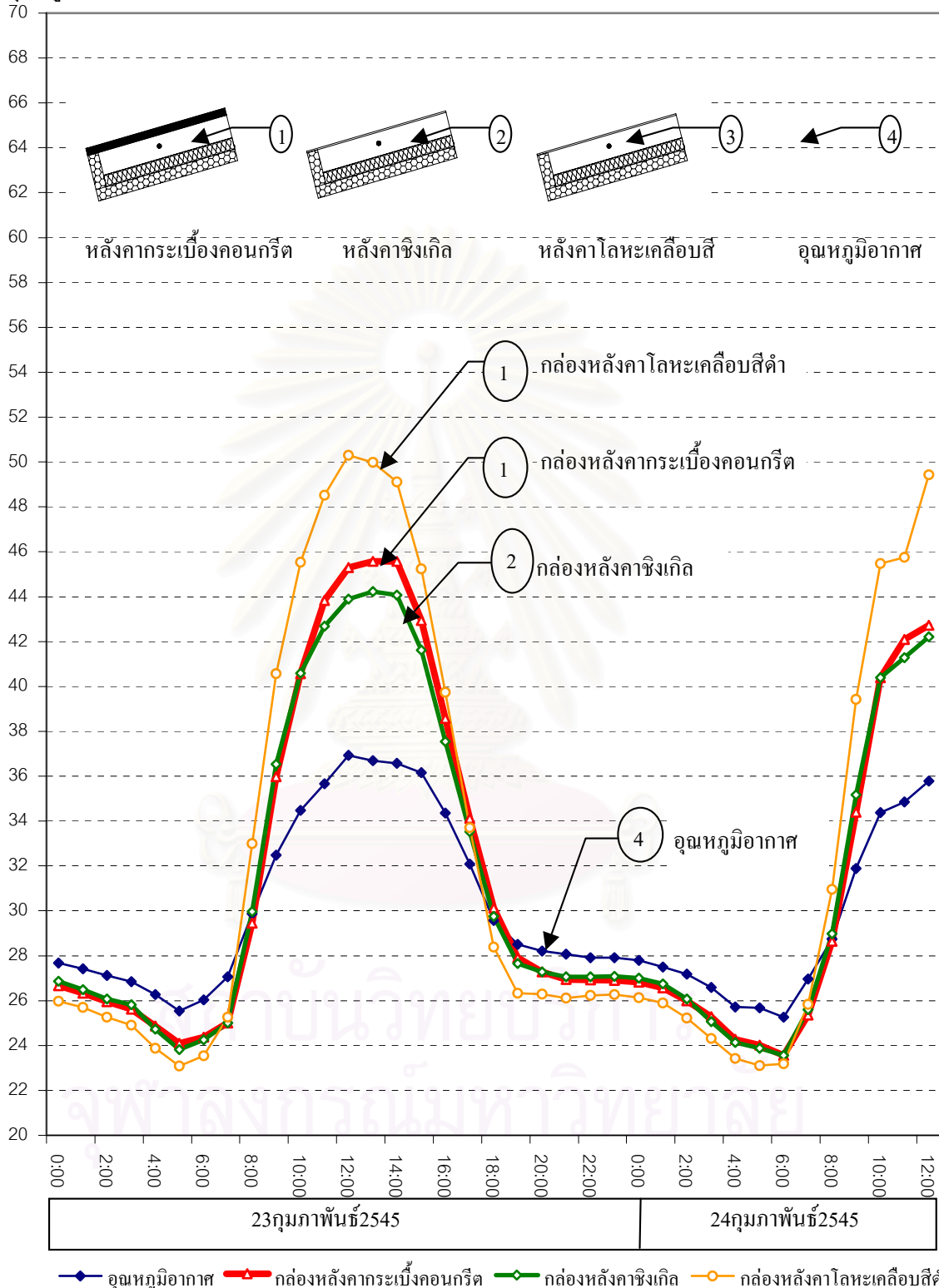


แผนภูมิที่ 4-2 แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาแอลไฟล์ซิงเกิล



แผนภูมิที่ 4-3 แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะเคลือบสีดำ

อุณหภูมิ(c)



แผนภูมิที่ 4-4 เปรียบเทียบอุณหภูมิในก่อก่อทดลอง จากวัสดุประเภทต่างๆ

จากผลการทดลอง ผลกระทบของมวลสารของวัสดุผงหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา เมื่อวันที่ 23 -24 กุมภาพันธ์ 2545 พบว่ามวลสารของวัสดุผงที่แตกต่างกัน จะให้ผลของอุณหภูมิในกล่องทดลองแตกต่างกัน ดังนี้

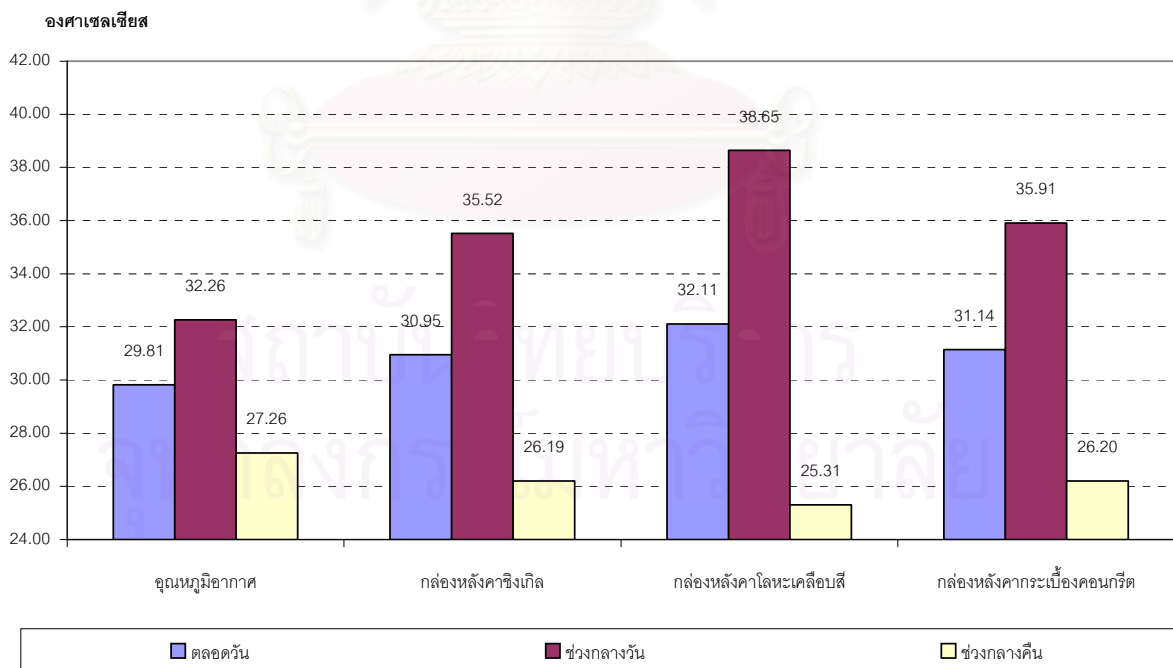
ในช่วงเวลากลางวัน

วัสดุผงหลังคาจะเริ่มได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากพระอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุผงหลังคาเริ่มสูงขึ้นและนำความร้อน(conduction)สู่อากาศวัสดุผง และแผ่รังสีความร้อน(radiation) สู่อากาศภายในช่องใต้หลังคา ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่ กล่องหลังคากระเบื้องคอนกรีต จะมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 46.44 องศาเซลเซียส ที่เวลา 14.00 น. กล่องหลังคาแอลพีดีซีงเกิด จะมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 44.98 องศาเซลเซียส ที่เวลา 14.00 น. ส่วนกล่องหลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 51.59 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12.30 น. ในขณะที่อุณหภูมิอากาศ จะมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 37.20 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12.30 น. จะเห็นได้ว่ากล่องหลังคาโลหะเคลือบสี ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อยและมีค่าการนำความร้อน(conductivity)สูง จะมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วงเวลาใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ส่วนกล่องหลังคากระเบื้องคอนกรีต และกล่องหลังคาแอลพีดีซีงเกิด จะมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่หลังช่วงอุณหภูมิสูงสุดของอุณหภูมิอากาศประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่ง (ดูแผนภูมิที่ 4-4) เนื่องจากหลังคากระเบื้องคอนกรีต เป็นวัสดุที่มีมวลสารมาก จึงมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนช่วงเวลานี้ ส่วนหลังคาแอลพีดีซีงเกิด ถึงแม้ว่าจะมีมวลสารน้อยกว่าหลังคากระเบื้องคอนกรีต แต่เนื่องจากตัวเนื้อวัสดุเป็นไม้ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อน(conductivity)ต่ำ จึงมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนช่วงเวลานี้เช่นกัน

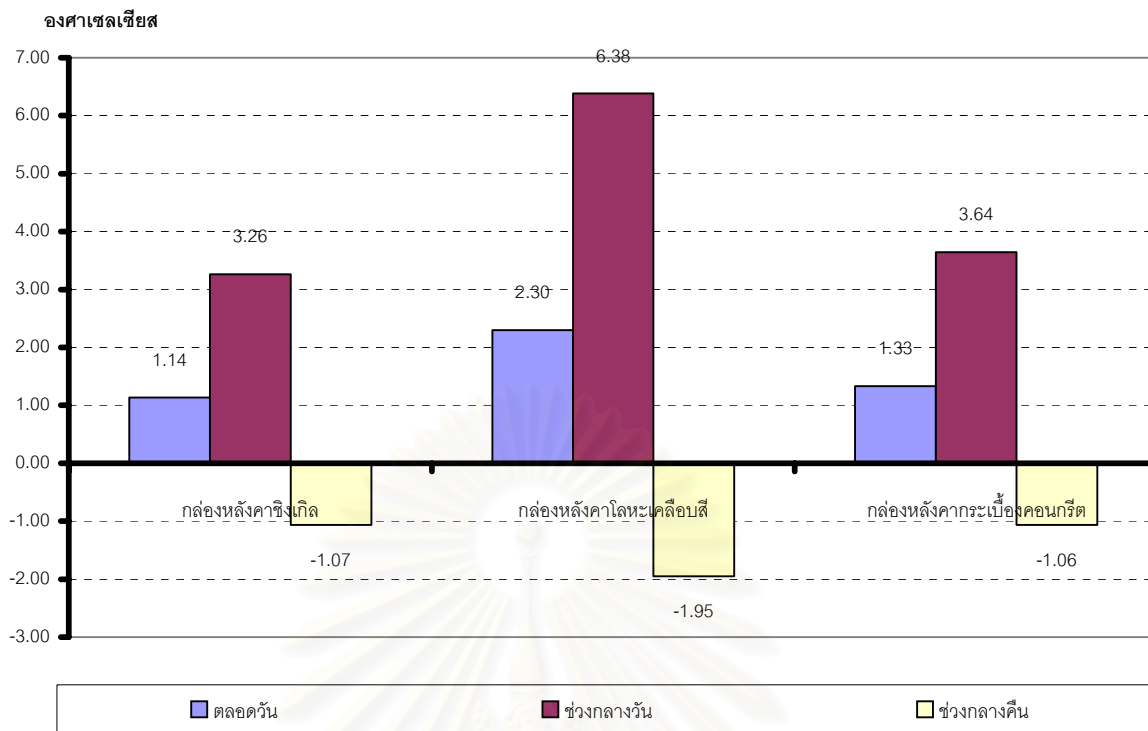
ในช่วงเวลากลางวัน กล่องหลังคากระเบื้องคอนกรีต จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 35.91 องศาเซลเซียส กล่องหลังคาแอลพีดีซีงเกิด จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 35.52 องศาเซลเซียส ส่วนกล่องหลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 38.67 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่ากล่องหลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า กล่องหลังคากระเบื้องคอนกรีต และกล่องหลังคาแอลพีดีซีงเกิด 2.76 องศาเซลเซียส และ 3.15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากหลังคาโลหะเคลือบสีเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อยและมีค่าการนำความร้อน(conductivity)สูง กว่าหลังคาแอลพีดีซีงเกิด และ หลังคากระเบื้องคอนกรีต

ในช่วงเวลากลางคืน

วัสดุผนังหลังคาจะเริ่มคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้า (Nightsky Radiation) ทำให้ อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคาเริ่มต่ำลงและจะแผ่รังสี(radiation) สู่ช่องอากาศภายในกล่องทดลอง ทำให้มีอุณหภูมิที่ต่ำลง โดยที่ในช่วงเวลากลางคืน กล่องหลังคากระเบื้องคอนกรีต จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 26.20 องศาเซลเซียส กล่องหลังคา แอลพีลิ่งซิงเกิล จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 26.19 องศาเซลเซียส ส่วนกล่องหลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 25.39 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 27.26 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่ากล่องหลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า กล่องหลังคากระเบื้องคอนกรีต และกล่องหลังคาแอลพีลิ่งซิงเกิล ประมาณ 0.80 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อยและมีค่าการนำความร้อน(conductivity) สูง สำหรับหลังคาแอลพีลิ่งซิงเกิล ถึงแม้ว่าจะมีมวลสารน้อยกว่าหลังคากระเบื้องคอนกรีต แต่เนื่องจากตัวเนื้อวัสดุเป็นไม้อัด มีค่าการนำความร้อน(conductivity) ต่ำ จึงทำให้ความเย็นจากผิวหลังคาไม่สามารถถ่ายเทสู่ผิวใต้หลังคา (ดูแผนภูมิที่ 4-2) ส่วนหลังคากระเบื้องคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารมาก มวลสารในเนื้อวัสดุจึงเป็นหน่วงความเย็นที่ผิวหลังคาไม่ให้ถ่ายเทสู่ผิวใต้หลังคาเช่นกัน (ดูแผนภูมิที่ 4-1)



แผนภูมิที่4-5 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศและกล่องทดลองวัสดุหลังคา ตั้งแต่เวลา 0.00น.ของวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2545 ถึงแต่เวลา 12.00น.ของวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2545



แผนภูมิที่ 4-6 เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองวัสดุหลังคา กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย

ตั้งแต่เวลา 0.00น.ของวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2545 ถึงแต่เวลา 12.00น.ของวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2545

จากผลการทดลอง วัสดุหุ้มหลังคาประเภทต่างที่มีมวลสารแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า วัสดุที่มีมวลสารน้อย อย่างหลังคาโลหะเคลือบสี นั้นในช่วงเวลากลางวัน จะมีอุณหภูมิในกล่องทดลองสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 6.41 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าหลังคากระเบื้องคอนกรีต และ หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล ในทางกลับกันในช่วงเวลากลางคืน หลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิในกล่องทดลองต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 1.87 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าหลังคากระเบื้องคอนกรีต และ หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล เช่นกัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อยและมีค่าการนำความร้อน (conductivity) สูง ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

ดังนั้นการใช้หลังคาโลหะเคลือบสี จึงเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุหุ้มหลังคาที่สามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้า ในเวลากลางคืน แต่ในทางกลับกันในช่วงเวลากลางวันหลังคาประเภทนี้จะให้อุณหภูมิได้ช่องหลังคาที่สูงกว่าหลังคาประเภทอื่น จึงควรใช้ควบคู่กับระบบฉนวนป้องกันความร้อนประสิทธิภาพสูงและการระบายอากาศใต้หลังคา

4.1.2 ผลกระทบของสีวัสดุผนังหลังคา ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสีวัสดุผนังหลังคา ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

- ตัวแปรต้น
- สีของวัสดุผนังหลังคา
 - ชนิดฉนวนป้องกันความร้อน
 - อุณหภูมิอากาศ
 - รั้งสีดวงอาทิตย์

ตัวแปรตาม : อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

: เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่เกิดขึ้นเมื่อใช้วัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารวัสดุที่แตกต่างกัน

โดยคัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่มีสีแตกต่างกัน และค่าการคายรังสีเฉลี่ยในช่วงคลื่นยาว (long-wave emissivity) และค่าดูดซับรังสีในช่วงคลื่นสั้น (solar absorbtion) ที่แตกต่างกัน วัสดุผนังหลังคาที่นำมาใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสีขาว) หนา 0.5 ม.ม.
- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี ผิวมันเงา) หนา 0.5 ม.ม.
- หลังคาโลหะ (เหล็กเคลือบสังกะสี เคลือบสีดำ) หนา 0.5 ม.ม.

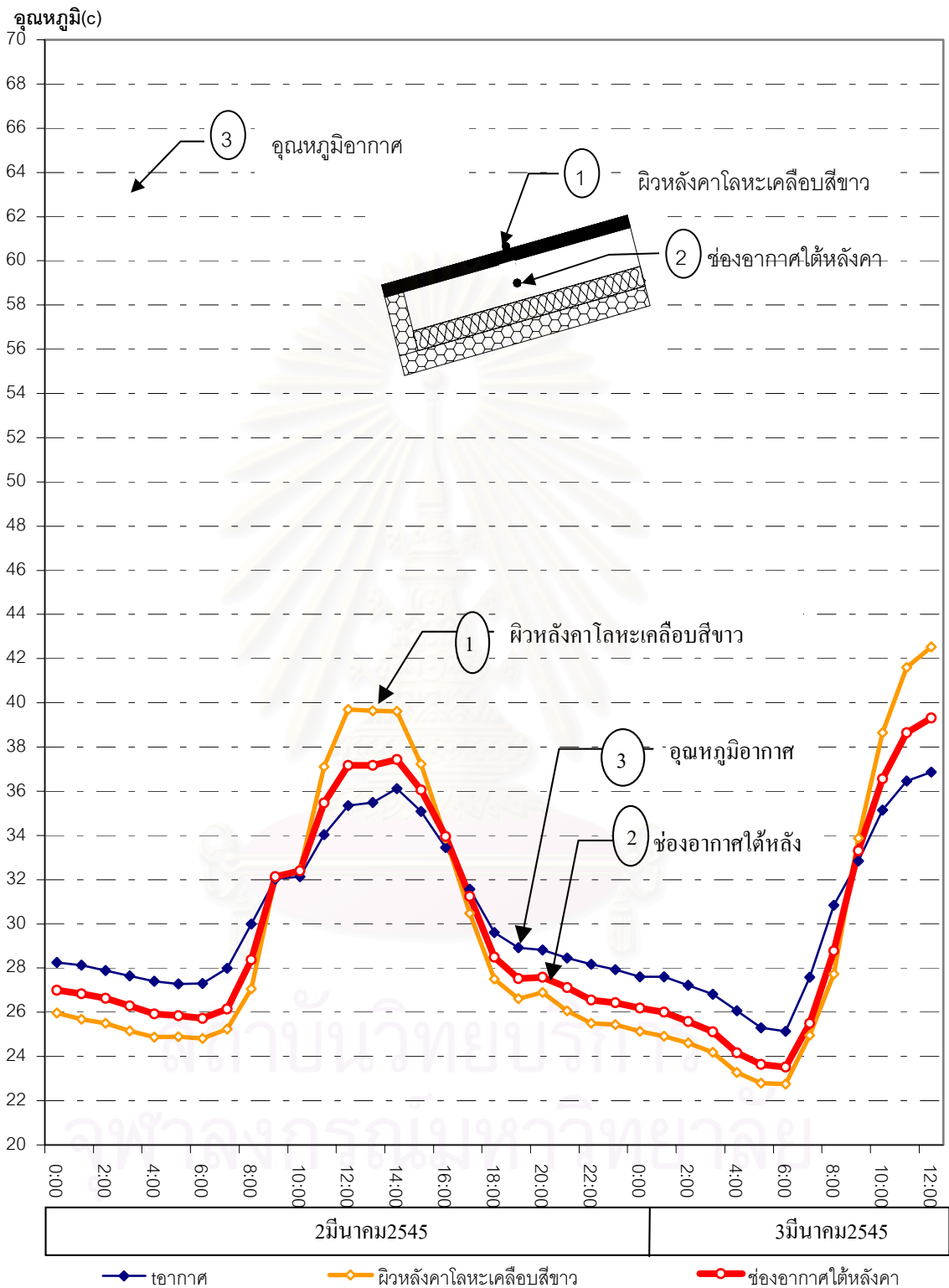
ผลการทดลอง

- แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะเคลือบสีขาว ดังแผนภูมิที่ 4-7
- แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะไม่เคลือบผิว ดังแผนภูมิที่ 4-8
- แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะเคลือบสีดำ ดังแผนภูมิที่ 4-9
- เปรียบเทียบอุณหภูมิในกล่องทดลอง จากวัสดุผนังประเภทต่างๆ ดังแผนภูมิที่ 4-10
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศและกล่องทดลองสีวัสดุผนังหลังคา ดังแผนภูมิที่ 4-11

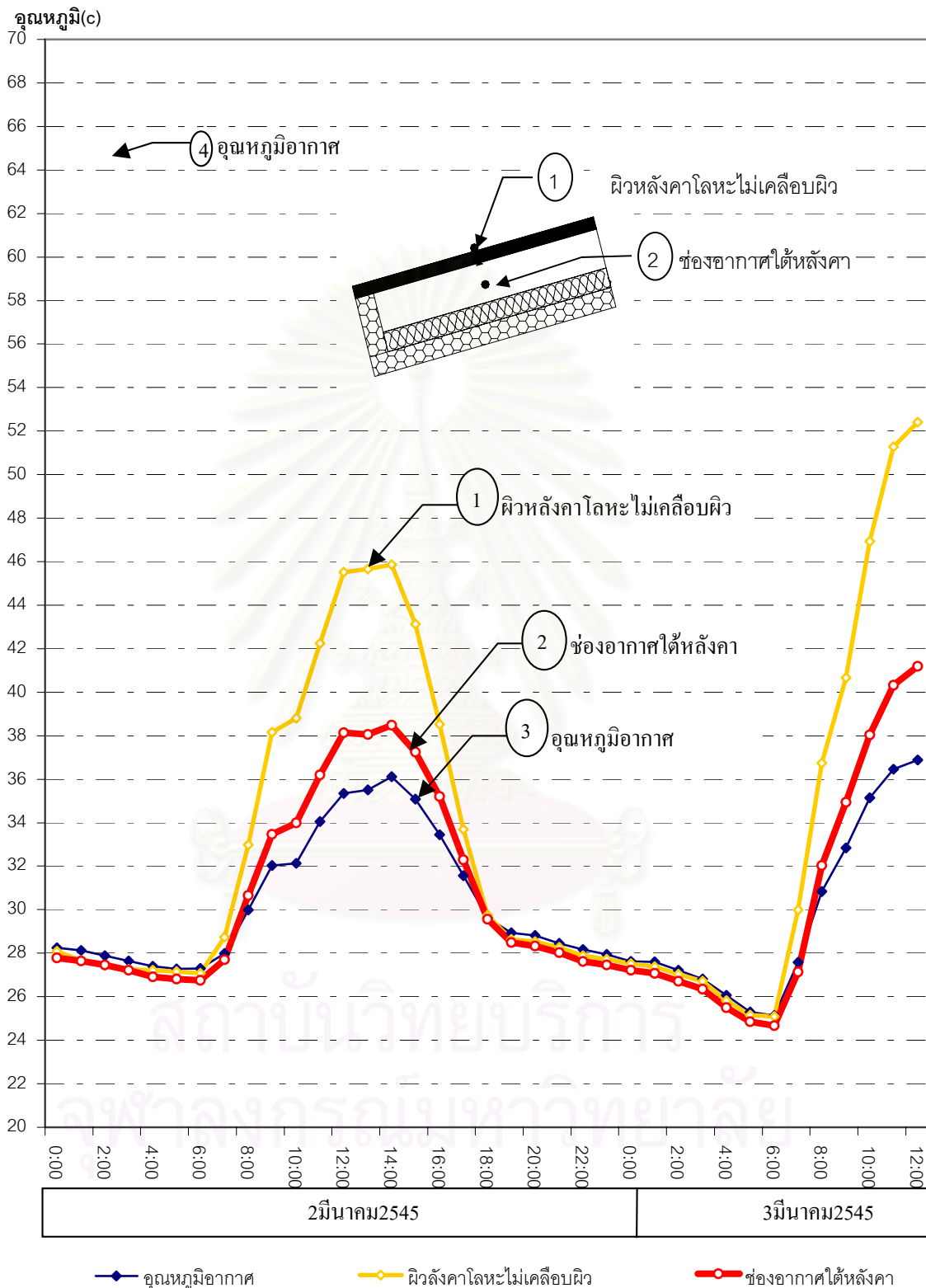
- เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองสีวัสดุหลังคา กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยตั้งแผนภูมิที่ 4-12
- เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองสีวัสดุหลังคาโลหะเคลือบสีดำ กับ หลังคาโลหะเคลือบสีเขียวตั้งแผนภูมิที่ 4-13
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ กล่องหลังคาโลหะเคลือบสีเขียว และ กล่องหลังคาโลหะเคลือบสีดำ ตั้งแผนภูมิที่ 4-14



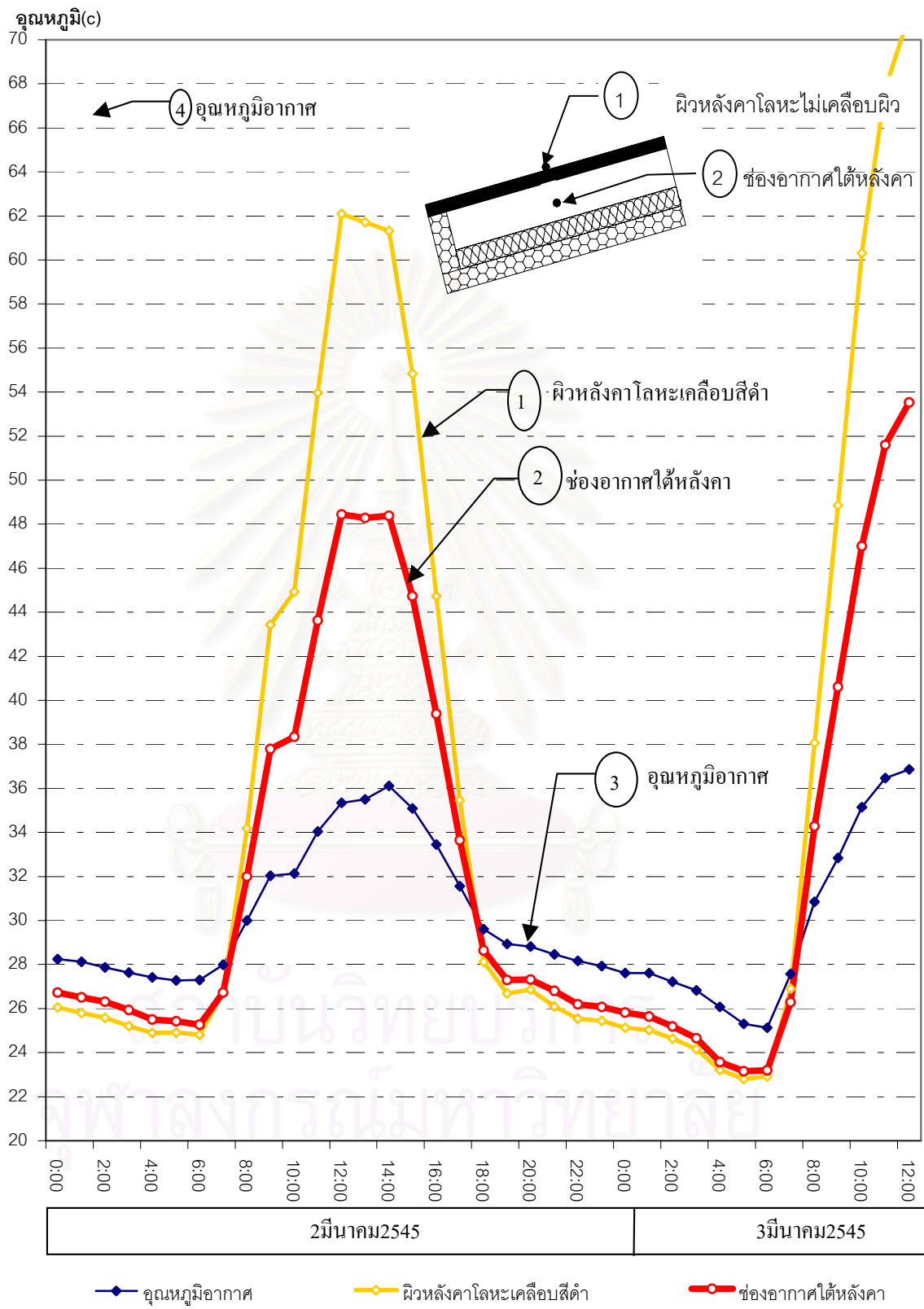
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



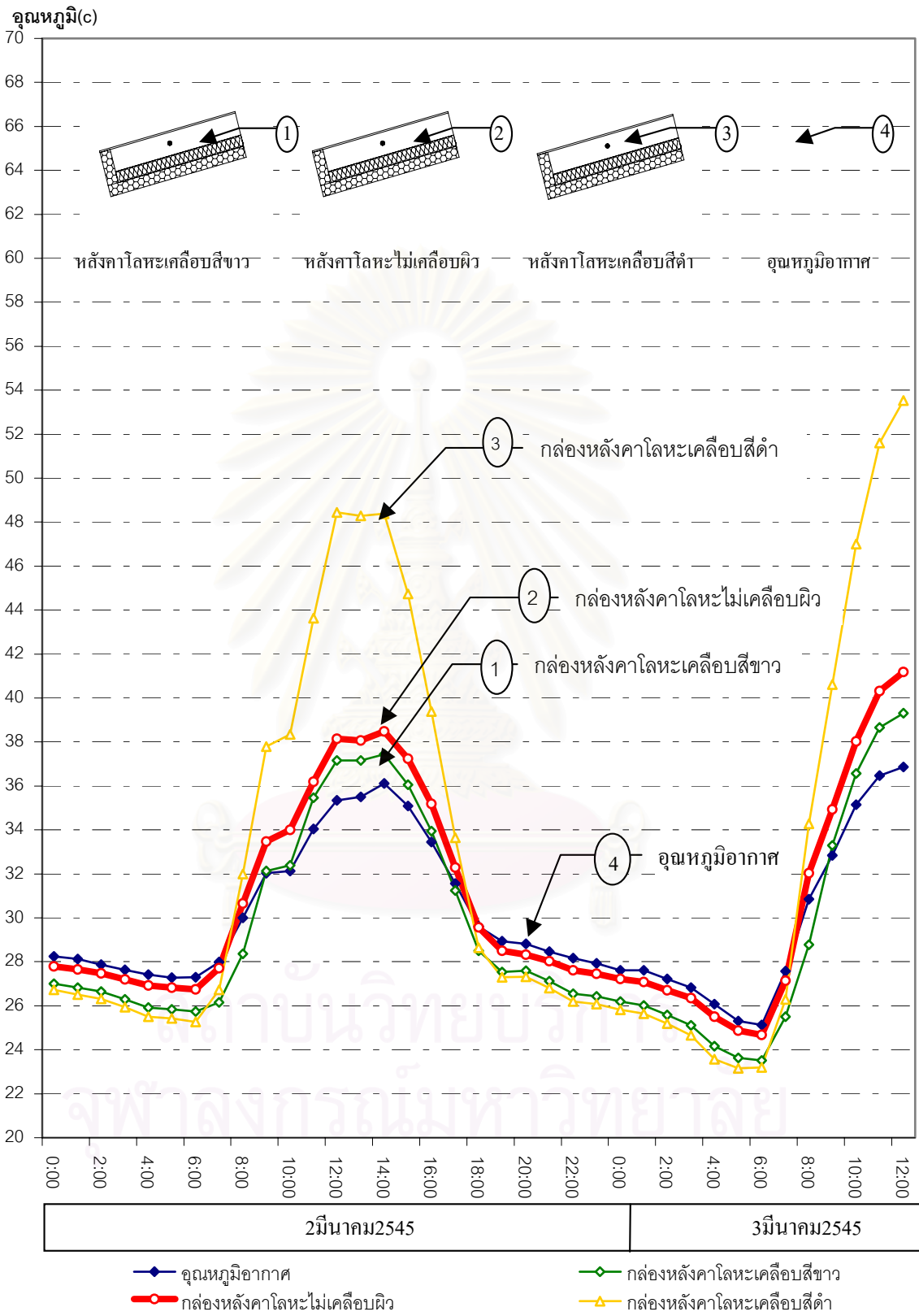
แผนภูมิที่ 4-7 แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะเคลือบสีขาว



แผนภูมิที่ 4-8 แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะไม่เคลือบผิว



แผนภูมิที่ 4-9 แสดงอุณหภูมิระบบหลังคาจากกล่องทดลองที่มุงด้วย หลังคาโลหะเคลือบสีดำ



แผนภูมิที่ 4-10 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองสี่วัสดุหลังคาแบบต่างๆ

จากผลการทดลอง ผลกระทบของสีของวัสดุผนังหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา เมื่อวันที่ 2 -3 มีนาคม 2545 พบว่าสีของวัสดุผนังที่แตกต่างกัน จะให้ผลของอุณหภูมิในกล่องทดลองแตกต่างกัน ดังนี้

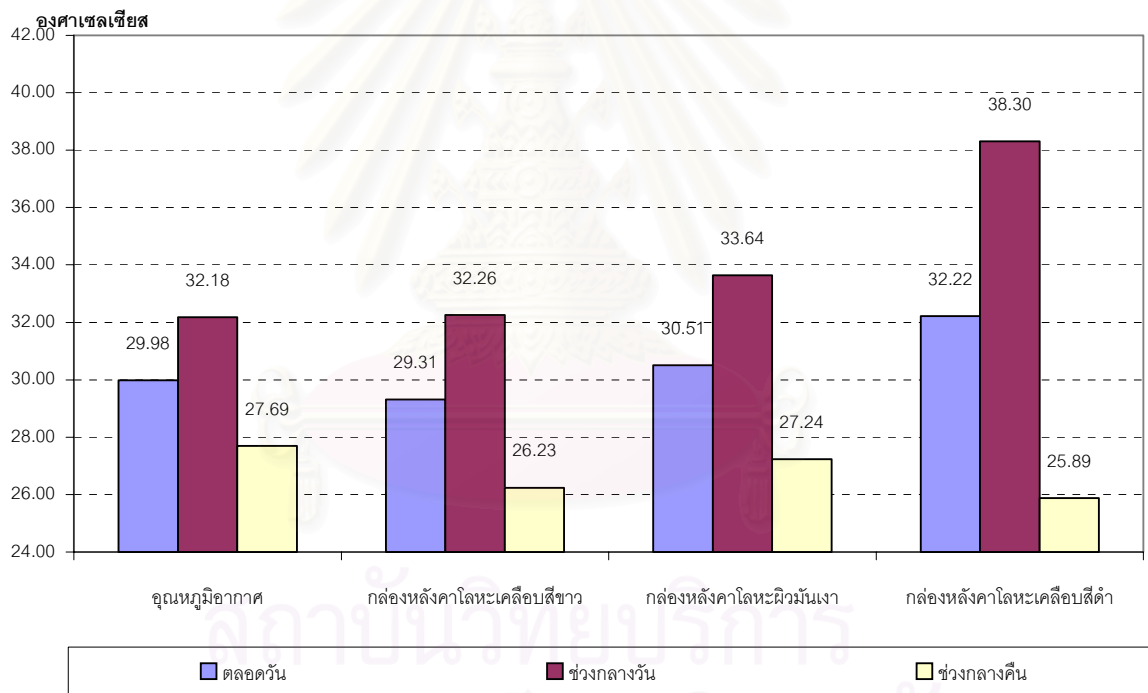
ในช่วงเวลากลางวัน

วัสดุผนังหลังคาจะเริ่มได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากพระอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคาเริ่มสูงขึ้นและนำความร้อน(conduction)สู่เนื้อวัสดุผนัง และแผ่รังสีความร้อน(radiation) สู่ช่องอากาศภายในช่องใต้หลังคา ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่ กล่องหลังคาโลหะเคลือบสีขาว จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 32.26 องศาเซลเซียส กล่องหลังคาโลหะไม่เคลือบผิว จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 33.64 องศาเซลเซียส ส่วนกล่องหลังคาโลหะเคลือบสีดำ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 38.30 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 32.18 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่ากล่องหลังคาโลหะเคลือบสีดำ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่ากล่องหลังคาโลหะไม่เคลือบผิว และกล่องหลังคาโลหะเคลือบสีขาว 4.66 องศาเซลเซียส และ 6.04 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากหลังคาโลหะเคลือบสีดำ มีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้น(short-wave solar absorption)สูงประมาณ 0.93 ทำให้หลังคาโลหะเคลือบสีดำสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น(infraed ray) ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่มาจากแสงอาทิตย์ได้มากกว่า หลังคาโลหะไม่เคลือบผิว ซึ่งมีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นประมาณ 0.65 และหลังคาโลหะเคลือบสีขาวซึ่งมีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นประมาณ 0.25 รวมทั้งหลังคาโลหะไม่เคลือบผิว และ หลังคาโลหะเคลือบสีขาวยังสามารถสะท้อนความร้อน (reflection) ได้มากกว่า หลังคาโลหะเคลือบสีดำอีกด้วย

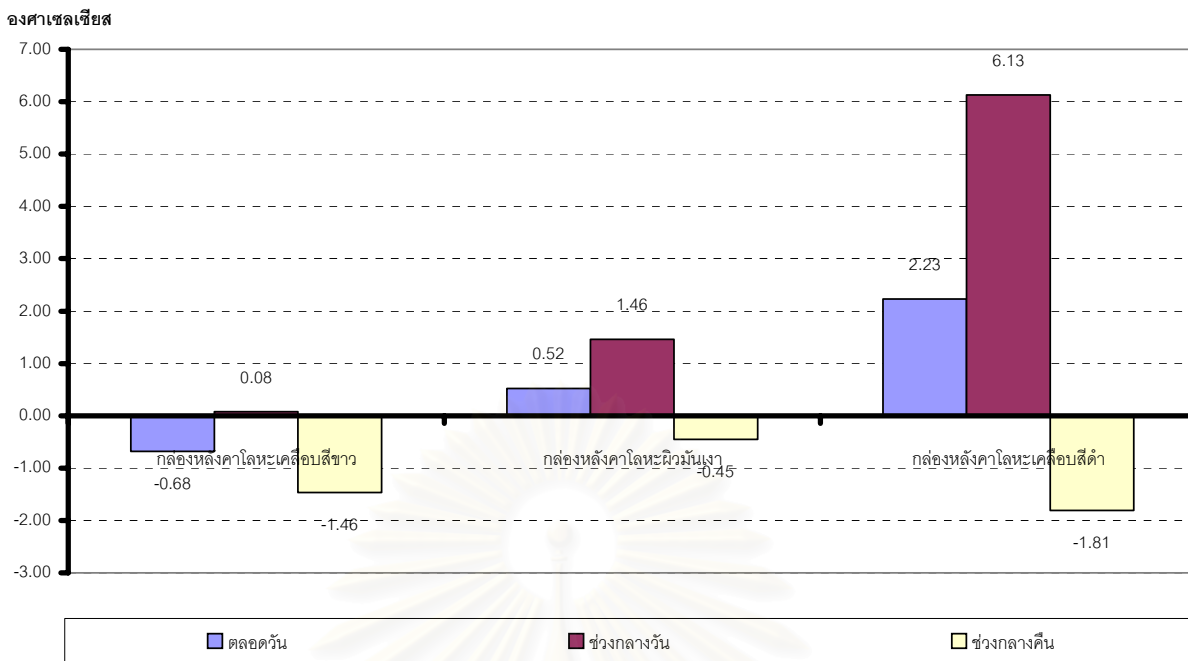
ในช่วงเวลากลางคืน

วัสดุผนังหลังคาจะเริ่มคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้า (Nightsky Radiation) ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคาเริ่มต่ำลงและจะแผ่รังสี(radiation) สู่ช่องอากาศภายในกล่องทดลอง ทำให้มีอุณหภูมิต่ำลง โดยที่ในช่วงเวลากลางคืน กล่องหลังคาโลหะเคลือบสีดำ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 25.89 องศาเซลเซียส กล่องหลังคาหลังคาโลหะไม่เคลือบผิว จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 27.24 องศาเซลเซียส ส่วนกล่องหลังคาโลหะเคลือบสีขาว จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 26.23 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 27.69 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่ากล่องหลังคาโลหะ

เคลือบสีดำ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า กล่องหลังคาหลังคาโลหะไม่เคลือบผิว และกล่องหลังคาโลหะเคลือบสีขาว 1.35 องศาเซลเซียส และ 0.34 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากหลังคาโลหะเคลือบสีดำ และหลังคาโลหะเคลือบสีขาว มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาว (long-wave emissivity)สูง ประมาณ 0.93 และ0.90 ตามลำดับ ทำให้หลังคาโลหะเคลือบสีดำและหลังคาโลหะเคลือบสีขาว สามารถคายรังสีสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน(night sky radiation) ได้มาก ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องจึงต่ำกว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องหลังคาโลหะไม่เคลือบผิว ซึ่งมีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวประมาณ 0.13 ซึ่งมีความสามารถในการคายความร้อนสู่ท้องฟ้าน้อยกว่า



แผนภูมิที่4-11 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศและกล่องทดลองวัสดุหลังคา ตั้งแต่เวลา 0.00น.ของวันที่ 2 มีนาคม 2545 ถึงแต่เวลา 12.00น.ของวันที่ 3 มีนาคม 2545

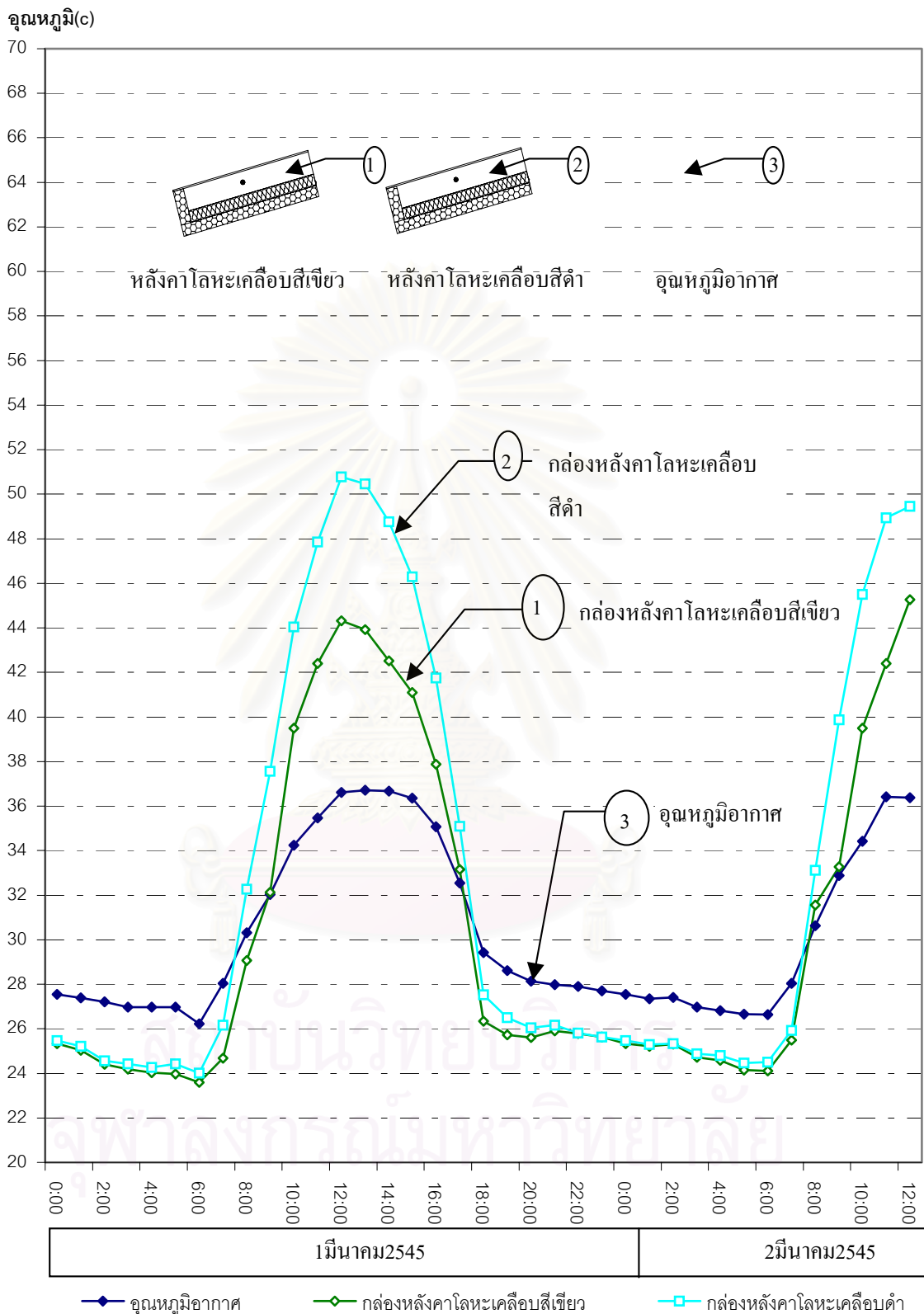


แผนภูมิที่ 4-12 เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองสีวัสดุหลังคา กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย

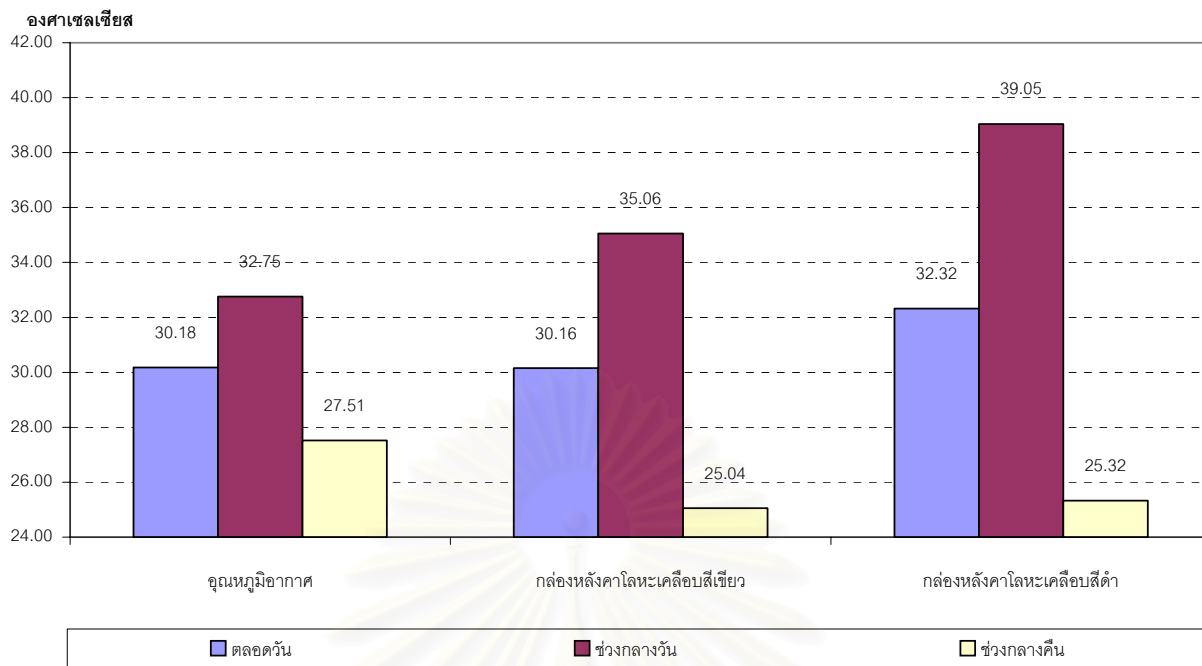
ตั้งแต่วันที่ 2 มีนาคม 2545 ถึงวันที่ 3 มีนาคม 2545

จากผลการทดลอง สีวัสดุหลังคาประเภทต่างที่มีค่าการดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้น (short-wave solar absorption) และค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวสูง (long-wave emissivity) ต่างๆ จะเห็นได้ว่า วัสดุหลังคาที่มีค่าการดูดซับความร้อนในช่วงคลื่นสั้นสูง อย่างหลังคาโลหะเคลือบสีดำ นั้นในช่วงเวลากลางวัน จะมีอุณหภูมิในกล่องทดลองสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 6.13 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าหลังคาโลหะผิวมันเงา และ หลังคาโลหะเคลือบสีขาว ในช่วงเวลากลางคืน วัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวสูงอย่างหลังคาโลหะเคลือบสีดำ และ หลังคาโลหะเคลือบสีขาว จะมีอุณหภูมิในกล่องทดลองต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 1.81 องศาเซลเซียส และ 1.46 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าหลังคาโลหะไม่เคลือบผิวที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวต่ำ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

ดังนั้นการใช้หลังคาโลหะเคลือบสี ที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวสูง จึงเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุหลังคาที่สามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในเวลา กลางคืน ส่วนในช่วงเวลากลางวันหลังคาโลหะเคลือบสีที่มีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นต่ำ จะให้อุณหภูมิใต้ช่องหลังคาที่ต่ำกว่าหลังคาที่มีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นสูงกว่า



แผนภูมิที่ 4-13 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองสีวัสดุหลังคาโลหะเคลือบสีดำ กับ หลังคาโลหะเคลือบสีเขียว



แผนภูมิที่4-14 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ กล้องหลังคาโลหะเคลือบสีเขียว และ กล้องหลังคาโลหะเคลือบสีดำ

ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2545 ถึงวันที่ 2 มีนาคม 2545

จากแผนภูมิ4-13 และแผนภูมิ4-14 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องสี่เหลี่ยมหลังคา ระหว่างหลังคาโลหะเคลือบสีดำหนา 0.5 ม.ม. จากการทดลอง4.1.2 เปรียบเทียบกับวัสดุหลังคาโลหะเคลือบสีเขียวหนา0.2ม.ม วัสดุที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ในช่วงเวลากลางวัน กล้องหลังคาโลหะเคลือบสีดำจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องทดลองสูงกว่ากล้องหลังคาโลหะเคลือบสีเขียวประมาณ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากหลังคาโลหะเคลือบสีดำมีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้น($\alpha=0.93$)ซึ่งสูงกว่าหลังคาโลหะเคลือบสีเขียว($\alpha=0.88$) ในช่วงเวลากลางคืน วัสดุหลังคาทั้งสองชนิดที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาว(long-wave emissivity) ใกล้เคียงกัน ประมาณ 0.93 ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องทดลองทั้งสองกล่องใกล้เคียงกัน

จากผลการทดสอบข้างต้น การใช้หลังคาโลหะเคลือบสีเขียว ที่มีขายตามท้องตลาด สามารถใช้เป็นวัสดุหลังคาที่สามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในเวลา กลางคืนได้เช่นเดียวกับหลังคาโลหะเคลือบสีดำ ส่วนในช่วงเวลากลางวันหลังคาโลหะเคลือบสีเขียวยังคงเป็นวัสดุที่มีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นสูง ถึงแม้จะน้อยกว่าหลังคาโลหะเคลือบสีดำ แต่ยังคงใช้งานร่วมกับระบบฉนวนความร้อน และการระบายอากาศได้ช่องหลังคา

4.1.3 ผลกระทบของมวลสารของฉนวนป้องกันความร้อน ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

วัตถุประสงค์ : เพื่อทดสอบอิทธิพลของมวลสารของฉนวนป้องกันความร้อนของระบบหลังคา ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

- ตัวแปรต้น
- มวลสารของฉนวนป้องกันความร้อน (ตัวแปรที่ทำการทดสอบ)
 - วัสดุผนังหลังคา: หลังคาแอลพีเอสซีซี (ตัวแปรคงที่)
 - อุณหภูมิอากาศ
 - รังสีดวงอาทิตย์
- ตัวแปรตาม
- อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

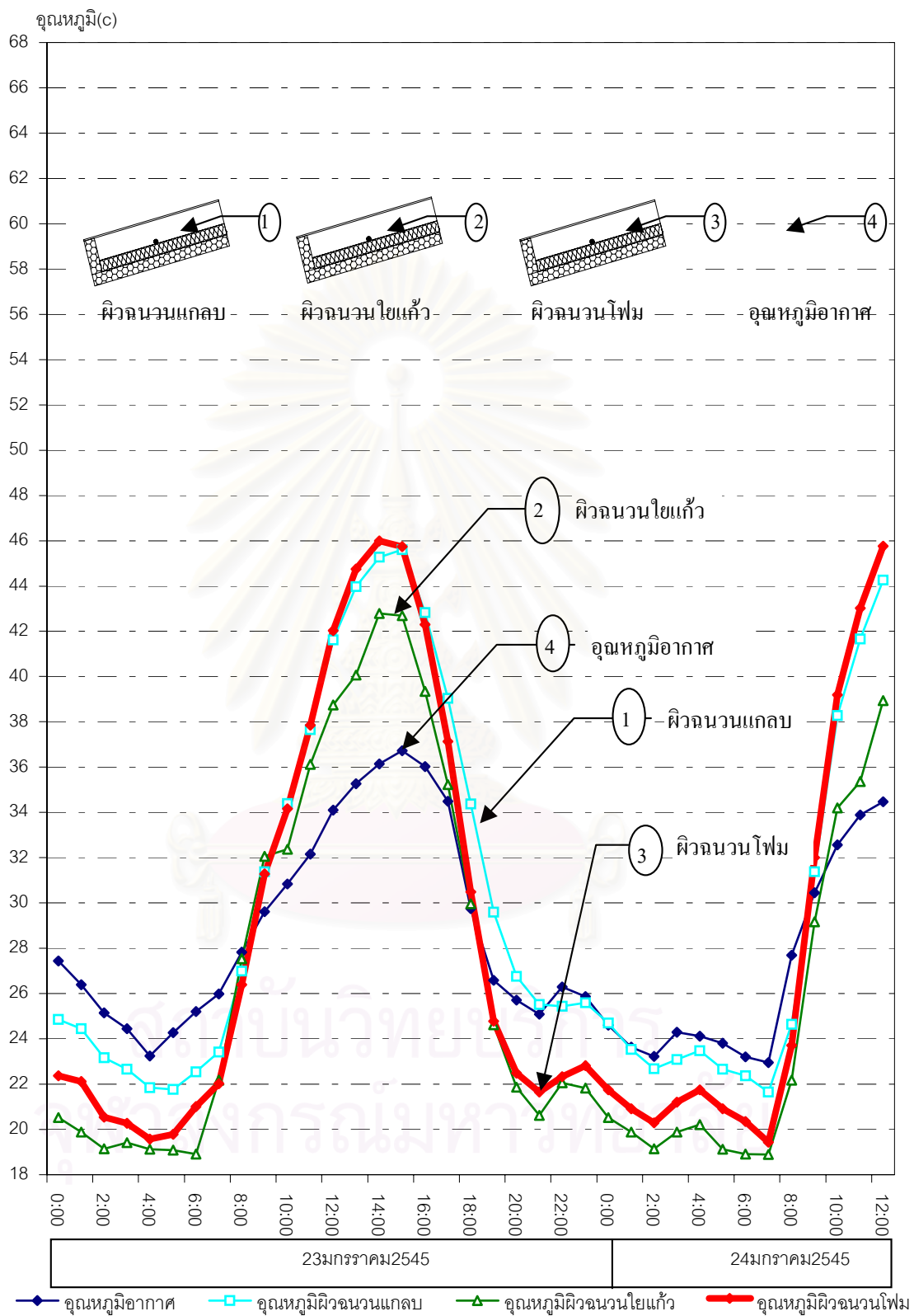
: เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่เกิดขึ้นเมื่อใช้วัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสาร วัสดุที่แตกต่างกัน

โดยคัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารของฉนวนกันความร้อนแตกต่างกัน และค่าต้านทานความร้อน(R-value) ที่ใกล้เคียงกัน และควบคุมวัสดุผนังให้เหมือนกันทุกกล่องทดลอง ฉนวนกันความร้อนที่นำมาใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

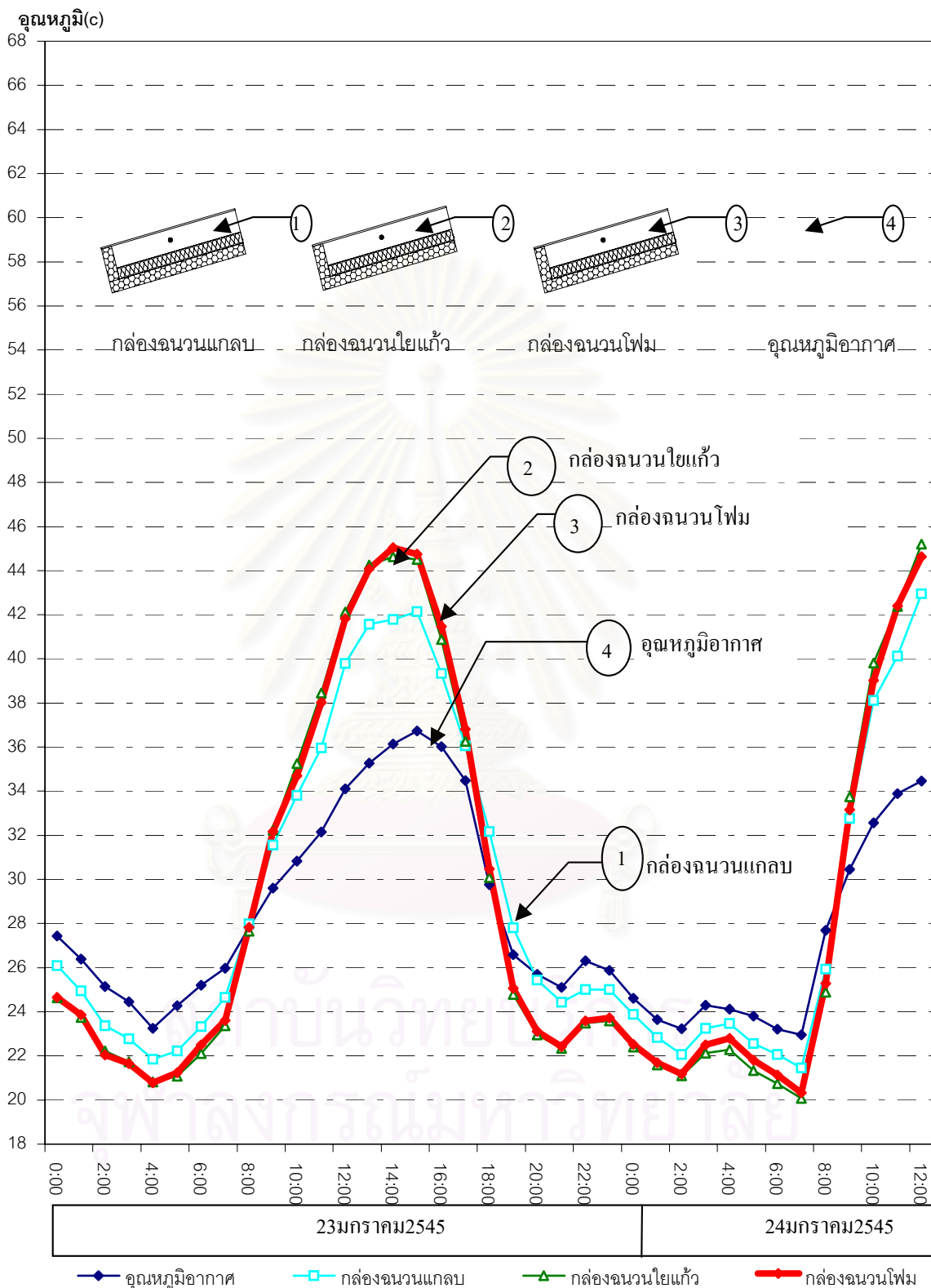
- ฉนวนเคลือบแบบผ้าห่ม(ห่อด้วยผ้าดิบ) หนา 6 นิ้ว
- ฉนวนใยแก้วแบบผ้าห่ม หนา 3 นิ้ว
- ฉนวนโฟมEPS ที่ความหนาแน่น 1 ปอนด์ ต่อ ล.บ.ฟุต ขนาดประมาณ 11/2 ซ.ม.x 11/2 ซ.ม. x 2ซ.ม. หนา 3 นิ้ว

ผลการทดลอง

- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฉนวน ภายในกล่องทดลองมวลสารฉนวนกันความร้อน ดังแผนภูมิที่ 4-15
- เปรียบเทียบอุณหภูมิ ภายในกล่องทดลองมวลสารฉนวนกันความร้อนแบบต่างๆ ดังแผนภูมิที่ 4-16
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ และ กล่องทดลองมวลสารฉนวนความร้อน ดังแผนภูมิที่ 4-17
- เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองมวลสารฉนวนความร้อน กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยดังแผนภูมิที่ 4-18



แผนภูมิที่ 4-15เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฉนวน ภายในกล่องทดลองมวลสารจนวนกันความร้อน



แผนภูมิที่ 4-16 เปรียบเทียบอุณหภูมิ ภายในกล่องทดลองมวลสารจนวนกันความร้อน แบบต่างๆ

จากผลการทดลอง มวลสารของฉนวนป้องกันความร้อน ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา เมื่อวันที่ 23 –24 มกราคม 2545 พบว่ามวลสารของฉนวนป้องกันความร้อนที่แตกต่างกัน จะให้ผลของอุณหภูมิในกล่องทดลองแตกต่างกัน ดังนี้

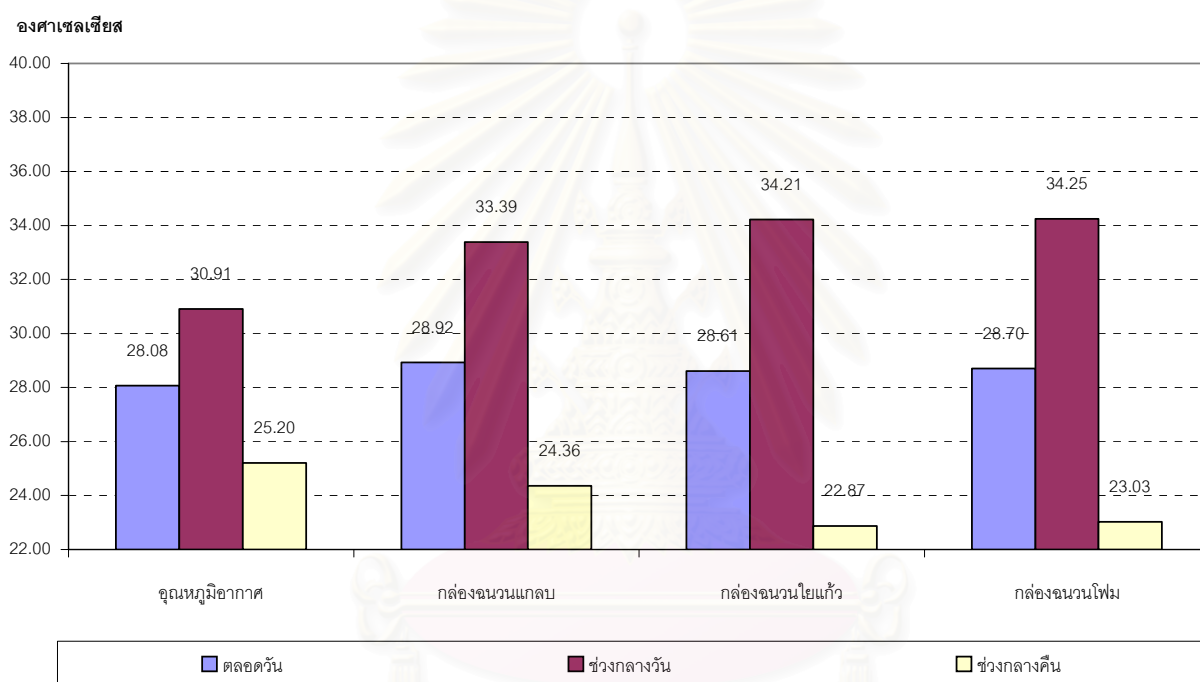
ในช่วงเวลากลางวัน

วัสดุฉนวนหลังคาจะเริ่มได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากพระอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุฉนวนหลังคาเริ่มสูงขึ้นและนำความร้อน(conduction)สู่เนื้อวัสดุฉนวน และแผ่รังสีความร้อน(radiation) สู่ช่องอากาศภายในใต้หลังคา ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่กล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนแกลบ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 33.39 องศาเซลเซียส กล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้ว จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 34.21 องศาเซลเซียส ส่วนกล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนโฟม จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 34.25 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 30.91 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่ากล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนแกลบ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำ กว่ากล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้ว และกล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนโฟม ประมาณ 0.85 องศาเซลเซียส เนื่องจากฉนวนแกลบ เป็นวัสดุฉนวนที่มีมวลสารมากประมาณ 13.82 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบที่ความเป็นฉนวนที่ใกล้เคียงกัน จึงมีความสามารถในการดูดซับความร้อน ได้ส่วนหนึ่ง ส่วนกล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้ว และ กล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนโฟม เป็นวัสดุฉนวนที่มีมวลสารน้อย ประมาณ 0.6 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบที่ความเป็นฉนวนที่ใกล้เคียงกัน จึงมีมวลสารน้อยมากในการดูดซับความร้อนภายในกล่องทดลอง

ในช่วงเวลากลางคืน

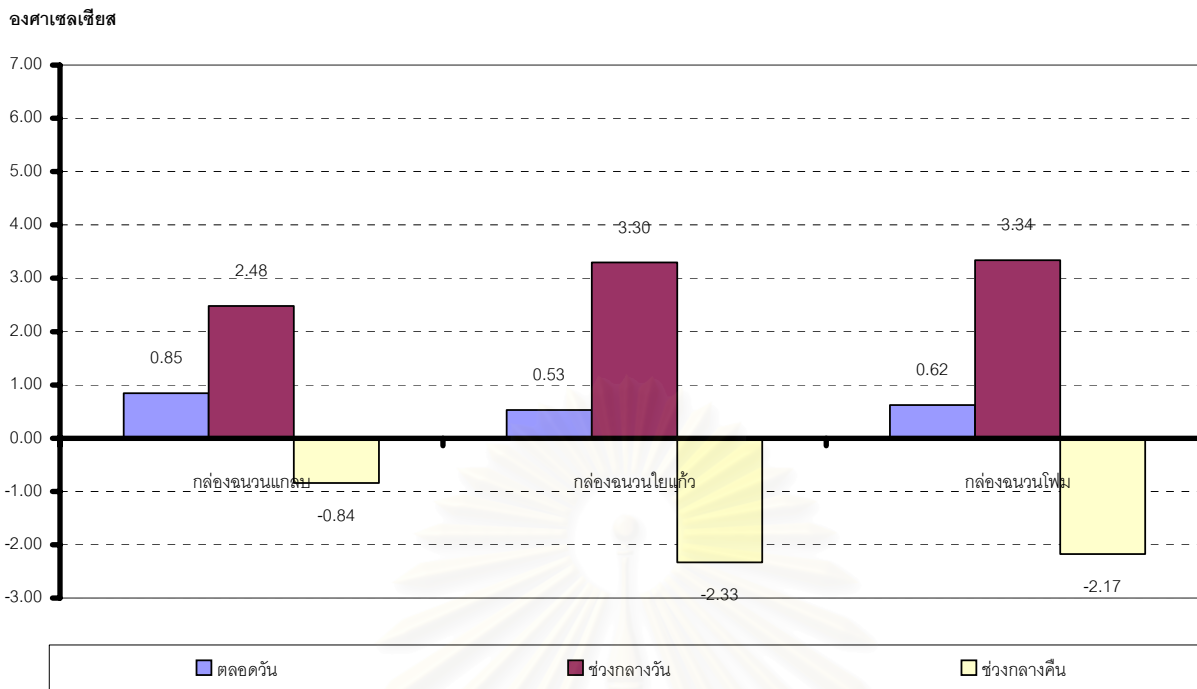
วัสดุฉนวนหลังคาจะเริ่มคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้า (Nightsky Radiation) ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุฉนวนหลังคาเริ่มต่ำลงและจะแผ่รังสี(radiation) สู่ช่องอากาศภายในกล่องทดลอง ทำให้มีอุณหภูมิต่ำลง โดยที่ในช่วงเวลากลางคืน กล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนแกลบจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 24.36 องศาเซลเซียส กล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้วจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 22.87 องศาเซลเซียส ส่วนกล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนโฟม จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 23.03 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 25.20 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่ากล่องหลังคาฉนวนแกลบ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่ากล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้ว และ กล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนโฟม 1.49 องศาเซลเซียส และ 0.33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากกล่องหลังคาฉนวนแกลบ มีมวลสารมากทำให้มีความสามารถในการสะสมความ

ร้อนที่เกิดขึ้นในช่องอากาศใต้หลังคาในช่วงเวลากลางวันสูง จำต้องใช้เวลาในการคายความร้อนในส่วนนี้มาก ในช่วงเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิผิวฉนวนเคลือบ และอุณหภูมิในช่องอากาศใต้หลังคาสูง กว่า ก่อหลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้ว และก่อก่อที่ใช้ฉนวนโฟม (ดูแผนภูมิ 4-15 ,4-16) ในทางกลับกันก่อก่อหลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้ว และก่อก่อที่ใช้ฉนวนโฟม ซึ่งเป็นฉนวนที่มีมวลสารน้อยมาก จึงมีอิทธิพลของความร้อนที่สะสมในมวลสารน้อยมาก จึงทำให้อุณหภูมิผิวฉนวนและอุณหภูมิในก่อก่อต่ำกว่า ก่อก่อหลังคาที่ใช้ฉนวนเคลือบ



แผนภูมิที่ 4-17 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ และ ก่อทดลองมวลสารฉนวนกันความร้อน

ตั้งแต่เวลา 0.00น.ของวันที่ 23 มกราคม 2545 ถึงแต่เวลา 12.00น.ของวันที่ 24 มกราคม 2545



แผนภูมิที่ 4-18 เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองมวลสารอุณหภูมิความร้อน กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย

ตั้งแต่วันที่ 0.00น.ของวันที่ 23 มกราคม 2545 ถึงวันที่ 12.00น.ของวันที่ 24 มกราคม 2545

จากผลการทดลอง อิทธิพลของอุณหภูมิความร้อนหลังคาประเภทต่างๆที่มีมวลสารต่างกันต่อ อุณหภูมิในช่องใต้หลังคา จะเห็นได้ว่า ระบบหลังคาที่มีฉนวนมวลสารมาก อย่างกล่องหลังคาฉนวน แกלב นั้นในช่วงเวลากลางวัน จะมีอุณหภูมิในกล่องทดลองสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 2.48 องศา เซลเซียส ซึ่งต่ำกว่ากล่องหลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้ว และกล่องที่ใช้ฉนวนโพลีเม ในช่วงเวลากลางคืน หลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้ว และกล่องที่ใช้ฉนวนโพลีเม ที่มีมวลสารน้อย จะมีอุณหภูมิในกล่องทดลองต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 2.33 องศาเซลเซียส และ 2.17 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ากล่องหลังคาฉนวนแกלב เนื่องจากใช้ฉนวนที่มีมวลสารในการสะสมความร้อนน้อยมาก ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

ดังนั้นการใช้ระบบฉนวนความร้อนหลังคา ที่มีมวลสารน้อยที่สุด จึงเป็นแนวทางในการเลือก ระบบฉนวนความร้อนหลังคาที่สามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าจากผิวหลังคา ในเวลากลางคืน ส่วนในช่วงเวลากลางวันควรใช้ฉนวนระบบฉนวนความร้อนหลังคา ที่มีค่าต้านทาน ความร้อน(R-Value)เพียงพอ ที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากผิวหลังคาหลังคา สู่พื้นที่ใช้ สอยในช่วงเวลากลางวัน

4.1.4 ผลกระทบของการไหลเวียนอากาศ ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

วัตถุประสงค์ : เพื่อทดสอบอิทธิพลของการไหลเวียนอากาศ ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา

- ตัวแปรต้น
- การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคา (ตัวแปรที่ทำการทดสอบ)
 - วัสดุผนังหลังคา:หลังคาโลหะเคลือบสีเขียว (ตัวแปรคงที่)
 - ผนวกันความร้อน (ตัวแปรคงที่)
 - อุณหภูมิอากาศ
 - รังสีดวงอาทิตย์

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

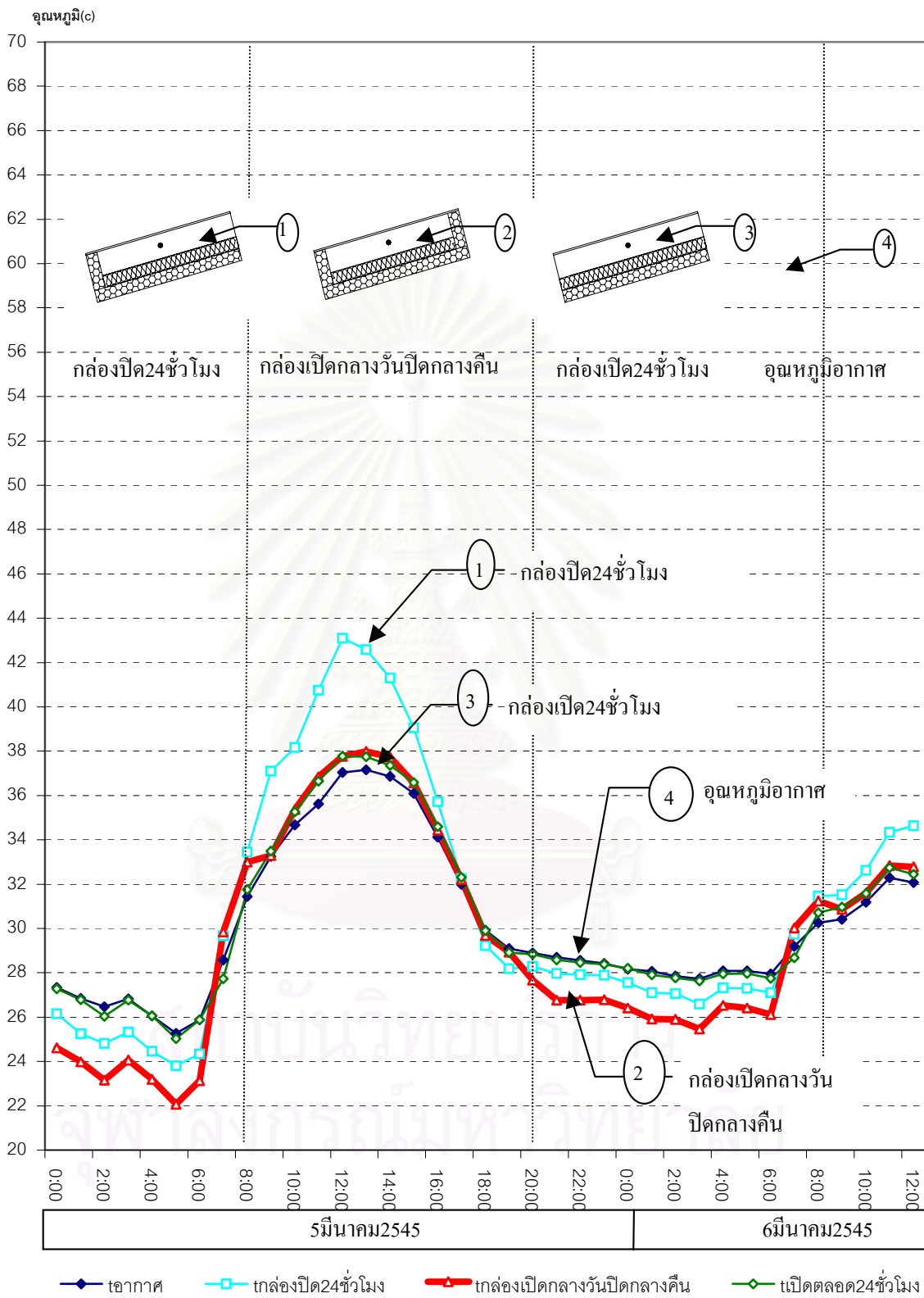
: เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่เกิดขึ้นเมื่อมีการไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาที่แตกต่างกัน

ในการทดลองนี้ได้ควบคุมตัวแปรวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารของผนวกันความร้อน และช่องอากาศใต้หลังคา เป็นตัวแปรคงที่ แล้วมีการปรับเปลี่ยนการไหลเวียนอากาศให้มีความแตกต่างกันในแต่ละกล่องทดลอง ในแต่ละกล่องทดลองจะมีการไหลเวียนอากาศที่แตกต่างกันดังนี้

- กล่องที่เปิดการไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง
- กล่องที่เปิดการไหลเวียนอากาศในช่วงกลางวัน(7.00น. - 20.00น.) และปิดการไหลเวียนอากาศในช่วงกลางคืน(20.00น.-7.00น.)
- กล่องที่เปิดการไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง

ผลการทดลอง

- เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละกล่องทดลอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการระบายอากาศ ดังแผนภูมิที่ 4-19
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ และ กล่องทดลองหลังคาที่มีการใช้รูปแบบการไหลเวียนอากาศแตกต่างกัน ดังแผนภูมิที่ 4-20
- เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองหลังคาที่มีการไหลเวียนอากาศรูปแบบต่างๆ กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย ดังแผนภูมิที่ 4-21



แผนภูมิที่ 4-19 เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละก่อกองทดลอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการระบายอากาศ

จากผลการทดลอง อิทธิพลของการไหลเวียนอากาศ ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา เมื่อวันที่ 5 - 6 มีนาคม 2545 พบว่าการไหลเวียนอากาศภายในช่องใต้หลังคา ที่แตกต่างกัน จะให้ผลของอุณหภูมิในกล่องทดลองแตกต่างกัน ดังนี้

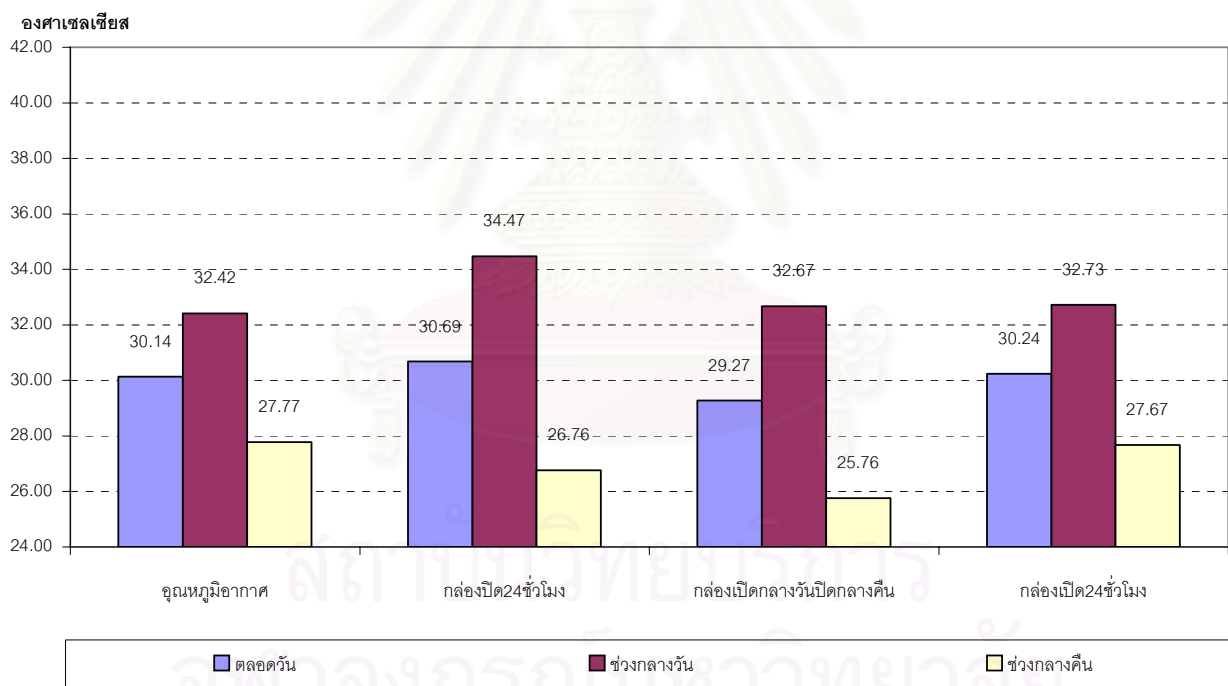
ในช่วงเวลากลางวัน

วัสดุผนังหลังคาจะเริ่มได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากพระอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคาเริ่มสูงขึ้นและนำความร้อน(conduction)สู่เนื้อวัสดุผนัง และแผ่รังสีความร้อน(radiation) สู่ช่องอากาศภายในช่องใต้หลังคา ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยในช่วงเวลากลางวัน กล่องหลังคาที่ปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง(ปิดเฉพาะช่องทางเข้าลม) จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 34.47 องศาเซลเซียส กล่องหลังคาที่ใช้การไหลเวียนอากาศ ทั้งกล่องที่เปิดตอนกลางวันและปิดตอนกลางคืน และกล่องที่เปิดให้มีการไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันใกล้เคียงกันที่ 32.67 องศาเซลเซียส และ 32.73 องศาเซลเซียส ตามลำดับ(ดูแผนภูมิที่ 4-20) จะเห็นได้ว่ากล่องที่ใช้การไหลเวียนอากาศในช่วงเวลากลางวัน จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องที่ปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศ ประมาณ 1.80 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อใช้การไหลเวียนอากาศในช่วงเวลากลางวันซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความเร็วลมสูง ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากผิวหลังคาได้ถูกระบายออกด้วยวิธีการพาความร้อน(convection) ทำให้อิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อน(radiation) จากผิวหลังคาลดน้อยลงไปมาก ในทางกลับกัน กล่องทดลองที่ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศในช่วงเวลากลางวัน จะได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากผิวหลังคาอย่างเต็มที่ โดยไม่มีการพาความร้อนที่เกิดขึ้นในช่องใต้หลังคาออกไป ทำให้อุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาสูงกว่า ดังผลการทดลองข้างต้น

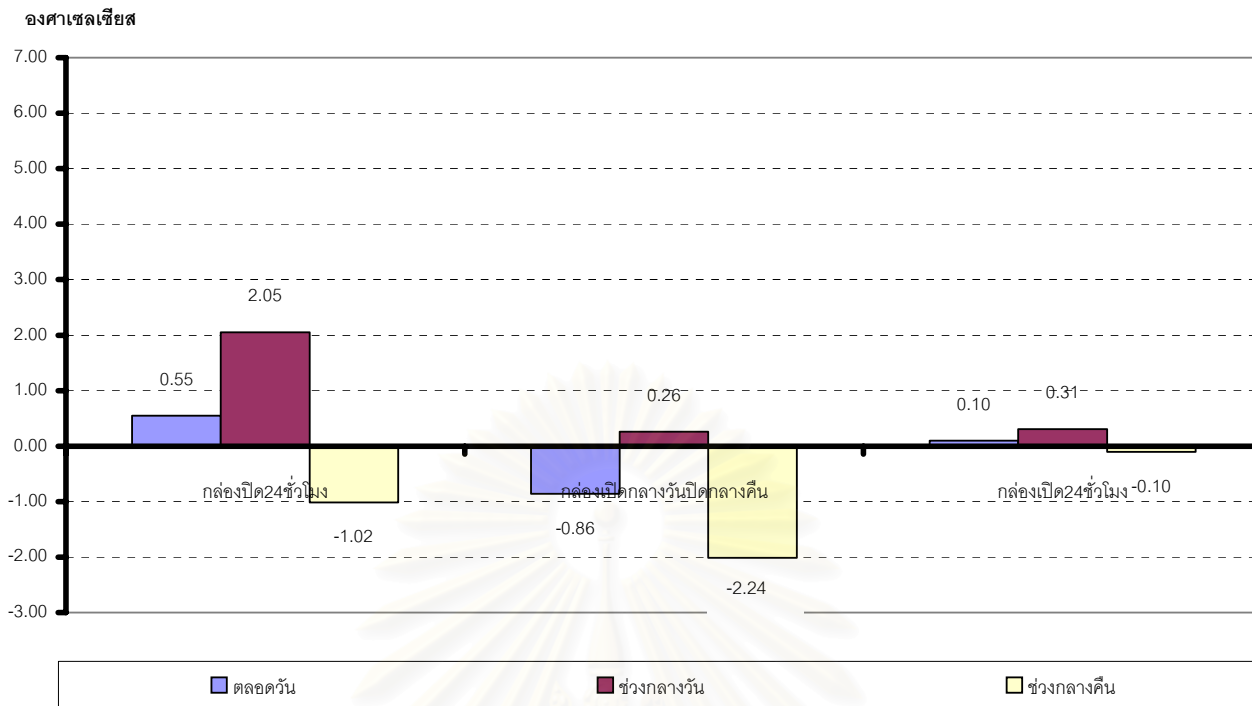
ในช่วงเวลากลางคืน

วัสดุผนังหลังคาจะเริ่มคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้า (Night sky Radiation) ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคาเริ่มต่ำลงและจะแผ่รังสี(radiation) สู่ช่องอากาศภายในกล่องทดลอง ทำให้มีอุณหภูมิต่ำลง และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ตามลำดับ โดยในช่วงเวลากลางคืน กล่องหลังคาที่ปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง (ปิดเฉพาะช่องทางเข้าลม) จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 26.76 องศาเซลเซียส กล่องหลังคาที่ใช้การไหลเวียนเปิดตอนกลางวันและปิดตอนกลางคืน(เปิดทั้งช่องทางเข้าและทางออกลม) จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงกลางคืนที่ 25.76 องศาเซลเซียส และกล่องที่เปิดให้มีการไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง และ 27.67 องศาเซลเซียส ตามลำดับ(ดูแผนภูมิที่ 4-20)

จะเห็นได้ว่าของกล่องหลังคาที่มีการปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศปิดตอนกลางคืน (ปิดทั้งช่องทางเข้าและทางออกลม) จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องที่ปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศ (ปิดเฉพาะช่องทางเข้าลม) ประมาณ 1 องศาเซลเซียส และต่ำกว่ากล่องที่ใช้การไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง ประมาณ 1.91 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อปิดระบบหลังคาทั้งทางเข้าและทางออกของช่องระบายอากาศ จะทำให้ประสิทธิภาพในการแผ่รังสีจากผิวหลังคาที่เย็นกว่าอย่างเต็มที่ ไม่มีการรั่วไหลของอากาศที่เกิดขึ้น ส่วนกล่องที่ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศ(ปิดเฉพาะช่องทางเข้าลม) ยังมีการรั่วไหลของอากาศเย็นที่เกิดขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในกล่องสูงกว่า ส่วนกล่องที่ใช้การไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง เมื่อใช้การไหลเวียนอากาศ ทำให้ความเย็นที่เกิดขึ้นจากผิวหลังคาได้ถูกระบายออกด้วยวิธีการพาความร้อน(convection) ทำให้อิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อน(radiation)จากผิวหลังคาลดน้อยลงไปมาก จนมีอุณหภูมิในกล่องเข้าใกล้อุณหภูมิอากาศภายนอก



แผนภูมิที่4-20 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ และ กล่องทดลองหลังคาที่มีการใช้รูปแบบการไหลเวียนอากาศแตกต่างกัน ตั้งแต่เวลา 0.00น.ของวันที่ 5 มีนาคม 2545 ถึงแต่เวลา 12.00น.ของวันที่ 6 มีนาคม 2545



แผนภูมิที่4-21 เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองหลังคาที่มีการไหลเวียนอากาศรูปแบบต่างๆ กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย
 ตั้งแต่เวลา 0.00น.ของวันที่ 5 มีนาคม 2545 ถึงแต่เวลา 12.00น.ของวันที่ 6 มีนาคม 2545

จากผลการทดลอง อิทธิพลของการไหลเวียนอากาศ ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา จะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางวัน เมื่อใช้การไหลเวียนอากาศ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลอง จะมีอุณหภูมิเข้าใกล้อุณหภูมิอากาศ โดยจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเพียง 0.34 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงเวลากลางคืน กล่องหลังคาที่มีการปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศปิดตอนกลางคืน (ปิดทั้งช่องทางเข้าและทางออกลม) จะมีอุณหภูมิในกล่องทดลองต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 2.24 องศาเซลเซียส ส่วนกล่องที่ใช้การไหลเวียนอากาศในช่วงเวลากลางคืนก็จะอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลอง จะมีอุณหภูมิเข้าใกล้อุณหภูมิอากาศ เช่นเดียวกัน

ดังนั้นแนวทางในการออกแบบระบบหลังคาที่สามารถป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และสามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนของผิวหลังคาสู่ท้องฟ้าจากในเวลากลางคืน ควรที่จะเปิดให้มีการไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคา เพื่อพาความร้อนที่เกิดขึ้นออกในช่วงเวลากลางวัน และควรปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาช่องอากาศ เพื่อกักเก็บความเย็นใต้ช่องหลังคาในช่วงเวลากลางคืน เพื่อประยุกต์นำความเย็นที่เกิดขึ้นเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทผ่านหลังคาโลหะในช่วงเวลากลางคืน
(20.00น.-7.00น.)

จากผลการทดลอง อิทธิพลของการไหลเวียนอากาศ ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา เมื่อวันที่ 5 – 6 มีนาคม 2545 นำผลการทดลองจากกล่องที่เปิดกลางวัน-ปิดกลางคืนมาคำนวณหาปริมาณพลังงาน ที่หลังคาโลหะเคลือบสี เมื่อปิดช่องใต้หลังคา ก็เก็บความเย็นในช่วงเวลากลางคืน

จากสูตร

$$Q = U * A * (T_i - T_o)$$

เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา (Btu/h)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) (Btu/h.*ft² *°F)

A = พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (ft²)

T_i = อุณหภูมิที่สูงกว่า (°F)

T_o = อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (°F)

จากผลการทดลองที่ 4.1.4 ของกล่องที่ปิดในช่วงเวลากลางคืน ได้ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในกล่องทดลอง (ΔT) ดังนี้

- ΔT_{avr} ในช่วงเวลา 20.00น.-6.00น. = 2.24 °C = 4.03 °F
- ΔT_{max} ในช่วงเวลา 20.00น.-6.00น. = 3.33 °C = 6 °F
- ค่า U ของหลังคาโลหะ = 0.99 \approx 1 Btu/h.*ft² *°F
- พื้นที่ของหลังคาในกล่องทดลอง = 0.6 m² \approx 6.5 ft²

$$\begin{aligned}\text{จะได้ } Q_{avr} &= 1 * 6.5 * 4.03 \\ &= 25.95 \approx 26 \text{ Btu/h}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{และ } Q_{max} &= 1 * 6.5 * 6 \\ &= 39 \text{ Btu/h}\end{aligned}$$

เมื่อคิดค่าพลังงานต่อตารางฟุต(ft²) จะได้

$$Q_{avr} \approx 4 \text{ Btu/h ft}^2$$

$$Q_{max} \approx 6$$

ดังนั้นวัสดุหลังคา สามารถทำความเย็นจากการคายรังสีในช่วงเวลากลางคืน ได้โดยเฉลี่ย ประมาณ 4 Btu/h ft² และสามารถทำความเย็นได้สูงสุด ประมาณ 6 Btu/h ft²

4.2 เทคนิคในการออกแบบระบบหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร

วัตถุประสงค์ : เพื่อทดสอบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆจากการทดลองในชั้นตอนที่1 มาประยุกต์ใช้ในอาคารทดลอง

ตัวแปรที่ทดสอบ- ระบบหลังคาจากการทดลองชั้นที่1

: เปรียบเทียบอุณหภูมิชั้นบน ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้วัสดุผนังหลังคามวลสารปานกลาง กับ วัสดุผนังหลังคามวลสารน้อย+การนำความร้อนจากช่องหลังคา

โดยทดสอบเก็บอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในอาคารชั้นบนของอาคารทดลอง ซึ่งได้รับอิทธิพลจากระบบหลังคาโดยตรง วัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารวัสดุผนังแตกต่างกัน และค่าการนำความร้อน(Conductivity) ที่แตกต่างกัน มีรูปแบบในการทดสอบ ดังนี้

กรณีที่1 เมื่อใช้หลังคามวลสารปานกลาง : หลังคาซิงเกิล (ไม้อัดหนา 12 ม.ม. ปิดด้วยแผ่น ยางกันซึม) +ฉนวนมวลสารน้อย : ฉนวนใยแก้วแบบผ้าห่ม หนา 8 นิ้ว

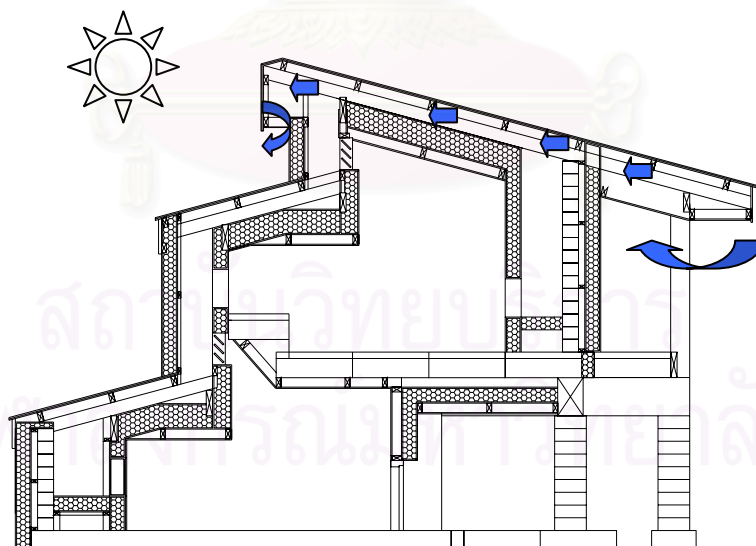
กรณีที่2 เมื่อใช้ผลการทดสอบจากการทดลองชั้นที่1 หลังคามวลสารน้อย : หลังคาโลหะ (แผ่น เหล็กเคลือบสังกะสีเคลือบสี หนา 0.2 ม.ม.) +ฉนวนมวลสารน้อย : ฉนวนใยแก้ว แบบผ้าห่ม หนา 8 นิ้ว +การจัดการอาคาร(operation) ดังนี้

- เวลากลางวัน : 7.00น.-20.00น. ใช้การระบายอากาศในช่องใต้หลังคา
- เวลากลางคืน : 20.00น.-7.00น. ปิดช่องระบายอากาศใต้หลังคาทางทิศเหนือ
ปิดช่องระบายอากาศใต้หลังคาทางทิศใต้

ส่วนห้องเรียน

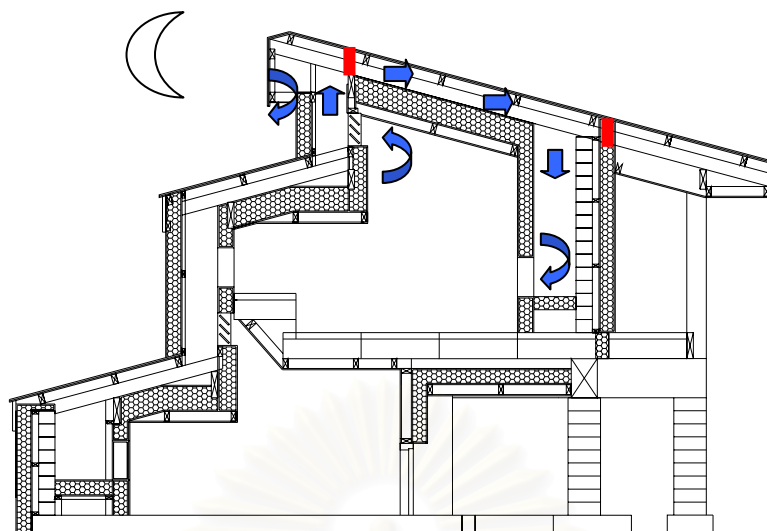
เวลากลางวัน : 7.00น.-18.00น. เปิดประตู และเปิดหน้าต่าง

เวลากลางคืน : 20.00น.-7.00น. ปิดประตู และเปิดหน้าต่าง



กลางวัน : 7.00น.-20.00น

ใช้การไหลเวียนอากาศจากภายนอกในช่องใต้หลังคา



กลางวัน : 20.00น.-7.00น.

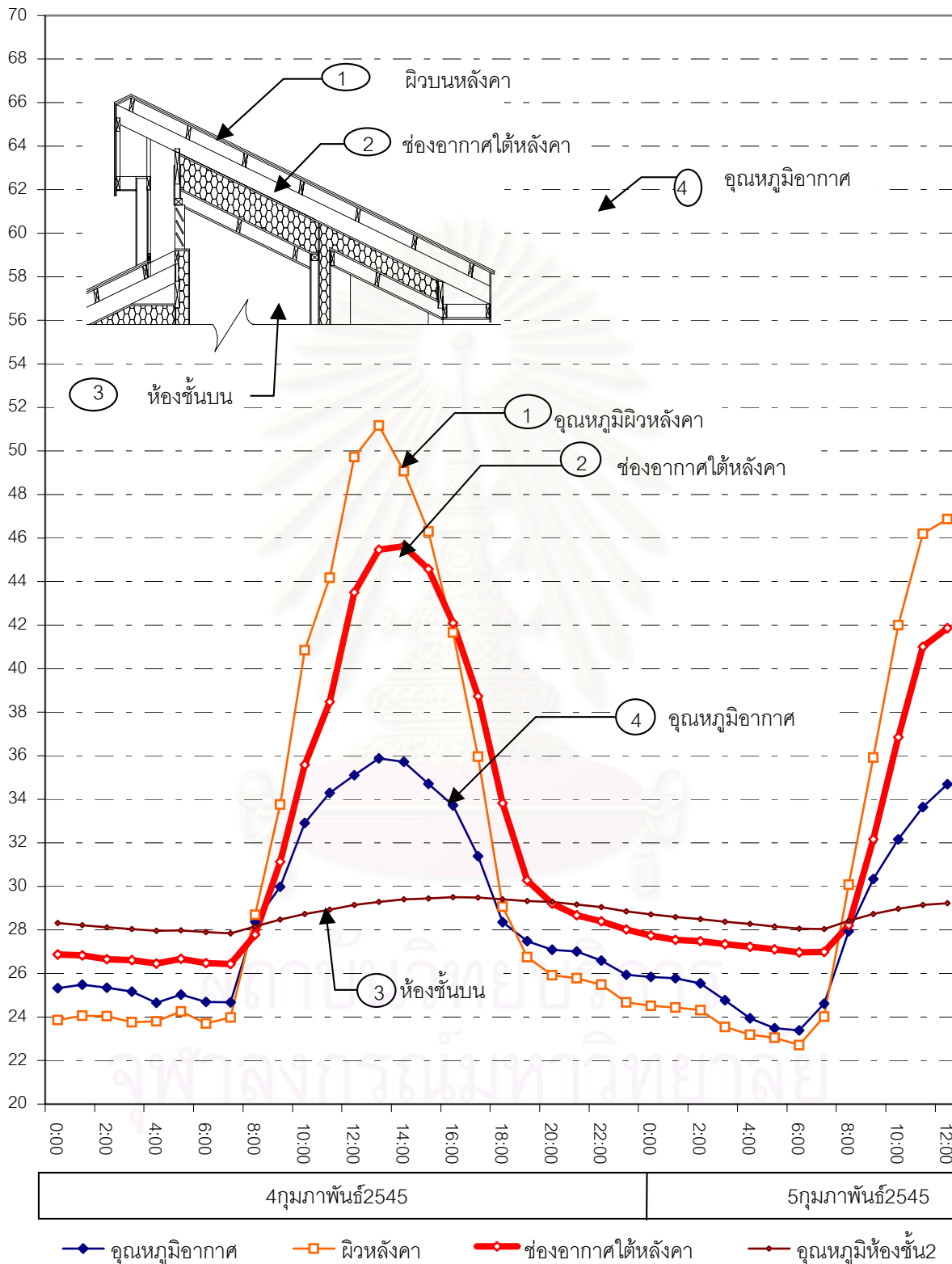
ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศจากภายนอกในช่องใต้หลังคา

ผลการทดลอง

- คุณภูมิระบบหลังคาเมื่อใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล ดังแผนภูมิที่ 4-22
- คุณภูมิระบบหลังคาเมื่อประยุกต์ใช้ผลจากการทดลองขั้นตอนที่1 ดังแผนภูมิที่ 4-23
- เปรียบเทียบผลต่างของคุณภูมิโดยเฉลี่ยของห้องชั้นบน กับ คุณภูมิอากาศโดยเฉลี่ย ดังแผนภูมิที่ 4-24
- เปรียบเทียบผลต่างของคุณภูมิโดยเฉลี่ยของห้องชั้นบน กับ คุณภูมิอากาศโดยเฉลี่ยดังแผนภูมิที่ 4-25

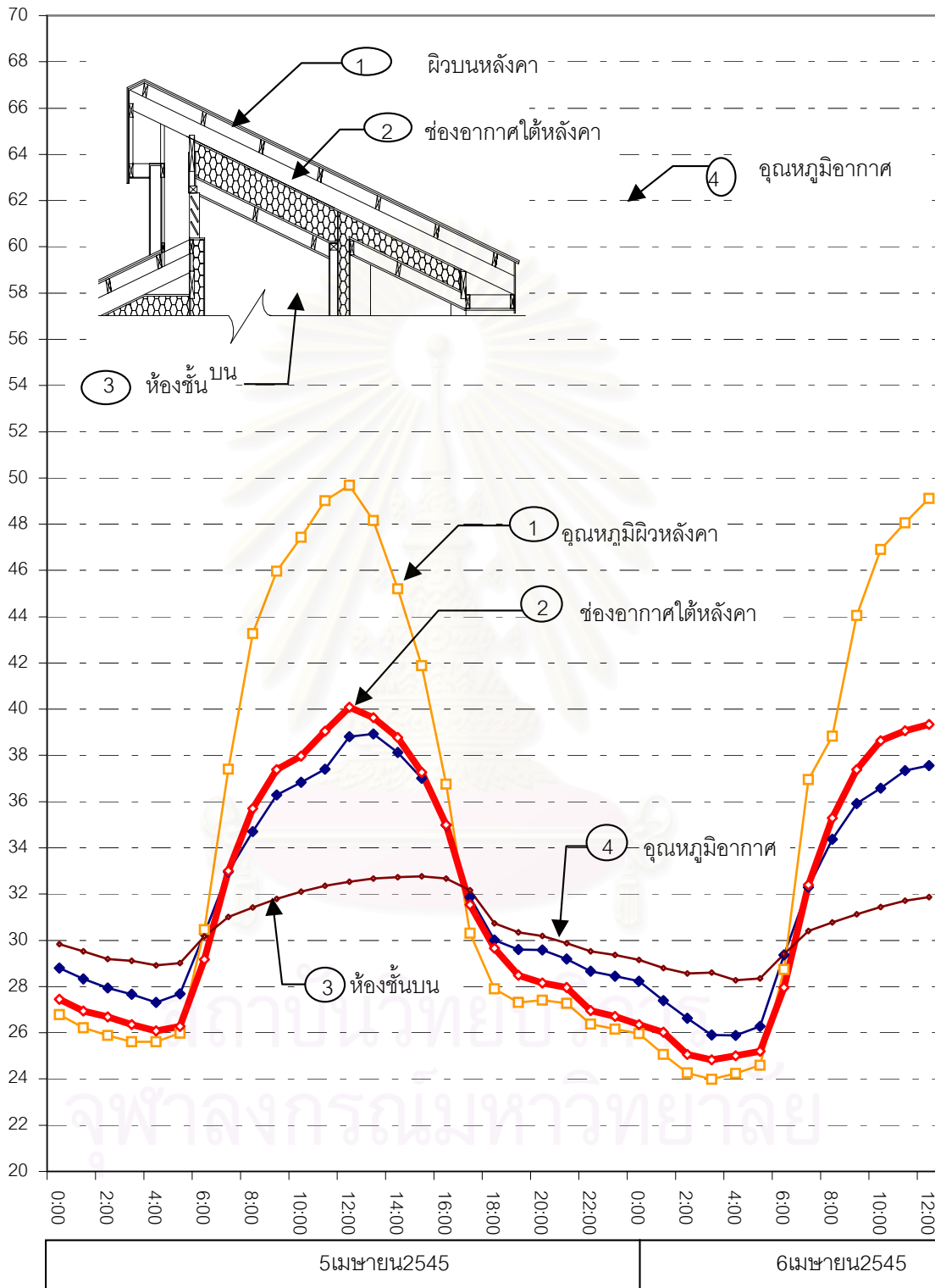
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุณหภูมิ(c)



แผนภูมิที่ 4-22 อุณหภูมิระบบหลังคาเมื่อใช้หลังคามวลสารปานกลาง(แอลพีเอสซิงเกิล) กับ
 จำนวนมวลสารน้อย(จนวนใยแก้ว)

อุณหภูมิ(c)



◆ อุณหภูมิอากาศ
 □ ผิวหลังคา
 ◆ ช่องอากาศ
 ◆ ห้องชั้นบน

แผนภูมิที่ 4-23 อุณหภูมิระบบหลังคาเมื่อประยุกต์ใช้ผลจากการทดลองชั้นตอนที่ 1 คือ หลังคาโลหะเคลือบ+ฉนวนใยแก้ว+ใช้การไหลเวียนอากาศในช่วงเวลากลางวันและไม่ใช้การไหลเวียนอากาศในช่วงเวลากลางคืน

จากผลการทดลอง เมื่อใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิลกับอาคารทดลอง เมื่อวันที่ 4 – 5 กุมภาพันธ์ 2545 เปรียบเทียบกับเมื่อเมื่อใช้ หลังคาโลหะเคลือบสี พร้อมกับการจัดการอาคาร(operation) ตามผลการทดลองขั้นตอนที่1 เมื่อวันที่ 5 – 6 เมษายน 2545 พบว่าเมื่อใช้รูปแบบ วัสดุหลังคาที่แตกต่างกัน จะให้ผลของอุณหภูมิในห้องชั้นบนของอาคารทดลองแตกต่างกัน ดังนี้

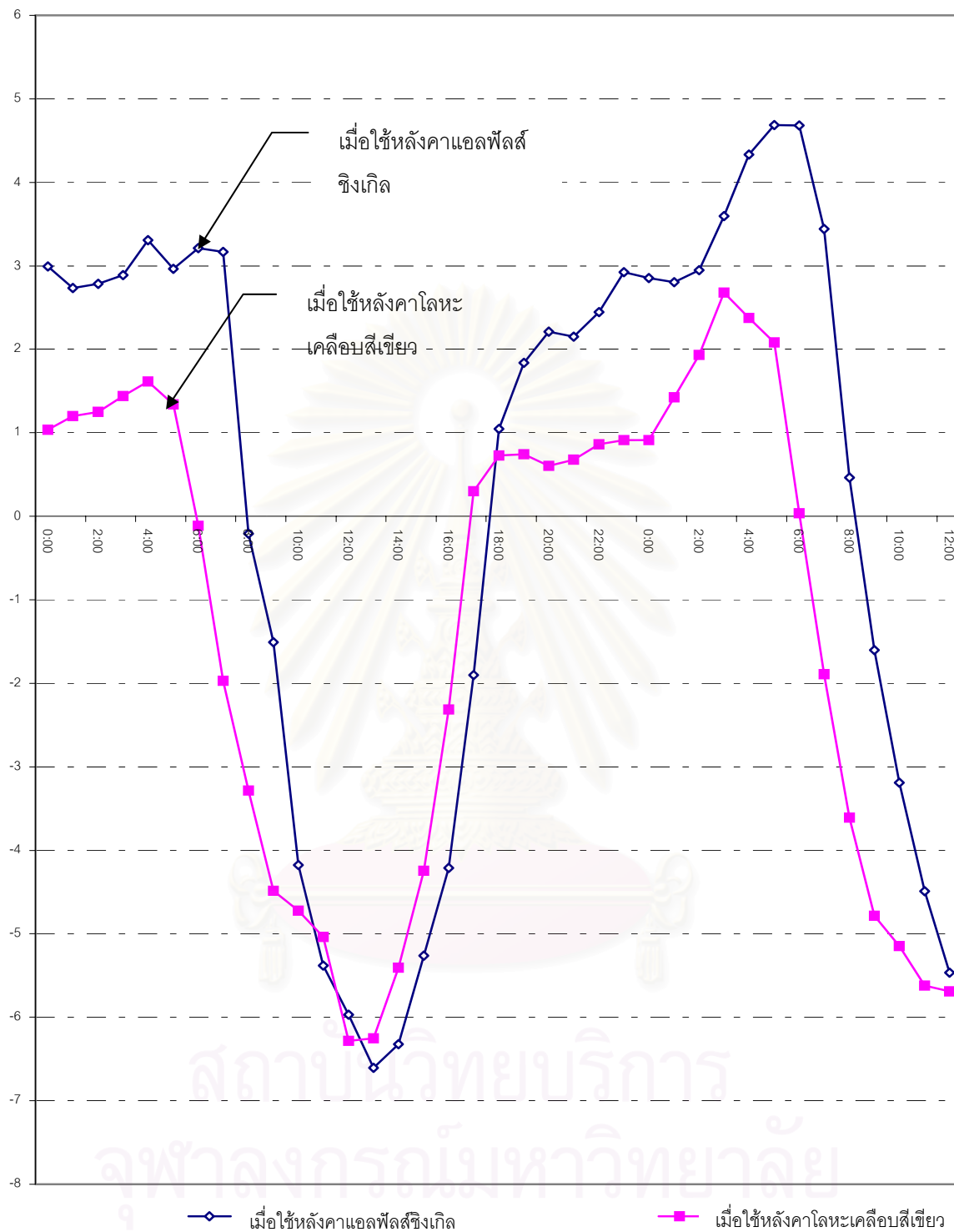
ในช่วงเวลากลางวัน

วัสดุผนังหลังคาจะเริ่มได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากพระอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคาเริ่มสูงขึ้นและนำความร้อน(conduction)สู่เนื้อวัสดุผนัง และแผ่รังสีความร้อน(radiation) สู่ช่องอากาศภายใต้หลังคา และมีฉนวนป้องกันความร้อน จากช่องอากาศใต้หลังคาเข้าสู่ภายในห้องชั้นบนตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา เมื่อใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล จะมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 45.86 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.45 น. ดูแผนภูมิที่ 4-21 เนื่องจากไม่ใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาในช่วงเวลากลางวัน แต่เนื่องจากระบบฉนวนกันความร้อนที่เลือกใช้มีค่าการต้านทานความร้อนสูงความร้อนที่เกิดขึ้นในส่วนนี้จะถ่ายเทสู่พื้นที่ใช้สอยในอาคารชั้นบนได้น้อยมาก แล้วเมื่อเปลี่ยนมาใช้หลังคาโลหะเคลือบสี ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย มีค่าการนำความร้อน(conductivity)สูง และมีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นสูง(short-wave solar absorption) ซึ่งเป็นตัวแปรที่จะทำให้อุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาสูงมาก ผลจากการทดลองที่ 4.1.1 แต่เมื่อควบคุมกับการใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาในช่วงเวลากลางวัน ผลจากการทดลองที่ 4.1.4 สามารถลดอุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาอาคารทดลองได้มาก โดยจะมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 40.78 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12.15 น. ดูแผนภูมิที่ 4-22 เมื่อใช้ควบคุมกับระบบฉนวนกันความร้อนที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง ทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารสูงยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิห้องชั้นบนกับอุณหภูมิอากาศ เมื่อใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล และหลังคาโลหะเคลือบสี จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิในห้องชั้นบนและต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดของวันประมาณ 6.90 องศาเซลเซียส ในหลังคาทั้งสองแบบ ดูแผนภูมิที่ 4-23 เนื่องจากการใช้ระบบฉนวนที่ค่าต้านทานความร้อน (R-Value)สูง จึงสามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากช่องใต้หลังคาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

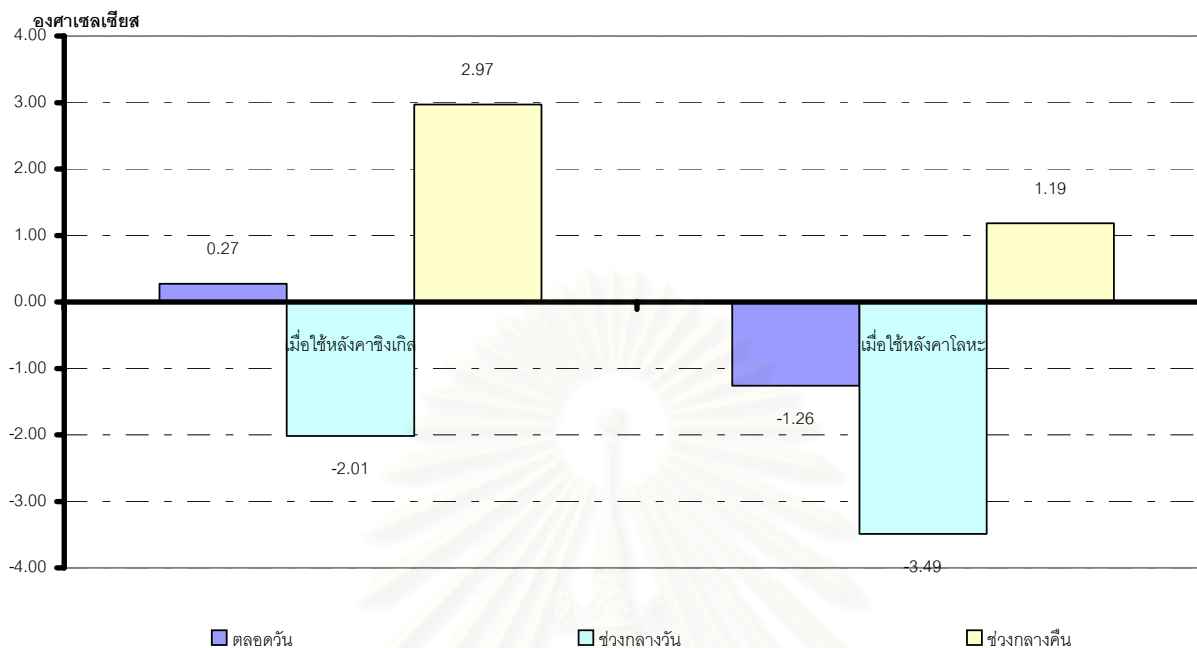
ในช่วงเวลากลางคืน

วัสดุผนังหลังคาจะเริ่มคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้า (Nightsky Radiation) ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคาเริ่มต่ำลงและต่ำลงกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาเมื่อใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศตลอดเวลา เนื่องจากหลังคาแอลพีเอสซิงเกิล เป็นวัสดุที่มีมวลสารปานกลาง ถึงแม้ว่าที่ผิววัสดุผนังหลังคาจะมีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาว (long-wave emissivity) สูง แต่เป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อน (conductivity) ต่ำ เพราะเนื้อวัสดุหลังคาเป็นไม้อัด จึงทำให้ความเย็นที่ผิวหลังคาไม่สามารถถ่ายเทสู่ช่องใต้หลังคาได้อย่างสมบูรณ์ ดูแผนภูมิที่ 4-21 ทำให้ประสิทธิภาพการนำความร้อนจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าที่ผิววัสดุหลังคาในช่วงเวลากลางคืนไม่เกิดขึ้น แล้วเมื่อเปลี่ยนมาใช้หลังคาโลหะเคลือบสี ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย มีค่าการนำ (conductivity) สูง และค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาว (long-wave emissivity) สูง รวมทั้งการปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศเพื่อสะสมความเย็นที่เกิดขึ้น ผลจากการทดลองที่ 4.1.4 ซึ่งเป็นตัวแปรที่จะทำให้อุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางคืน ดูแผนภูมิที่ 4-22 เมื่ออากาศเย็นโมเลกุลของอากาศจะมีมวลมากขึ้นทำให้อากาศเย็นจะไหลผ่านช่องท่อ (duct) ที่เชื่อมต่อกับช่องอากาศใต้หลังคา ลงมายังห้องชั้นบน จะเห็นได้จาก อุณหภูมิห้องชั้นบนเมื่อใช้หลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิห้องชั้นบนต่ำกว่าเมื่อใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิลมากที่สุดตลอดเวลา ดูแผนภูมิที่ 4-23 และหลังคาโลหะเคลือบสี มีอุณหภูมิห้องชั้นบนต่ำกว่าเมื่อใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิลโดยเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนประมาณ 1.78 องศาเซลเซียส

องศาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 4-24 เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของห้องชั้นบน กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย เมื่อใช้หลังคาแอลพีดีซิงเกิล ตั้งแต่เวลา 0.00น.ของวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2545 ถึงแต่เวลา 12.00น.ของวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2545 และ หลังคาโลหะเคลือบสี ตั้งแต่เวลา 0.00น.ของวันที่ 5 เมษายน 2545 ถึงแต่เวลา 12.00น.ของวันที่ 6 เมษายน 2545



แผนภูมิที่ 4-25 เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของห้องชั้นบน กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย เมื่อใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล ตั้งแต่เวลา 0.00น.ของวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2545 ถึงแต่เวลา 12.00น.ของวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2545 และ หลังคาโลหะเคลือบสี ตั้งแต่เวลา 0.00น.ของวันที่ 17 มีนาคม 2545 ถึงแต่เวลา 12.00น.ของวันที่ 17 มีนาคม 2545

จากผลการทดลอง ระบบหลังคาที่ใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล และ หลังคาโลหะเคลือบสี และการใช้งาน(operate)ตามผลการทดลองในขั้นตอนที่ 1 จะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางวัน ผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของห้องชั้นบน กับ อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย เมื่อใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล จะมีอุณหภูมิห้องชั้นบนต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยประมาณ 2.00 องศาเซลเซียส และเมื่อใช้หลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิห้องชั้นบนต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยประมาณ 3.50 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงเวลากลางคืน หลังคาแอลพีเอสซิงเกิล จะมีอุณหภูมิห้องชั้นบน สูงกว่าอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย 2.97 องศาเซลเซียส และเมื่อใช้หลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิห้องชั้นบน สูงกว่าอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยเพียง 1.19 องศาเซลเซียส ด้วยอิทธิพลการคายรังสีสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน และการนำความร้อนจากช่องใต้หลังคาเข้าสู่ห้องชั้นบน ดังที่ได้กล่าวไว้ ซึ่งทำให้อุณหภูมิห้องชั้นบนเมื่อใช้หลังคาโลหะเคลือบสีต่ำกว่า อุณหภูมิห้องชั้นบนเมื่อใช้หลังคาแอลพีเอสซิงเกิลโดยเฉลี่ยประมาณ 1.78 องศาเซลเซียส

ดังนั้นแนวทางในการออกแบบระบบหลังคาที่สามารถป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และสามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนของผิวหลังคาสู่ท้องฟ้าจากในเวลากลางคืน เมื่อใช้หลังคาโลหะเคลือบสี และการจัดการ(operate)ตามผลการทดลองในขั้นตอนที่1 สามารถทำให้อุณหภูมิในห้องชั้นบนของอาคารทดลอง เข้าใกล้สภาวะน่าสบาย มากกว่า หลังคาในระบบทั่วไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยการพัฒนารูปแบบและระบบหลังคา เพื่อลดความรุนแรงของอากาศภายนอกเข้าสู่อาคาร ในการทดสอบอิทธิพลของตัวแปร และรูปแบบในการป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าของหลังคาในช่วงเวลากลางคืน สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 ตัวแปรที่มีผลในการวิจัย

จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 ในการอิทธิพลของตัวแปรต่างที่มีผลอุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาสามารถสรุปอิทธิพลของตัวแปรต่างๆได้ดังนี้

- มวลสารของวัสดุผนังหลังคาและค่าการนำความร้อนภายในเนื้อวัสดุผนังหลังคา
- ค่าการดูดซับความร้อนในช่วงคลื่นสั้น และ ค่าการคายรังสีความร้อนในช่วงคลื่นยาวของวัสดุผนังหลังคา
- มวลสารของฉนวนกันความร้อน ในระบบหลังคา
- การใช้การไหลเวียนอากาศภายในช่องใต้หลังคา
- รูปแบบระบบหลังคา ในการนำความเย็นเข้าสู่พื้นที่ใช้สอย

5.1.1 มวลสารของวัสดุผงหลังคาและค่าการนำความร้อนภายในเนื้อวัสดุผงหลังคา

จากผลการทดลอง 4.1.1 ผลกระทบของมวลสารของวัสดุผงหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา เมื่อวันที่ 23 –24 กุมภาพันธ์ 2545 พบว่ามวลสารของวัสดุผงที่แตกต่างกัน จะให้ผลของอุณหภูมิในกล่องทดลองแตกต่างกัน ดังนี้

ในช่วงเวลากลางวัน

วัสดุผงหลังคาที่มีมวลสารน้อย และมีค่าการนำความร้อน(conductivity)สูง จะมีอุณหภูมิสูงสุด (Peak) อยู่ในระยะเวลาใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ และจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันสูงกว่าวัสดุผงหลังคาที่มีมวลสารมาก ส่วนวัสดุผงหลังคาที่มีมวลสารมากมีค่าการนำความร้อน(conductivity)ต่ำ จะมีอุณหภูมิสูงสุดในช่องใต้หลังคาจะอยู่หลังช่วงอุณหภูมิสูงสุดของอุณหภูมิอากาศ(Peak) ช่วงเวลาหนึ่ง และจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันต่ำกว่าวัสดุผงหลังคาที่มีมวลสารน้อย

จะเห็นได้จากผลการทดลอง 4.1.2 หลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องทดลองช่วงกลางวัน สูงกว่า หลังคากระเบื้องคอนกรีต หลังคาแลสฟิลส์ซิงเกิล

ในช่วงเวลากลางคืน

วัสดุผงหลังคาที่มีมวลสารน้อยและมีค่าการนำความร้อน(conductance)สูง เช่น หลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนต่ำกว่าวัสดุผงหลังคาที่มีมวลสารมาก ส่วนวัสดุผงหลังคาที่มีมวลสารมากมีค่าการนำความร้อน(conductivity)ต่ำ เช่น หลังคากระเบื้องคอนกรีต หลังคาแลสฟิลส์ซิงเกิล จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่าวัสดุผงหลังคาที่มีมวลสารน้อย

จะเห็นได้จากผลการทดลอง 4.1.2 หลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องทดลองช่วงกลางคืน ต่ำกว่า หลังคากระเบื้องคอนกรีต และหลังคาแลสฟิลส์ซิงเกิล

ดังนั้นการใช้วัสดุผงหลังคาที่มีมวลสารน้อย และมีค่าการนำสูง(conductivity) จึงเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุผงหลังคาที่สามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้า ในเวลากลางคืน แต่ในทางกลับกันในช่วงเวลากลางวันหลังคาประเภทนี้จะให้อุณหภูมิใต้ช่องหลังคาที่สูงกว่าหลังคาประเภทอื่น จึงควรใช้ควบคู่กับระบบฉนวนป้องกันความร้อนประสิทธิภาพสูงร่วมกับ การระบายอากาศใต้หลังคา

5.1.2 ค่าการดูดซับความร้อนในช่วงคลื่นสั้น และ ค่าการคายรังสีความร้อนในช่วงคลื่นยาวของวัสดุผนังหลังคา

จากผลการทดลอง 4.1.2 ผลกระทบของสีของวัสดุผนังหลังคาต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา เมื่อวันที่ 2 – 3 มีนาคม 2545 พบว่าสีของวัสดุผนังที่แตกต่างกัน จะให้ผลของอุณหภูมิในช่องทดลองแตกต่างกัน ดังนี้

ในช่วงเวลากลางวัน

วัสดุผนังหลังคา มีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้น (short-wave solar absorption) สูง จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยในช่องใต้หลังคาสูงกว่า วัสดุผนังหลังคาที่มีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นต่ำ เนื่องจากวัสดุผนังหลังคาที่มีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นสูง จะสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (infraed ray) ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่มาจากแสงอาทิตย์ได้มากกว่า

จะเห็นได้จากผลการทดลอง 4.1.2 หลังคาโลหะเคลือบสีดำ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่องทดลองช่วงกลางวัน สูงกว่า หลังคาโลหะไม่เคลือบสี และสูงกว่า หลังคาโลหะเคลือบสีขาว ตามลำดับ

ในช่วงเวลากลางคืน

วัสดุผนังหลังคาที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาว (long-wave emissivity) สูง จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยในช่องใต้หลังคาต่ำกว่า วัสดุผนังหลังคาที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวต่ำ เนื่องจากวัสดุผนังหลังคาที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวสูง จะสามารถคายรังสีสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน (night sky radiation) ได้สูงด้วย ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยในช่องต่ำกว่าเช่นกัน

จะเห็นได้จากผลการทดลอง 4.1.2 หลังคาโลหะเคลือบดำ และ หลังคาโลหะเคลือบสีขาว จะมีอุณหภูมิในช่องทดลองเฉลี่ยในช่วงกลางคืน ต่ำกว่า หลังคาโลหะไม่เคลือบสี

ดังนั้นการใช้หลังคาโลหะเคลือบสี ที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวสูง จึงเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุผนังหลังคาที่สามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน ส่วนในช่วงเวลากลางวันวัสดุหลังคาที่มีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นต่ำ จะทำให้อุณหภูมิใต้ช่องหลังคาที่ต่ำกว่าหลังคาที่มีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นสูงกว่า

5.1.3 มวลสารของฉนวนกันความร้อน ในระบบหลังคา

จากผลการทดลอง มวลสารของฉนวนป้องกันความร้อน ต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา เมื่อวันที่ 23 –24 มกราคม 2545 พบว่ามวลสารของฉนวนป้องกันความร้อนที่แตกต่างกัน จะให้ผลของอุณหภูมิในกล่องทดลองแตกต่างกัน ดังนี้

ในช่วงเวลากลางวัน

ระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีมวลสารมาก จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่องใต้หลังคาต่ำกว่าระบบหลังคาที่ใช้ ฉนวนกันความร้อนที่มีมวลสารน้อย เนื่องจากฉนวนที่มีมวลสารมาก จะมีความสามารถในการดูดซับความร้อน ได้ส่วนหนึ่ง มากกว่า ฉนวนกันความร้อนที่มีมวลสารน้อย

จะเห็นได้จากผลการทดลอง 4.1.3 หลังคาที่ใช้ฉนวนแกลบ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องทดลองช่วงกลางวัน ต่ำกว่า หลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้ว และ หลังคาที่ใช้ฉนวนโฟม เล็กน้อย

ในช่วงเวลากลางคืน

ระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีมวลสารมาก จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่องใต้หลังคาสูงกว่าระบบหลังคาที่ใช้ ฉนวนกันความร้อนที่มีมวลสารน้อย เนื่องจากฉนวนที่มีมวลสารมาก จะมีความสามารถในการสะสมความร้อนที่เกิดขึ้นในช่องอากาศใต้หลังคาในช่วงเวลากลางวันสูง จึงต้องใช้เวลาในการคายความร้อนในส่วนนี้มากกว่า ฉนวนกันความร้อนที่มีมวลสารน้อย ทำให้อุณหภูมิผิวฉนวนและอุณหภูมิในช่องใต้หลังคาสูงกว่า ระบบหลังคาที่ใช้ ฉนวนกันความร้อนที่มีมวลสารน้อย

จะเห็นได้จากผลการทดลอง 4.1.3 หลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้ว และ หลังคาที่ใช้ฉนวนโฟม จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องทดลองช่วงกลางคืน ต่ำกว่า หลังคาที่ใช้ฉนวนแกลบ

ดังนั้นการใช้ระบบฉนวนความร้อนหลังคา ที่มีมวลสารน้อยที่สุด จึงเป็นแนวทางในการเลือก ระบบฉนวนความร้อนหลังคาที่สามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าจากผิวหลังคา ในเวลากลางคืน ส่วนในช่วงเวลากลางวันควรใช้ฉนวนระบบฉนวนความร้อนหลังคา ที่มีค่าต้านทานความร้อน(R-Value)เพียงพอ เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากผิวหลังคาหลังคา สู่พื้นที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน

5.1.4 การใช้การไหลเวียนอากาศภายในช่องใต้หลังคา

จากผลการทดลอง อิทธิพลของการไหลเวียนอากาศ ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา เมื่อวันที่ 5 – 6 มีนาคม 2545 พบว่าการไหลเวียนอากาศภายในช่องใต้หลังคา ที่แตกต่างกัน จะให้ผลของอุณหภูมิในกล่องทดลองแตกต่างกัน ดังนี้

ในช่วงเวลากลางวัน

ระบบหลังคาที่ใช้การไหลเวียนอากาศภายในช่องใต้หลังคาในช่วงเวลากลางวัน จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าระบบหลังคาที่ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศภายในช่องใต้หลังคา เนื่องจากเมื่อใช้การไหลเวียนอากาศในช่วงเวลากลางวัน ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากผิวหลังคาได้ถูกระบายออกด้วยวิธีพาความร้อน(convection) ทำให้อิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อน(radiation) จากผิวหลังคาลดน้อยลงไปมาก ในทางกลับกัน กล่องทดลองที่ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศในช่วงเวลากลางวัน จะได้รับอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนจากผิวหลังคาอย่างเต็มที่ โดยไม่มีการพาความร้อนที่เกิดขึ้นในช่องใต้หลังคาออกไป ทำให้อุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาสูงกว่า จะเห็นได้จากผลการทดลอง 4.1.4

ในช่วงเวลากลางคืน

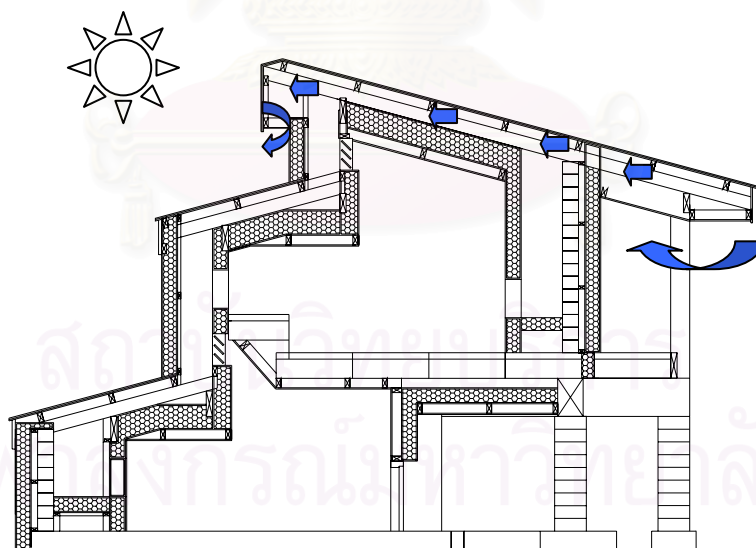
ระบบหลังคาที่มีการปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศในช่วงเวลากลางคืนในระบบปิด(ปิดทั้งช่องทางเข้าและทางออกลม) จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าระบบหลังคาที่ปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศ (ปิดเฉพาะช่องทางเข้าลม) และต่ำกว่า กล่องที่ใช้การไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อปิดระบบหลังคาทั้งทางเข้าและทางออกของช่องระบายอากาศ จะทำให้ประสิทธิภาพในการแผ่รังสีจากผิวหลังคาที่เย็นกว่าอย่างเต็มที่ ไม่มีการรั่วไหลของอากาศที่เกิดขึ้น ส่วนกล่องที่ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศ(ปิดเฉพาะช่องทางเข้าลม) ยังมีการรั่วไหลของอากาศเย็นที่เกิดขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในกล่องสูงกว่า ส่วนกล่องที่ใช้การไหลเวียนอากาศ 24 ชั่วโมง เมื่อใช้การไหลเวียนอากาศ ทำให้ความเย็นที่เกิดขึ้นจากผิวหลังคาได้ถูกระบายออกด้วยวิธีการพา จะเห็นได้จากผลการทดลอง 4.1.4

ดังนั้นแนวทางในการออกแบบระบบหลังคาที่สามารถป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และสามารถนำความเย็นจากการคายรังสีความร้อนของผิวหลังคาสู่ท้องฟ้าจากในเวลากลางคืน ควรที่จะเปิดให้มีการไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคา เพื่อพาความร้อนที่เกิดขึ้นออกในช่วงเวลากลางวัน และควรปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาช่องอากาศ เพื่อกักเก็บความเย็นใต้ช่องหลังคาในช่วงเวลากลางคืน เพื่อประยุกต์นำความเย็นที่เกิดขึ้นเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยต่อไป

5.2 สรุปผลการวิจัย

5.2.1 รูปแบบระบบหลังคาที่สามารถลดอุณหภูมิจากภายในอาคาร

นำผลจากการทดลองขั้นตอนที่ 1 จากผลการทดลอง หลังคาโลหะเคลือบสี พร้อมกับการใช้งานอาคาร(operation) ตามผลการทดลองขั้นตอนที่ 1 เพื่อทดลอง รูปแบบและระบบหลังคา ในการป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวันนำความเย็นเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยในช่วงเวลากลางคืน จะให้ผลการทดลอง ดังนี้

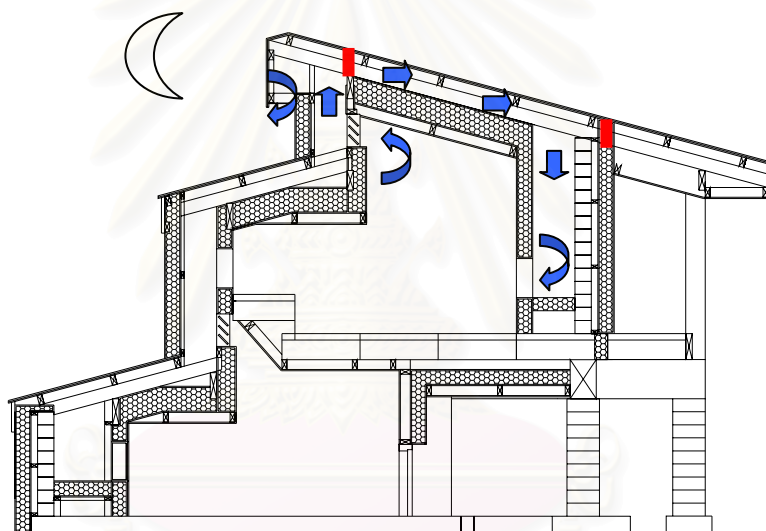


กลางวัน : 7.00น.-20.00น

ใช้การไหลเวียนอากาศจากภายนอกในช่องใต้หลังคา

ในช่วงเวลากลางวัน

ระบบหลังคาโลหะเคลือบสี ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย มีค่าการนำความร้อน(conductivity) สูง และมีค่าดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้น (short-wave solar absorption) สูง เมื่อควบคู่กับการใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาในช่วงเวลากลางวัน (7.00น.-20.00น.) สามารถลดอุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาอาคารทดลองได้มาก ผลจากการทดลองที่ 4.1.5 เมื่อใช้ควบคู่กับระบบฉนวนกันความร้อนที่มีค่าการต้านทานความร้อน(R-Value)สูง ทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารสูงยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิห้องชั้นบนกับอุณหภูมิอากาศ จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิในห้องชั้นสองและต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดของวันประมาณ 6.90 องศาเซลเซียส ที่เวลาประมาณ 13.30 น.



กลางคืน : 20.00น.-7.00น.

ไม่ใช้การไหลเวียนอากาศจากภายนอกในช่องใต้หลังคา

ในช่วงเวลากลางคืน

ระบบหลังคาโลหะเคลือบสี ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย มีค่าการนำความร้อน(conductivity) สูง และมีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาว(long-wave emissivity)สูง เมื่อควบคู่กับการปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาในช่วงเวลากลางคืน(20.00น.-7.00น.) สามารถลดอุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ในช่วงเวลากลางคืน เมื่ออากาศเย็นโมเลกุลของอากาศเข้าชิดกัน

และมีมวลมากขึ้นทำให้อากาศเย็นจะไหลผ่านช่องท่อ(duct) ที่เชื่อมต่อกับช่องอากาศใต้หลังคา ลงมายังห้องชั้นบน จะเห็นได้จาก อุณหภูมิห้องชั้นบน เมื่อใช้หลังคาโลหะเคลือบสี จะมีอุณหภูมิห้องชั้นบนต่ำกว่าเมื่อใช้หลังคาแอลพอลิซิงเกิลมากที่สุด 3.19 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5.00 น. และหลังคาโลหะเคลือบสี มีอุณหภูมิห้องชั้นบนต่ำกว่าเมื่อใช้หลังคาแอลพอลิซิงเกิลโดยเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนประมาณ 1.53 องศาเซลเซียส จากการทดลองที่ 4.2

5.2.2. สรุปแนวทางออกแบบและวัสดุหลังคา เพื่อลดความร้อนแรงของอุณหภูมิจากภายนอกเข้าสู่อาคาร

แนวทางในการออกแบบระบบและวัสดุหลังคา ที่สามารถป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และสามารถนำความเย็นจากการคายรังสีสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน สรุปเทคนิคในการออกแบบได้ ดังนี้

1. เลือกวัสดุหลังคาที่มีมวลสารน้อย มีค่าการนำความร้อน(conductivity)สูง เพื่อความสามารถในการคายความร้อนที่สะสมในเนื้อวัสดุได้อย่างรวดเร็ว และนำความเย็นที่เกิดขึ้นที่ผิววัสดุ ลงมาสู่พื้นที่ใช้สอยได้อย่างดีในช่วงเวลากลางคืน แต่ต้องใช้ควบคู่กับระบบฉนวนป้องกันความร้อนที่มีค่าการต้านทานความร้อนเพียงพอ เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืน
2. ระบบฉนวนป้องกันความร้อนต้องมีมวลสารน้อย เพื่อลดการสะสมความร้อนในช่วงเวลากลางคืน
3. เลือกวัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาว(long-wave emissivity)สูง เพื่อประสิทธิภาพในการคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้า
4. ระบบฉนวนป้องกันความร้อนต้องมีมวลสารน้อย เพื่อลดการสะสมความร้อนในช่วงเวลากลางคืน
5. ควรใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาในเวลากลางวัน เพื่อระบายความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และ ปิดไม่ใช้การไหลเวียนอากาศใต้ช่องหลังคาในเวลากลางคืน เพื่อสะสมความเย็นจากการคายรังสีความร้อนในช่วงเวลากลางคืน
6. ช่องอากาศใต้หลังคาและระบบท่อ(duct) ในระบบหลังคาควรออกแบบให้มีความถี่ น้อยที่สุด เพื่อให้อากาศเย็นใต้ช่องหลังคาสามารถไหลสู่พื้นที่ใช้สอยได้สะดวก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 แนวทางการวิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยในเรื่องนี้ มีข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลา อุปกรณ์ เครื่องมือในการเก็บข้อมูล ทำให้ต้องกำหนดขอบเขตในการวิจัยที่ยังไม่สามารถครอบคลุม ในทุกตัวแปร จึงควรมีการศึกษาขยายผลในเรื่องต่อไปนี้

1. การประยุกต์รูปแบบการนำความเย็นจากช่องใต้หลังคาในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
2. การประยุกต์นำความร้อนในช่องใต้หลังคาในช่วงเวลา เหนียวน้ำให้เกิดการไหลเวียนอากาศภายในอาคาร ด้ายหลักการลอยตัวของอากาศร้อน(stack effect) แต่ควรคำนึงถึงอุณหภูมิของอากาศที่จะเข้ามาแทนที่
3. ควรมีการศึกษาให้ครอบคลุมในทุกช่วงฤดู เนื่องจากสภาพท้องฟ้าเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการรับและคายรังสีความร้อน ซึ่งสภาพท้องฟ้าในแต่ละช่วงฤดูมีความแตกต่างกัน ซึ่งจะขยายผล ทำให้ผลการทดลองสมบูรณ์ในทุกช่วงฤดู
4. ควรมีการศึกษารูปแบบการใช้ระบบฉนวนหลังคามวลสารน้อย ในการลดอิทธิพลของเสียงภายนอกเข้าสู่อาคาร
5. ควรมีการศึกษารูปแบบในการเก็บน้ำค้างที่เกิดขึ้นจากผิวหลังคาเพื่อนำไปใช้ในพื้นที่ขาดแคลนต่อไป

5.3.2 ข้อควรคำนึงถึงในการทำวิจัย

ในการทำวิจัยในครั้งนี้ มีข้อจำกัดที่เกิดขึ้นอยู่หลายประการ ทำให้ผลการวิจัยในบางส่วนอาจเกิดความผิดพลาดอยู่บ้าง มีข้อควรคำนึงถึงดังต่อไปนี้

1. ในการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในอาคารทดลอง ควรเปรียบเทียบในวันและเวลาเดียวกัน แต่ด้วยข้อจำกัดของเงินทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ ทำให้สามารถก่อสร้างอาคารทดลองได้เพียงอาคารเดียว ในการเปรียบเทียบแต่ละกรณีจึงต้องเปรียบเทียบคนละวัน ซึ่งอาจทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนเล็กน้อย จากตัวแปรของสภาพท้องฟ้า ความชื้นในอากาศ ฯลฯ ที่จะแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลา
2. ในการประกอบสายสัญญาณและหัววัดอุณหภูมิ ควรมีการเคลือบหัวสัญญาณและรอยต่อสายด้วย แลคเกอร์, กาวยางใส เป็นต้น เพื่อป้องกันความชื้นเข้ามาโดนหัววัดอุณหภูมิซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลได้

3. ในการใช้เครื่อง Data Logger ควรมีการต่อสายดิน เพื่อรักษากระแสในการอ่านข้อมูลให้คงที่ มิฉะนั้นอาจเกิดความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลได้
4. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลควรต่อร่วมกับเครื่องสำรองไฟ (UPS) เพื่อป้องกันความเสียหายของข้อมูล ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าตก หรือดับ ในขณะที่การเก็บข้อมูลในการวิจัย
5. ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลในการวิจัย ควรคำนึงถึงเรื่องสภาพดินฟ้าอากาศในช่วงเวลานั้น เพราะอาจจะทำต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลแก้ไข เมื่อสภาพดินฟ้าอากาศแปรปรวน เช่น ฝนตก เมฆมาก เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การใช้กระจก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การใช้ฉนวน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543.

จุไรพร ตุมพสุวรรณ. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ณัฐยา ทองมี. เทคนิคการออกแบบและการเลือกวัสดุหลังคา เพื่อประโยชน์จากน้ำค้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ตระการ ก้าวกลีกรรม. คู่มือฉนวนความร้อน. กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์, 2537.

ธนิศ จินดาวณิก. สถาปัตยกรรมกับเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ศุภกิจ ยิ้มสุวรรณ. การใช้ฉนวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สมชาย นิลอาธิ. วิถีความคิด-วิถีชีวิตชาวนาฮีสถาน กรุงเทพฯ : อักษรวิจัยคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม, 2541.

สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น 1,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สินีรัตน์ ภัทธรธรรมกุล. ผลของมวลสารและสีของผนังต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิศ จินดาวณิก. การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย. กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

สุนทร บุญญาธิการ. กรณีศึกษาอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ การวิจัยประยุกต์เพื่อการ
ออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน. วารสารอาษา (สิงหาคม 2539): 60-102.

สุนทร บุญญาธิการ . กุศลร ศิลปบรรเลง สุวิทย์ บุญยวานิชกุล. "การจัดทำฐานข้อมูลภูมิอากาศของ
ประเทศไทย". กรุงเทพมหานคร: โดยสถาบันวิจัยพลังงาน. 986 หน้า. (เงินทุนงบประมาณแผ่นดิน
คืน)

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. 3,000
เล่ม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุวรรณ อชิตวีวรรณ. เทคโนโลยีพื้นบ้านเพื่อคุณภาพชีวิตและเศรษฐกิจครอบครัว กรุงเทพฯ : ฝ่าย
โครงการในประเทศองค์การยูนิเซฟ, 2524.

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อน วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ภาษาอังกฤษ

America Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineering, Inc. ASHRAE Handbook Fundamental. Atlanta, Georgia, 1997.

Anderson, B. N. 1977. Solar Energy: Fundamentals in Building Design. New York: McGraw-Hill.

Bansal, N.K; Hauser, G. and Minke, G. Passive Building Design. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 1994.

Chiing, D.K. Building Construction Illustrated, 2nd Edition. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

Diamant R.M.E. Insulation of Buildings : Thermal and Acoustic. London: Iliffe Books Ltd., 1965.

Fanger P.O. Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering. The United State : McGraw-Hill , 1970.

Lechner, N. Heating, Cooling, Light Design methods for Architect. New York: Johner and Suns, 1991.

Lstiburek Joseph and Carmody John . Moisture Control Handbook. New York : Van Nostrand Rienhold , 1993.

Pratt A.W . Heat Transmission in Buildings. Northern Ireland : John Willy & Sons, 1981.

Olgay, Victor. Design with Climate. New Jersey: Prentice Hall University Press, 1973.

Stein, B. and Reynold, J.S. Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8th Edition. New York: John Willy & Sons, 1992.

Watson, D; FAIA and Kenneth Labs, Climatic Design. McGraw, 1983.

William C. Turner and John F. Malloy, Thermal Insulation Handbook, Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, Inc., 1981.

William T. Meyer, Energy Economics and Building Design, New York: McGraw-Hill Book Company, 1979.

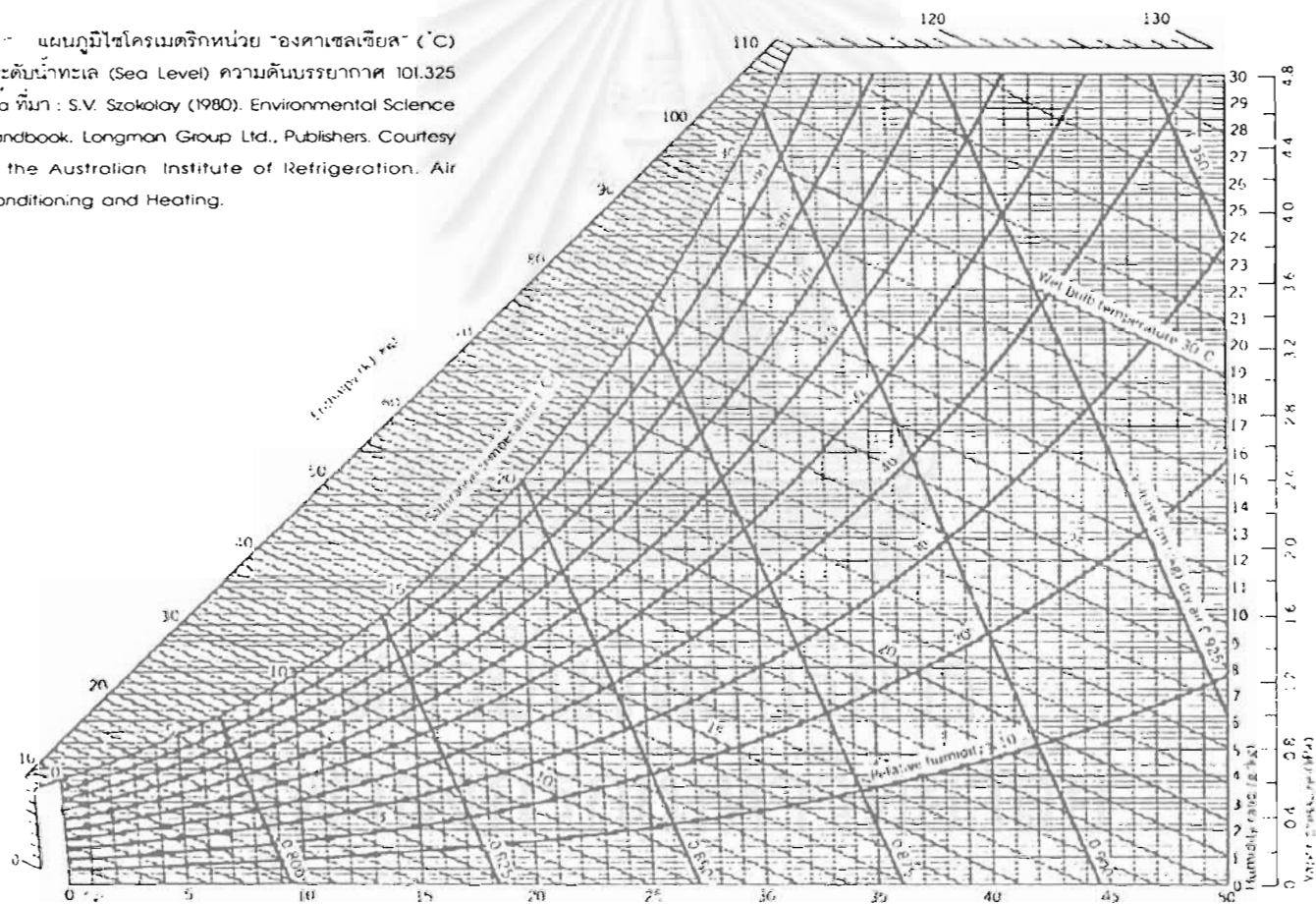


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

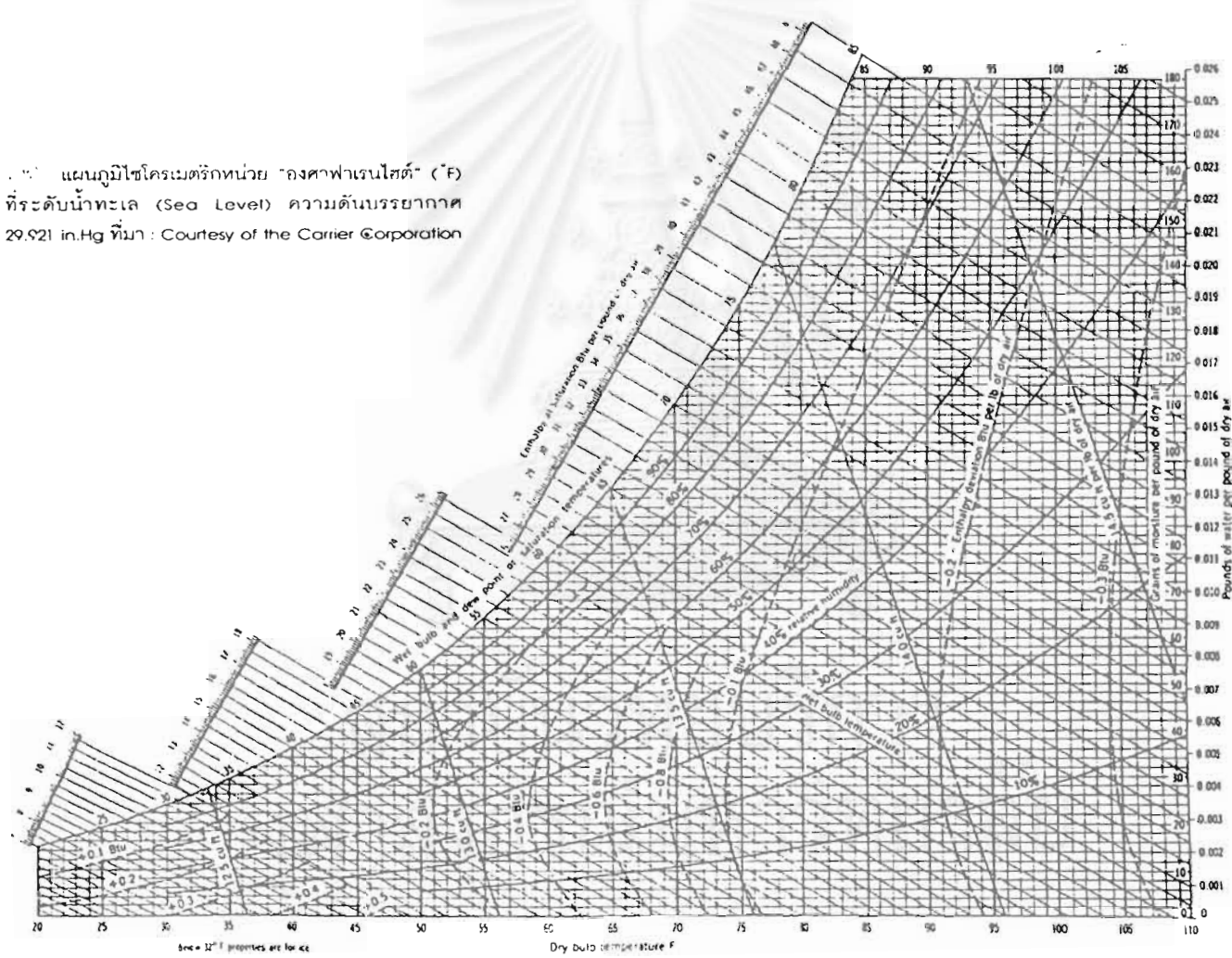
ภาคผนวก ก แผนภูมิไซโครเมตริก

ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. 3,000เล่ม.

กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟ้าลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.



. " แผนภูมิไซโครเมตริกหน่วย "องศาฟาเรนไฮต์" (°F)
 ที่ระดับน้ำทะเล (Sea Level) ความดันบรรยากาศ
 29.921 in.Hg ที่มา : Courtesy of the Carrier Corporation



Area = 32°F properties are for ice

Dry bulb temperature F

Pounds of water per pound of dry air

ภาคผนวก ข

ค่าการดูดซับความร้อนและคายรังสีความร้อนของวัสดุ

ที่มา: Anderson, B. N. 1977. *Solar Energy: Fundamentals in Building Design*. New York: McGraw-Hill.

EMITTANCES AND ABSORPTANCES OF MATERIALS

Class I Substances: Absorptance to Emittance Ratios (α/ϵ) Less than 0.5			
Substance	Short-wave Absorptance	Long-wave Emittance ^a	α/ϵ
Magnesium carbonate, MgCO ₃	0.025–04	0.79	0.03–.05
White plaster	.07	0.91	.08
Snow, fine particles, fresh	.13	0.82	.16
White paint, .017 in. on aluminum	.20	0.91	.22
Whitewash on galvanized iron	.22	0.90	.24
White paper	.25–.28	0.95	.26–.29
White enamel on iron	.25–.45	0.9	.28–.5
Ice, with sparse snow cover	.31	0.96–0.97	.32
Snow, ice granules	.33	0.89	.37
Aluminum oil base paint	.45	0.90	.50
White powdered sand	.45	0.84	.54

Class II Substances: Absorptance to Emittance Ratios (α/ϵ) Between 0.5 and 0.9			
Substance	Short-wave Absorptance	Long-wave Emittance	α/ϵ
Asbestos felt	.25	0.50	.50
Green oil base paint	.5	0.9	.56
Bricks, red	.55	0.92	.60
Asbestos cement board, white	.59	0.96	.61
Marble, polished	.5–.6	0.9	.61
Wood, planed oak	—	0.9	—
Rough concrete	.60	0.97	.62
Concrete	.60	0.88	.68
Grass, green, after rain	.67	0.98	.68
Grass, high and dry	.67–.69	0.9	.76
Vegetable fields and shrubs, wilted	.70	0.9	.78
Oak leaves	.71–.78	0.91–.95	.78–.82
Frozen soil	—	0.93–.94	—
Desert surface	.75	0.9	.83
Common vegetable fields and shrubs	.72–.76	0.9	.82
Ground, dry plowed	.75–.80	0.9	.83–.89
Oak woodland	.82	0.9	.91
Pine forest	.86	0.9	.96
Earth surface as a whole (land and sea, no clouds)	.83	—	—

EMITTANCES AND ABSORPTANCES OF MATERIALS

Class III Substances: Absorptance to Emittance Ratios (α/ϵ) Between 0.8 and 1.0

Substance	Short-wave Absorptance	Long-wave Emittance	α/ϵ
Grey paint	.75	.95	.79
Red oil base paint	.74	.90	.82
Asbestos, slate	.81	.96	.84
Asbestos, paper		.93-.96	—
Linoleum, red-brown	.84	.92	.91
Dry sand	.82	.90	.91
Green roll roofing	.88	.91-.97	.93
Slate, dark grey	.89	—	—
Old grey rubber	—	.86	—
Hard black rubber	—	.90-.95	—
Asphalt pavement	.93	—	—
Black cupric oxide on copper	.91	.96	.95
Bare moist ground	.9	.95	.95
Wet sand	.91	.95	.96
Water	.94	.95-.96	.98
Black tar paper	.93	.93	1.0
Black gloss paint	.90	.90	1.0
Small hole in large box, furnace or enclosure	.99	.99	1.0
"Hohlraum," theoretically perfect black body	1.0	1.0	1.0

Class IV Substances: Absorptance to Emittance Ratios (α/ϵ) Greater than 1.0

Substance	Short-wave Absorptance	Long-wave Emittance	α/ϵ
Black silk velvet	.99	.97	1.02
Alfalfa, dark green	.97	.95	1.02
Lamp black	.98	.95	1.03
Black paint, 0.017 in. on aluminum	.94-.98	.88	1.07-1.11
Granite	.55	.44	1.25
Graphite	.78	.41	1.90

High Ratios, but Absorptances Less Than .80

Dull brass, copper, lead	.2-.4	.4-.65	1.63-2.0
Galvanized sheet iron, oxidized	.8	.28	2.86
Galvanized iron, clean, new	.65	.13	5.00
Aluminum foil	.15	.05	3.00
Magnesium	.3	.07	4.3
Chromium	.49	.08	6.13
Polished zinc	.46	.02	23.0
Deposited silver (optical reflector) untarnished	.07	.01	

EMITTANCES AND ABSORPTANCES OF MATERIALS

Class V Substances: Selective Surfaces ¹			
Substance	Short-wave Absorptance	Long-wave Emittance	α/ϵ
Plated metals: ²			
Black sulfide on metal	.92	.10	9.2
Black cupric oxide on sheet aluminum	.08-.93	.09-.21	
Copper (5×10^{-5} cm thick) on nickel or silver-plated metal			
Cobalt oxide on platinum			
Cobalt oxide on polished nickel	.93-.94	.24-.40	3.9
Black nickel oxide on aluminum	.85-.93	.06-.1	14.5-15.5
Black chrome	.87	.09	9.8
Particulate coatings:			
Lampblack on metal			
Black iron oxide, 47 micron grain size, on aluminum			
Geometrically enhanced surfaces: ³			
Optimally corrugated greys	.89	.77	1.2
Optimally corrugated selectives	.95	.16	5.9
Stainless steel wire mesh	.63-.86	.23-.28	2.7-3.0
Copper, treated with NaClO ₂ and NaOH	.87	.13	6.69

¹Selective Surfaces absorb most of the solar radiation between 0.3 microns and 1.9 microns, and emit very little in the 5 to 15 micron range—the infrared.

²For a discussion of Plated Selective Surfaces, see Daniels, *Direct Use of the Sun's Energy*, especially chapter 12.

³For a discussion of how surface selectivity can be enhanced through surface geometry, see K. G. T. Hollands, "Directional Selectivity Emittance and Absorptance Properties of Vee Corrugated Specular Surfaces," *The Journal of Solar Energy Science and Engineering*, 3 (July, 1963).

Information in these tables was gathered from several sources, including:

ASHRAE. *Handbook of Fundamentals*. 1972.

Bowden. "Heat Theory." *Alternative Sources of Energy*, July 1973.

McAdams. *Heat Transmission*. 1954.

Saverns and Fellows. *Air Conditioning and Refrigeration*. 1966.

Souders. *The Engineer's Companion*. 1966.

McDonald. "Spectral Reflectance Properties of Black Chrome for Use as a Solar Selective Coating." NASA Technical Memorandum THX-71596.

ภาคผนวก ค

คุณสมบัติของวัสดุทางด้านความร้อน

ที่มา: Stein, B. and Reynold, J.S. Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8th

Edition. New York: John Willy & Sons, 1992.

TABLE 4.2 Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials (design values)^a

NOTE: The customary units for resistance (R), either per inch (1/k) or for thickness stated (1/C), are given in Table 4.1. The SI units for resistance (last two columns) were calculated by taking the values from the two resistance columns under Customary Unit, multiplying by the factor 1/k(r/in.) and 1/C(R) for the appropriate conversion factor. Author's note: Actual (on-site) resistance values frequently are lower than the test-cell-determined "design" values listed in this table.

Description	Density (lb/ft ³)	Conductivity, k ($\frac{\text{Btu-in.}}{\text{h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}}$)	Conductance, C ($\text{h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$)	Customary Unit		Specific Heat, (Btu/lb-°F)	SI Unit	
				Resistance, R ^o			Resistance, R ^o	
				Per Inch Thickness 1 k	For Thickness Listed, 1/C		(m-K) W	(m ² -K) W
BUILDING BOARD								
Boards, Panels, Subflooring, Sheathing								
Woodboard Panel Products								
Asbestos-cement board.....	120	4.0	—	0.25	—	0.24	1.73	
Asbestos-cement board..... 0.125 in.	120	—	33.00	—	0.03			0.005
Asbestos-cement board..... 0.25 in.	120	—	16.50	—	0.06			0.01
Gypsum or plaster board..... 0.375 in.	50	—	3.10	—	0.32	0.26		0.06
Gypsum or plaster board..... 0.5 in.	50	—	2.22	—	0.45			0.08
Gypsum or plaster board..... 0.625 in.	50	—	1.78	—	0.56			0.10
Plywood (Douglas fir).....	34	0.80	—	1.25	—	0.29	8.66	
Plywood (Douglas fir)..... 0.25 in.	34	—	3.20	—	0.31			0.05
Plywood (Douglas fir)..... 0.375 in.	34	—	2.13	—	0.47			0.08
Plywood (Douglas fir)..... 0.5 in.	34	—	1.60	—	0.62			0.11
Plywood (Douglas fir)..... 0.625 in.	34	—	1.29	—	0.77			0.19
Plywood or wood panels..... 0.75 in.	34	—	1.07	—	0.93	0.29		0.16
Vegetable fiberboard								
Sheathing, regular density ^c 0.5 in.	18	—	0.76	—	1.32	0.31		0.23
..... 0.78125 in.	18	—	0.49	—	2.06			0.36
Sheathing intermediate density ^c 0.5 in.	22	—	0.82	—	1.22	0.31		0.21
Nail-base sheathing ^c 0.5 in.	25	—	0.88	—	1.14	0.31		0.20
Shingle backer..... 0.375 in.	18	—	1.06	—	0.94	0.31		0.17
Shingle backer..... 0.3125 in.	18	—	1.28	—	0.78			0.14
Sound deadening board..... 0.5 in.	15	—	0.74	—	1.35	0.30		0.24
Tile and lay-in panels, plain								
or acoustic.....	18	0.40	—	2.50	—	0.14	17.33	
..... 0.5 in.	18	—	0.80	—	1.25			0.22
..... 0.75 in.	18	—	0.53	—	1.89			0.33
Laminated paperboard								
Homogeneous board from repulped paper.....	30	0.50	—	2.00	—	0.33	13.86	
Hardboard ^c								
Medium density.....	50	0.73	—	1.37	—	0.31	9.49	
High density, service temp. service underlay.....	55	0.82	—	1.22	—	0.32	8.46	

High density, std. tempered	63	1.00	—	1.00	—	0.32	6.93		
Particleboard ^c									
Low density	37	0.54	—	1.85	—	0.31	12.82		
Medium density	50	0.94	—	1.06	—	0.31	7.35		
High density	62.5	1.18	—	0.85	—	0.31	5.89		
Underlayment	0.625 in.	40	—	1.22	—	0.82	0.29	0.14	
Wood subfloor	0.75 in.	—	—	1.06	—	0.94	0.33	0.17	
BUILDING MEMBRANE									
Vapor—permeable felt	—	—	—	16.70	—	0.06	—	0.01	
Vapor—seal, 2 layers of mopped 15-lb felt	—	—	—	8.35	—	0.12	—	0.02	
Vapor—seal, plastic film	—	—	—	—	—	Negl.	—	—	
FINISH FLOORING MATERIALS									
Carpet and fibrous pad	—	—	—	0.48	—	2.08	0.34	0.37	
Carpet and rubber pad	—	—	—	0.81	—	1.23	0.33	0.22	
Cork tile	0.125 in.	—	—	3.60	—	0.28	0.48	0.05	
Terrazzo	1 in.	—	—	12.50	—	0.08	0.19	0.01	
Tile—asphalt, linoleum, vinyl, rubber	—	—	—	20.00	—	0.05	0.30	0.01	
Vinyl asbestos	—	—	—	—	—	—	0.24	—	
Ceramic	—	—	—	—	—	—	0.19	—	
Wood, hardwood finish	0.75 in.	—	—	1.47	—	0.68	—	0.12	
INSULATING MATERIALS									
BLANKET AND BATT^{d,e}									
Mineral fiber, fibrous form processed from rock, slag, or glass									
Approx. 3–4 in.	0.3–2.0	—	—	0.091	—	11	—	1.94	
Approx. 3.5 in.	0.3–2.0	—	—	0.077	—	13	—	2.25	
Approx. 5.5–6.5 in.	0.3–2.0	—	—	0.053	—	19	—	3.35	
Approx. 6–7.5 in.	0.3–2.0	—	—	0.045	—	22	—	3.67	
Approx. 9–10 in.	0.3–2.0	—	—	0.033	—	30	—	5.26	
Approx. 12–13 in.	0.3–2.0	—	—	0.026	—	38	—	6.65	
BOARD AND SLABS									
Cellular glass	8.5	0.35	—	2.86	—	0.18	—	19.81	
Glass fiber, organic bonded	4–9	0.25	—	4.00	—	0.23	—	27.72	
Expanded perlite, organic bonded	1.0	0.36	—	2.78	—	0.30	—	19.26	
Expanded rubber (rigid)	4.5	0.22	—	4.55	—	0.40	—	31.53	
Expanded polystyrene extruded									
Smooth skin surface (CFC-12 exp.)	1.8–3.5	0.20	—	5.00	—	0.29	—	34.65	
Expanded polystyrene, molded beads	1.0	0.26	—	—	—	—	—	26.3	3.8
	1.25	0.25	—	—	—	—	—	27.8	4.0
	1.5	0.24	—	—	—	—	—	29.1	4.2
	1.75	0.24	—	—	—	—	—	29.1	4.2
	2.0	0.23	—	—	—	—	—	29.8	4.3

TABLE 4.2 Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials (design values)^a (Continued)

Description	Density (lb/ft ³)	Conductivity, k ($\frac{\text{Btu-in.}}{\text{h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}}$)	Conductance, C ($\text{h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$)	Customary Unit		Specific Heat, (Btu/lb-°F)	SI Unit		
				Resistance, R ^b			Resistance, R ^b		
				Per Inch Thickness 1/k	For Thickness Listed, 1/C		(m-K) W	(m ² -ft W	
Cellular polyurethane/polyisocyanurate ^f (CFC-11 exp.) (unfaced).....	1.5	0.16-0.18	—	6.25-5.56	—	0.38	43.82-38.98		
Cellular polyisocyanurate ^f (CFC-11 exp.) (gas-permeable facers)	1.5-2.5	0.16-0.18	—	6.25-5.56	—	0.22	43.82-38.98		
Cellular polyisocyanurate ^g (CFC-11 exp.) (gas-impermeable facers)	2.0	0.14	—	7.20	—	0.22	51.75		
Cellular phenolic (closed cell) (CFC-11, CFC-113 exp.)	3.0	0.12	—	8.20	—	—	58.94		
Cellular phenolic (open cell)	1.8-2.2	0.23	—	4.40	—	—	31.62		
Mineral fiber with resin binder	15	0.29	—	3.45	—	0.17	23.91		
Mineral fiberboard, wet felted									
Core or roof insulation	16-17	0.34	—	2.94	—	—	20.38		
Acoustical tile	18	0.35	—	2.86	—	0.19	19.82		
Acoustical tile	21	0.37	—	2.70	—	—	18.71		
Mineral fiberboard, wet molded									
Acoustical tile ^h	23	0.42	—	2.38	—	0.14	16.49		
Wood or cane fiberboard									
Acoustical tile ^h	0.5 in.	—	0.80	—	1.25	0.31	—	0.22	
Acoustical tile ^h	0.75 in.	—	0.53	—	1.89	—	—	0.33	
Interior finish (plank, tile)	15	0.35	—	2.86	—	0.32	19.82		
Cement fiber slabs (shredded wood with portland cement binder)	25-27	0.50-0.53	—	2.0-1.89	—	—	13.87		
Cement fiber slabs (shredded wood with magnesia oxysulfide binder)	20	0.57	—	1.75	—	0.31	12.16		
LOOSE FILL									
Cellulosic insulation (milled paper or wood pulp)	2.3-3.2	0.27-0.32	—	3.13-3.70	—	0.33	21.69-25.64		
Sawdust or shavings	8.0-15.0	0.35	—	2.22	—	0.33	15.39		
Wood fiber, softwoods	2.0-3.5	0.30	—	3.33	—	0.33	23.08		
Perlite, expanded				2.70	—	0.26	18.71		
	2.0-4.1	0.27-0.31	3.7-3.3						
	4.1-7.4	0.31-0.36	3.3-2.8						
	7.4-11.0	0.36-0.42	2.8-2.4						
Mineral fiber (rock, slag or glass)									
Approx. 3.5 in. (closed sidewall application)	2.0-3.5	—	—		12-14	—	—	—	
Approx.* 3.75-5 in.	0.6-2.0	—	—		11	0.17	—	1.94	

Approx.* 6.5–8.75 in.	0.6–2.0	—	—	19			3.35
Approx.* 7.5–10 in.	0.6–2.0	—	—	22			3.87
Approx.* 10.25–13.75 in.	0.6–2.0	—	—	30			5.28
Vermiculite, exfoliated.	7.0–8.2	0.47	—	2.13	—	3.20	14.76
	4.0–6.0	0.44	—	2.27	—		15.73

MASONRY MATERIALS**CONCRETES**

Cement mortar.	105–135	5.0–10.5	—	0.20–0.10	—	—	1.39–0.69
Gypsum-fiber concrete 87.5% gypsum, 12.5% wood chips.	51	1.66	—	0.60	—	0.21	4.16
Lightweight aggregates including	120	5.5–11.0	—	0.18–0.09	—	—	1.25–0.62
expanded shale, clay or slate;	100	3.7–5.9	—	0.27–0.17	—	0.20	1.87–1.18
expanded slags; cinders; pumice;	80	2.5–3.5	—	0.40–0.29	—	0.20	2.77–2.01
vermiculite; also cellular concretes	60	1.6–1.8	—	0.63–0.56	—	—	4.36–3.88
	40	0.93–1.11	—	1.08–0.90	—	—	7.49–6.24
	30	0.75–0.91	—	1.33–1.10	—	0.20	9.22–7.63
	20	0.63–0.83	—	1.59–1.20	—	—	11.02–8.32
Perlite, expanded.	50	1.4–1.8	—	0.71–0.56	—	—	4.92–3.88
	40	0.93	—	1.08	—	—	7.48
	30	0.71	—	1.41	—	—	9.77
	20	0.50	—	2.00	—	0.32	13.86
Sand and gravel or stone aggregate (oven dried).	140	8.0–16.0	—	0.13–0.06	—	0.18–0.22	0.90–0.42
Sand and gravel or stone aggregate (not dried).	140	10.0–20.0	—	0.10–0.05	—	0.19–0.24	0.69–0.35
Stucco.	116	5.0	—	0.20	—	—	1.39

MASONRY UNITS

Brick, common.	80	2.2–3.2	—	0.45–0.31	—	—	3.12–2.15
	90	2.7–3.7	—	0.37–0.27	—	—	2.56–1.87
	100	3.3–4.3	—	0.30–0.23	—	—	2.08–1.59
	110	3.5–5.5	—	0.29–0.18	—	—	2.01–1.25
	120	4.4–6.4	—	0.23–0.16	—	0.19	1.59–1.11
	130	5.4–9.0	—	0.19–0.11	—	—	1.32–0.76
Clay tile, hollow:							
1 cell deep. 3 in.	—	—	1.25	—	0.80	0.21	0.14
1 cell deep. 4 in.	—	—	0.90	—	1.11	—	0.20
2 cells deep. 6 in.	—	—	0.66	—	1.52	—	0.27
2 cells deep. 8 in.	—	—	0.54	—	1.85	—	0.33
2 cells deep. 10 in.	—	—	0.45	—	2.22	—	0.39
3 cells deep. 12 in.	—	—	0.40	—	2.50	—	0.44
Concrete blocks'							
Limestone aggregate							
8 in., 36 lb, 138 lb/ft ³ concrete, 2 cores.	—	—	—	—	—	—	—
Same with perlite-filled cores	—	—	0.48	—	2.1	—	—
12 in., 55 lb, 138 lb/ft ³ concrete, 2 cores.	—	—	—	—	—	—	—
Same with perlite-filled cores	—	—	0.27	—	3.7	—	—

TABLE 4.2 Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials (design values)^a (Continued)

Description	Density (lb/ft ³)	Conductivity, k ($\frac{\text{Btu}\cdot\text{in.}}{\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}}$)	Conductance, C ($\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$)	Customary Unit		Specific Heat, ($\text{Btu}/\text{lb}\cdot^\circ\text{F}$)	SI Unit	
				Resistance, R ^b			Resistance, R ^b	
				Per Inch Thickness 1/k	For Thickness Listed, 1/C		(m-K) W	(m ² -K) W
Normal weight aggregate (sand and gravel)								
8 in., 33–36 lb, 126–136 lb/ft ³ concrete, 2 or 3 cores	—	—	0.90–1.03	—	1.11–0.97	0.22	—	—
Same with perlite-filled cores	—	—	0.50	—	2.0	—	—	—
Same with verm. filled cores	—	—	0.52–0.73	—	1.92–1.37	—	—	—
12 in., 50 lb, 125 lb/ft ³ concrete, 2 cores	—	—	0.81	—	1.23	0.22	—	—
Medium weight aggregate (combinations of normal weight and lightweight aggregate)								
8 in., 26–29 lb, 97–112 lb/ft ³ concrete, 2 or 3 cores	—	—	0.58–0.78	—	1.71–1.28	—	—	—
Same with perlite-filled cores	—	—	0.27–0.44	—	3.7–2.3	—	—	—
Same with verm. filled cores	—	—	0.30	—	3.3	—	—	—
Same with molded EPS (beads) filled cores	—	—	0.32	—	3.2	—	—	—
Same with molded EPS inserts in cores	—	—	0.37	—	2.7	—	—	—
Lightweight aggregate (expanded shale, clay, slate or slag, pumice)								
6 in., 16–17 lb, 85–87 lb/ft ³ concrete, 2 or 3 cores	—	—	0.52–0.61	—	1.93–1.65	—	—	—
Same with perlite-filled cores	—	—	0.24	—	4.2	—	—	—
Same with verm. filled cores	—	—	0.33	—	3.0	—	—	—
8 in., 19–22 lb, 72–86 lb/ft ³ concrete,	—	—	0.32–0.54	—	3.2–1.90	0.21	—	—
Same with perlite-filled cores	—	—	0.15–0.23	—	6.8–4.4	—	—	—
Same with verm. filled cores	—	—	0.19–0.26	—	5.3–3.9	—	—	—
Same with molded EPS (beads) filled cores	—	—	0.21	—	4.8	—	—	—
Same with UF foam-filled cores	—	—	0.22	—	4.5	—	—	—
Same with molded EPS inserts in cores	—	—	0.29	—	3.5	—	—	—
12 in., 32–36 lb, 80–90 lb/ft ³ concrete, 2 or 3 cores	—	—	0.38–0.44	—	2.6–2.3	—	—	—
Same with perlite-filled cores	—	—	0.11–0.16	—	9.2–6.3	—	—	—
Same with verm. filled cores	—	—	0.17	—	5.8	—	—	—
Stone, lime or sand	—	12.50	—	0.08	—	0.19	—	0.55
Gypsum partition tile:								
3 × 12 × 30 in. solid	—	—	0.79	—	1.26	0.19	—	0.22
3 × 12 × 30 in. 4-cell	—	—	0.74	—	1.35	—	—	0.24
4 × 12 × 30 in. 3-cell	—	—	0.60	—	1.67	—	—	0.29
METALS								
(See ASHRAE Handbook of Fundamentals)								
PLASTERING MATERIALS								
Cement plaster, sand aggregate	116	5.0	—	0.20	—	0.20	—	1.39

Sand aggregate	0.375 in.	—	—	13.3	—	0.08	0.20	0.01
Sand aggregate	0.75 in.	—	—	6.66	—	0.15	0.20	0.03
Gypsum plaster:								
Lightweight aggregate	0.5 in.	45	—	3.12	—	0.32		0.06
Lightweight aggregate	0.625 in.	45	—	2.67	—	0.39		0.07
Lightweight agg. on metal lath	0.75 in.	—	—	2.13	—	0.47		0.08
Perlite aggregate		45	1.5	—	0.67	—	0.32	4.64
Sand aggregate		105	5.6	—	0.18	—	0.20	1.25
Sand aggregate	0.5 in.	105	—	11.10	—	0.09		0.02
Sand aggregate	0.625 in.	105	—	9.10	—	0.11		0.02
Sand aggregate on metal lath	0.75 in.	—	—	7.70	—	0.13		0.02
Vermiculite aggregate		45	1.7	—	0.59	—		4.09

ROOFING								
Asbestos-cement shingles		120	—	4.76	—	0.21	0.24	0.04
Asphalt roll roofing		70	—	6.50	—	0.15	0.36	0.03
Asphalt shingles		70	—	2.27	—	0.44	0.30	0.08
Built-up roofing	0.375 in.	70	—	3.00	—	0.33	0.35	0.06
Slate	0.5 in.	—	—	20.00	—	0.05	0.30	0.01
Wood shingles, plain and plastic film faced		—	—	1.06	—	0.94	0.31	0.17
<i>Spray Applied</i>								
Polyurethane foam		1.5–2.5	0.16–0.18	—	6.25–5.56	—	43.33– 38.54	
Ureaformaldehyde foam		0.7–1.6	0.22–0.28	—	4.55–3.57	—	31.54– 24.75	
Cellulosic fiber		3.5–6.0	0.29–0.34	—	3.45–2.94	—	23.92– 20.38	
Glass fiber		3.5–4.5	0.26–0.27	—	3.85–3.70	—	26.69– 25.65	

SIDING MATERIALS (ON FLAT SURFACE)

Shingles								
Asbestos-cement		120	—	4.75	—	0.21		0.04
Wood, 16 in., 7.5 exposure		—	—	1.15	—	0.87	0.31	0.15
Wood, double, 16-in., 12-in. exposure		—	—	0.84	—	1.19	0.28	0.21
Wood, plus insul. backer board, 0.3125 in.		—	—	0.71	—	1.40	0.31	0.25
Siding								
Asbestos-cement, 0.25 in., lapped		—	—	4.76	—	0.21	0.24	0.04
Asphalt roll siding		—	—	6.50	—	0.15	0.35	0.03
Asphalt insulating siding (0.5 in. bed.)		—	—	0.69	—	1.46	0.35	0.26
Hardboard siding, 0.4375 in.		40	—	0.49	—	0.67	0.28	4.65
Wood, drop, 1 × 8 in.		—	—	1.27	—	0.79	0.28	0.14
Wood, bevel, 0.5 × 8 in., lapped		—	—	1.23	—	0.81	0.28	0.14
Wood, bevel, 0.75 × 10 in., lapped		—	—	0.95	—	1.05	0.28	0.18
Wood, plywood, 0.375 in., lapped		—	—	1.59	—	0.59	0.29	0.1C
Aluminum or steel, / over sheathing								
Hollow-backed		—	—	1.61	—	0.61	0.29	0.1F

TABLE 4.2 Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials (design values)^a (Continued)

Description	Density (lb/ft ³)	Conductivity, k ($\frac{\text{Btu-in.}}{\text{h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}}$)	Conductance, C ($\text{h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$)	Customary Unit		Specific Heat, ($\text{Btu/lb-}^\circ\text{F}$)	SI Unit	
				Resistance, R ^b			Resistance, R ^b	
				Per Inch Thickness 1:k	For Thickness Listed, 1:C		($\frac{\text{m}^2\text{-K}}{\text{W}}$)	($\frac{\text{m}^2\text{-K}}{\text{W}}$)
Insulating-board backed nominal 0.375 in.	—	—	0.55	—	1.82	0.32		0.32
Insulating-board backed nominal 0.375 in., foil backed.....	—	—	0.34	—	2.96			0.52
Architectural glass.....	—	—	10.00	—	0.10	0.20		0.02
WOODS (12% Moisture Content)^{c,k}								
Hardwoods						0.39		
Oak.....	41.2–46.8	1.12–1.25	—	0.89–0.80	—		6.17–5.55	
Birch.....	42.6–45.4	1.16–1.22	—	0.87–0.82	—		6.03–5.68	
Maple.....	39.8–44.0	1.09–1.19	—	0.92–0.84	—		5.68–5.82	
Ash.....	38.4–41.9	1.06–1.14	—	0.94–0.88	—		6.51–6.10	
Softwoods						0.39		
Southern pine.....	35.6–41.2	1.00–1.12	—	1.00–0.89	—		6.93–6.17	
Douglas fir–larch.....	33.5–36.3	0.95–1.01	—	1.06–0.99	—		7.39–6.86	
Southern cypress.....	31.4–32.1	0.90–0.92	—	1.11–1.09	—		7.69–7.56	
Hem–fir, spruce–pine–fir.....	24.5–31.4	0.74–0.90	—	1.35–1.11	—		9.36–7.69	
West Coast woods, cedars.....	21.7–31.4	0.68–0.90	—	1.48–1.11	—		10.26–7.69	
California redwood.....	24.5–28.0	0.74–0.82	—	1.35–1.22	—		9.36–8.46	

Source: Copyright © by the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, Ga. Reprinted by permission from 1989 *Handbook of Fundamentals*.

^a Representative values for dry materials at 75 F. They are intended as design (not specification) values for materials in normal use. Insulation materials in actual service may have thermal values which vary from design values depending on their in-situ properties such as density and moisture content. For properties of a particular product, use the value supplied by the manufacturer or by unbiased tests.

^b Resistance values are the reciprocals of C before rounding off C to two decimal places.

^c Forest Products Laboratory Wood Handbook, USDA Handbook 72, 1974, Tables 3 and 4.

^d Does not include paper backing and facing, if any. Where insulation forms a boundary (reflective or otherwise) of an air space, see Tables 4.3 and 4.4 for the insulating value of air space for the appropriate effective emittance and temperature conditions of the space.

^e Conductivity varies with fiber diameter. Insulation is produced in different densities; therefore, there is a wide variation in thickness for the same R value among manufacturers. No effort should be made to relate any specific R value to any specific thickness. Commercial thicknesses generally available range from 2 to 8.5 in.

^f Values are for aged, unfaced, board stock. For change in conductivity with age of expanded urethane, see 1989 *Handbook of Fundamentals*, chapter 20.

^g Time-aged values for board stock with gas-barrier quality (0.001 in. thickness or greater) aluminum foil facers on two major surfaces.

^h Insulating values of acoustical tile vary, depending on density of the board and on type, size, and depth of perforations.

ⁱ Values for fully grouted block may be approximated using values for concrete with a similar unit weight.

^j Values for metal siding applied over flat surfaces vary widely, depending on amount of ventilation of air space beneath the siding; whether airspace is reflective or nonreflective; and on thickness, type, and application of insulating backing board used. Values given are averages for use as design guides, and were obtained from several guarded hotbox tests (ASTM C236) or calibrated hotbox (ASTM 967) on hollow-backed types and types made using backing boards of wood fiber, foamed plastic, and glass fiber. Departures of ±50% or more from the values given may occur.

^k L. Adams: Supporting cryogenic equipment with wood (*Chemical Engineering*, May 17, 1971). Conductivity values listed are for heat transfer across the grain.

ภาคผนวก ง
ค่าต้านทานความร้อนของอากาศ

ที่มา: Stein, B. and Reynold, J.S. Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8th Edition. New York: John Willy & Sons, 1992.

TABLE 4.3 Surface Conductances, h (Btu/h-ft²-F), and Resistances, R , for Air^a

Position of Surface	Direction of Heat Flow	Surface Emittance					
		Non-reflective $\epsilon = 0.90$		Reflective			
		h_i	R	$\epsilon = 0.20$		$\epsilon = 0.05$	
		h_i	R	h_i	R	h_i	R
Still air							
Horizontal.....	Upward	1.63	0.61	0.91	1.10	0.76	1.32
Sloping (45°)	Upward	1.60	0.62	0.88	1.14	0.73	1.37
Vertical.....	Horizontal	1.46	0.68	0.74	1.35	0.59	1.70
Sloping (45°)	Downward	1.32	0.76	0.60	1.67	0.45	2.22
Horizontal.....	Downward	1.08	0.92	0.37	2.70	0.22	4.55
		h_o	R	h_o	R	h_o	R
Moving air							
(any position)							
15-mph wind	Any	6.00	0.17				
(for winter)							
7.5-mph wind	Any	4.00	0.25				
(for summer)							

NOTE: A surface cannot take credit for both an air space resistance value and a surface resistance value. No credit for an air space value can be taken for any surface facing an air space of less than 0.5 in.

Source: Copyright © by the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA. Reprinted by permission, from 1989 *Handbook of Fundamentals*.

^aConductances are for surfaces of the stated emittance facing virtual blackbody surroundings at the same temperature as ambient air. Values are based on a surface-air temperature difference of 10 F° and for surface temperature of 70 F.

TABLE 4.4 Thermal Resistances of Plane^a Air Spaces

SECTION A

All resistance values expressed in $\text{ft}^2 \cdot \text{F} \cdot \text{h/Btu}$

Values apply only to air spaces of uniform thickness bounded by plane, smooth, parallel surfaces with no leakage of air to or from the space. These conditions are not normally present in standard building construction. When accurate values are required, use overall U -factors determined for your particular construction through calibrated hot box (ASTM C976) or guarded hot box (ASTM-C-236) testing. Thermal resistance values for multiple air spaces must be based on careful estimates of mean temperature differences for each air space.

Position of Air Space	Direction of Heat Flow	Air Space		0.5-in. Air Space ^d					0.75-in. Air Space ^d				
		Mean Temp. ^b (F)	Temp Diff. ^b (deg F)	Value of $E^{b,c}$					Value of $E^{b,c}$				
				0.03	0.05	0.2	0.5	0.82	0.03	0.05	0.2	0.5	0.82
Horiz.	Up ↑	90	10	2.13	2.03	1.51	0.99	0.73	2.34	2.22	1.61	1.04	0.75
		50	30	1.62	1.57	1.29	0.96	0.75	1.71	1.66	1.35	0.99	0.77
		50	10	2.13	2.05	1.60	1.11	0.84	2.30	2.21	1.70	1.16	0.87
		0	20	1.73	1.70	1.45	1.12	0.91	1.83	1.79	1.52	1.16	0.93
		0	10	2.10	2.04	1.70	1.27	1.00	2.23	2.16	1.78	1.31	1.02
		-50	20	1.69	1.66	1.49	1.23	1.04	1.77	1.74	1.55	1.27	1.07
		-50	10	2.04	2.00	1.75	1.40	1.16	2.16	2.11	1.84	1.46	1.20
45° Slope	Up ↗	90	10	2.44	2.31	1.65	1.06	0.76	2.96	2.78	1.88	1.15	0.81
		50	30	2.06	1.98	1.56	1.10	0.83	1.99	1.92	1.52	1.08	0.82
		50	10	2.55	2.44	1.83	1.22	0.90	2.90	2.75	2.00	1.29	0.94
		0	20	2.20	2.14	1.76	1.30	1.02	2.13	2.07	1.72	1.28	1.00
		0	10	2.63	2.54	2.03	1.44	1.10	2.72	2.62	2.08	1.47	1.12
		-50	20	2.08	2.04	1.78	1.42	1.17	2.05	2.01	1.76	1.41	1.16
		-50	10	2.62	2.56	2.17	1.66	1.33	2.53	2.47	2.10	1.62	1.30
Vertical	Horiz. →	90	10	2.47	2.34	1.67	1.06	0.77	3.50	3.24	2.08	1.22	0.84
		50	30	2.57	2.46	1.84	1.23	0.90	2.91	2.77	2.01	1.30	0.94
		50	10	2.66	2.54	1.88	1.24	0.91	3.70	3.46	2.35	1.43	1.01
		0	20	2.82	2.72	2.14	1.50	1.13	3.14	3.02	2.32	1.58	1.18
		0	10	2.93	2.82	2.20	1.53	1.15	3.77	3.59	2.64	1.73	1.26
		-50	20	2.90	2.82	2.35	1.76	1.39	2.90	2.83	2.36	1.77	1.39
		-50	10	3.20	3.10	2.54	1.87	1.46	3.72	3.60	2.87	2.04	1.56
45° Slope	Down ↘	90	10	2.48	2.34	1.67	1.06	0.77	3.53	3.27	2.10	1.22	0.84
		50	30	2.64	2.52	1.87	1.24	0.91	3.43	3.23	2.24	1.39	0.99
		50	10	2.67	2.55	1.89	1.25	0.92	3.81	3.57	2.40	1.45	1.02
		0	20	2.91	2.80	2.19	1.52	1.15	3.75	3.57	2.63	1.72	1.26
		0	10	2.94	2.83	2.21	1.53	1.15	4.12	3.91	2.81	1.80	1.30
		-50	20	3.16	3.07	2.52	1.86	1.45	3.78	3.65	2.90	2.05	1.57
		-50	10	3.26	3.16	2.58	1.89	1.47	4.35	4.18	3.22	2.21	1.66
Horiz.	Down ↓	90	10	2.48	2.34	1.67	1.06	0.77	3.55	3.29	2.10	1.22	0.85
		50	30	2.66	2.54	1.88	1.24	0.91	3.77	3.52	2.38	1.44	1.02
		50	10	2.67	2.55	1.89	1.25	0.92	3.84	3.59	2.41	1.45	1.02
		0	20	2.94	2.83	2.20	1.53	1.15	4.18	3.96	2.83	1.81	1.30
		0	10	2.96	2.85	2.22	1.53	1.16	4.25	4.02	2.87	1.82	1.31
		-50	20	3.25	3.15	2.58	1.89	1.47	4.60	4.41	3.36	2.28	1.69
		-50	10	3.28	3.18	2.60	1.90	1.47	4.71	4.51	3.42	2.30	1.71

Position of Air Space	Direction of Heat Flow	Air Space		1.5-in. Air Space ^d					3.5-in. Air Space ^d				
		Mean Temp. ^b (F)	Temp Diff. ^b (deg F)	Value of $E^{b,c}$					Value of $E^{b,c}$				
				0.03	0.05	0.2	0.5	0.82	0.03	0.05	0.2	0.5	0.82
Horiz	Up ↑	90	10	2.55	2.41	1.71	1.08	0.77	2.84	2.66	1.83	1.13	0.80
		50	30	1.87	1.81	1.45	1.04	0.80	2.09	2.01	1.58	1.10	0.84
		50	10	2.50	2.40	1.81	1.21	0.89	2.80	2.66	1.95	1.28	0.93
		0	20	2.01	1.95	1.63	1.23	0.97	2.25	2.18	1.79	1.32	1.03
		0	10	2.43	2.35	1.90	1.38	1.06	2.71	2.62	2.07	1.47	1.12
		-50	20	1.94	1.91	1.68	1.36	1.13	2.19	2.14	1.86	1.47	1.20
45° Slope	Up ↗	90	10	2.92	2.73	1.86	1.14	0.80	3.18	2.96	1.97	1.18	0.82
		50	30	2.14	2.06	1.61	1.12	0.84	2.26	2.17	1.67	1.15	0.86
		50	10	2.88	2.74	1.99	1.29	0.94	3.12	2.95	2.10	1.34	0.96
		0	20	2.30	2.23	1.82	1.34	1.04	2.42	2.35	1.90	1.38	1.06
		0	10	2.79	2.69	2.12	1.49	1.13	2.98	2.87	2.23	1.54	1.16
		-50	20	2.22	2.17	1.88	1.49	1.21	2.34	2.29	1.97	1.54	1.25
Vertical	Horiz. →	90	10	3.99	3.66	2.25	1.27	0.87	3.69	3.40	2.15	1.24	0.85
		50	30	2.58	2.46	1.84	1.23	0.90	2.67	2.55	1.89	1.25	0.91
		50	10	3.79	3.55	2.39	1.45	1.02	3.63	3.40	2.32	1.42	1.01
		0	20	2.76	2.66	2.10	1.48	1.12	2.88	2.78	2.17	1.51	1.14
		0	10	3.51	3.35	2.51	1.67	1.23	3.49	3.33	2.50	1.67	1.23
		-50	20	2.64	2.58	2.18	1.66	1.33	2.82	2.75	2.30	1.73	1.37
45° Slope	Down ↘	90	10	5.07	4.55	2.56	1.36	0.91	4.81	4.33	2.49	1.34	0.90
		50	30	3.58	3.36	2.31	1.42	1.00	3.31	3.30	2.28	1.40	1.00
		50	10	5.10	4.66	2.85	1.60	1.09	4.74	4.36	2.73	1.57	1.08
		0	20	3.85	3.66	2.68	1.74	1.27	3.81	3.63	2.66	1.74	1.27
		0	10	4.92	4.62	3.16	1.94	1.37	4.39	4.32	3.02	1.88	1.34
		-50	20	3.62	3.50	2.80	2.01	1.54	3.77	3.64	2.90	2.05	1.57
Horiz.	Down ↓	90	10	6.09	5.35	2.79	1.43	0.94	10.07	8.19	3.41	1.57	1.00
		50	30	6.27	5.63	3.18	1.70	1.14	9.60	8.17	3.86	1.88	1.22
		50	10	6.61	5.90	3.27	1.73	1.15	11.15	9.27	4.09	1.93	1.24
		0	20	7.03	6.43	3.91	2.19	1.49	10.90	9.52	4.87	2.47	1.62
		0	10	7.31	6.66	4.00	2.22	1.51	11.97	10.32	5.08	2.52	1.64
		-50	20	7.73	7.20	4.77	2.85	1.99	11.64	10.49	6.02	3.25	2.18
		-50	10	8.09	7.52	4.91	2.89	2.01	12.98	11.56	6.36	3.34	2.22

ภาคผนวก จ

ค่าต้านทานความร้อนของระบบหลังคาในงานวิจัย

ค่าวัสดุหลังคามือใช้หลังคาโลหะกับฉนวนใยแก้ว

	ชนิดวัสดุ	ความหนา (in)	1/k	ค่า R (MEEB) heat flow up (h*ft ² *F)/Btu	ค่า R (MEEB) heat flow down (h*ft ² *F)/Btu
1	ฟิล์มอากาศด้านนอก			0.250	0.250
2	หลังคาโลหะ	0.0078(0.2ม.ม.)		0.042	0.042
3	ช่องว่างอากาศ (E= 0.05)			2.960	4.330
4	ฉนวนใยแก้ว	8.000	3.846	30.768	30.768
5	ไม้ฉัด	0.236	1.25	0.300	0.300
6	ฟิล์มอากาศด้านใน			0.620	0.760
	รวม			34.940	36.450
	ค่า U			0.03	0.03

ค่าวัสดุหลังคามือใช้หลังคาซิงเกิลกับฉนวนใยแก้ว

	ชนิดวัสดุ	ความหนา (in)	1/k	ค่า R (MEEB) heat flow up (h*ft ² *F)/Btu	ค่า R (MEEB) heat flow (h*ft ² *F)/Btu
1	ฟิล์มอากาศด้านนอก			0.250	0.250
2	หลังคาซิงเกิล	0.500		0.440	0.440
3	ช่องว่างอากาศ (E= 0.05)			2.960	4.330
4	ฉนวนใยแก้ว	8.000	3.846	30.768	30.768
5	ไม้ฉัด	0.236	1.25	0.300	0.300
6	ฟิล์มอากาศด้านใน			0.620	0.760
	รวม			35.338	36.848
	ค่า U			0.03	0.03

หมายเหตุ ค่าความต้านทานทางความร้อน (R)

$$1(h \cdot \text{sq. ft.} \cdot \text{degree F})/\text{Btu} = 0.176 (\text{sq. m.} \cdot \text{degree C})/\text{W}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (U)

$$1 \text{ Btu}/(\text{h} \cdot \text{sq. ft.} \cdot \text{degree F}) = 5.673 \text{ W}/(\text{sq. m.} \cdot \text{degree C})$$

ภาคผนวก จ

ประมวลคำศัพท์ในการวิจัย

การลอยตัวของอากาศร้อน (Stack Effect / Chimney Effect)

คือ ปรากฏการณ์ที่อากาศร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็น จึงลอยตัวสูงขึ้นไปในอากาศเบื้องบน ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่จุดสูงสุดสูงกว่า (ร้อนกว่า) อุณหภูมิที่อยู่ข้างล่าง ในกรณีนี้หากมีช่องเปิดทั้งข้างล่างและข้างบน ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศออกทางส่วนบนสุดของอาคาร และอากาศดังกล่าวจะถูกแทนที่ด้วยอากาศที่เย็นกว่าจากช่องเปิดด้านล่าง

การหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Thermal Time Lag, Time Lag)

ส่วนใหญ่จะนิยมใช้คำว่า 'Time Lag' แทนคำว่า 'Thermal Time Lag' ในความหมายเดียวกันซึ่งหมายถึง ระยะเวลาที่ความร้อนเคลื่อนที่จากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังหรือหลังคาอาคาร กระบวนการเคลื่อนที่ของความร้อนดังกล่าวอาจเกิดขึ้นล่าช้าออกไปอันเป็นเนื่องมาจากอิทธิพลของมวลสารและความจุความร้อนของผนัง โดยทั่วไปสำหรับผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ความล่าช้าดังกล่าวอาจนานถึง 4 ชั่วโมง นั่นก็หมายความว่า ความร้อนที่เกิดจากด้านหนึ่งของผนังต้องใช้เวลานาน 4 ชั่วโมง กว่าที่จะเคลื่อนตัวไปสู่อีกด้านหนึ่งของผนัง

บีทียู (Btu)

คือ หน่วยที่ใช้วัดพลังงานความร้อน โดยกำหนดให้ปริมาณความร้อน 1 บีทียู หมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ ร้อนขึ้น 1 องศาเรนไฮด์

เปลือกอาคาร (Building Envelope)

หมายถึงทุกส่วนของอาคารที่สัมผัสกับอากาศภายนอก

สภาวะน่าสบาย

หมายถึงสภาวะที่ร่างกายไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวเกินไป โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 6 ตัวแปร คือ (1) อุณหภูมิอากาศ (2) ความชื้นสัมพัทธ์ (3) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (4) ความเร็วลม (5) อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย และ (6) เสื้อผ้าที่สวมใส่

ความจุความร้อน (Heat Capacity)

หมายถึงความสามารถในการกักเก็บความร้อนของสสาร ถ้าสสาร 2 ชนิดที่มีความจุความร้อนต่างกันแล้วจะพบว่า สสารที่มีความจุความร้อนเมื่อได้รับความร้อนก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นช้ากว่าสสารที่มีความจุความร้อนน้อย ในอาคารมีสสารที่จัดว่ามีความจุความร้อนมากหลายชนิด เช่น คอนกรีต หิน อิฐ เป็นต้น สำหรับการประหยัดพลังงานในด้านระบบปรับอากาศ พบว่าห้องใดที่มีค่าความจุความร้อนมาก (เช่น ห้องที่มีผนังทำด้วย ค.ส.ล.) เมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศครั้งแรก จะต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศมากกว่าห้องที่มีความจุความร้อนน้อย (เช่น ห้องที่มีผนังทำด้วยไม้อัดหรือยิปซัมบอร์ด) ส่วนใหญ่ในเรื่องของการประหยัดพลังงาน เมื่อกล่าวถึงเรื่องของมวลสาร(Mass) จะพบว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก ก็จะมีค่าความจุความร้อนมากด้วย ดังนั้นบ่อยครั้งจึงมักใช้คำว่า มวลสาร แทนความหมายของคำว่า ความจุความร้อน

จุดน้ำค้าง (Dew Point)

เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำเกิดการควบแน่นจากอากาศ ในขณะที่อุณหภูมิลดลง

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient หรือ U-Value)

คือ ปริมาณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำพาหรือการพา ต่อหนึ่งองศาของความแตกต่าง ระหว่างด้านที่ร้อนกว่าไปยังพื้นผิวด้านที่เย็นกว่า ในระบบ SI หน่วยของค่า U เป็นวัตต์ต่อตารางเมตรต่อความแตกต่างอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสเคลวิน ($W / m^2 \cdot K$) ในขณะที่ในระบบ I-P มีหน่วยเป็นบีทียูต่อตารางฟุตต่อชั่วโมงต่อความแตกต่างอุณหภูมิ 1 องศาฟาเรนไฮต์ ($Btu / ft^2 \cdot h \cdot F$) ในการคำนวณค่า U สามารถหาได้จากส่วนกลับของค่าความต้านทานรวม (ค่า R) หรือเขียนเป็นสมการได้คือ โดยที่ค่า R จะเป็นผลรวมของค่าความต้านทานของผนังทั้งหมดและค่าความต้านทานของฟิล์มอากาศภายนอก ด้วยเหตุนี้ความเร็วลมจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า R และค่า U ด้วย เนื่องจากมีความเร็วลมเปลี่ยนแปลงไป ค่าความต้านทานของฟิล์มอากาศก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย (รายละเอียดเพิ่มเติมในเรื่องนี้สามารถศึกษาจากASHRAE Handbook of Fundamental)

อากาศภายนอก (Outside Air)

หมายถึง อากาศที่อยู่หรือนำเข้ามาจากภายนอกอาคาร

อากาศหมุนเวียน (Recirculating Air)

หมายถึง ส่วนของอากาศจากห้องที่มีการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่โดยวิธีกล

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – bulb Temperature)

หมายถึง ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถบันทึกได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์หรือเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดอื่นๆ ซึ่งตัวรับรู้ (Sensor) ถูกห่อหุ้มด้วยผ้าหรือลวดชุบน้ำ และมีความเร็วลมหรืออากาศพัดผ่านจนทำให้เกิดการระเหยของน้ำในบริเวณนั้น อันจะเป็นผลทำให้อุณหภูมิจากกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์หรือตัวรับรู้ นั้นเย็นลงจนถึงจุดคงที่และอ่านค่าอุณหภูมิที่อ่านได้คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb Temperature)

หมายถึง อุณหภูมิของวัตถุที่สามารถอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไปหรือเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยปกติจะต้องควบคุมไม่ให้ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของแหล่งกำเนิดความร้อนต่างๆ เช่น ดวงอาทิตย์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดการดูดซับความร้อนระหว่างตัวรับรู้และแหล่งกำเนิดความร้อน

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)

หมายถึง อุณหภูมิของอากาศอิ่มตัวหรืออุณหภูมิที่อากาศถูกทำให้เย็นลงก่อนเกิดการควบแน่น

ประวัติผู้เขียน

นายอภิรัช พรหมสิริแสง เกิดวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ.2516 ที่เขตดุสิต จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา 2540 ได้ประกอบวิชาชีพสถาปัตยกรรมในตำแหน่ง สถาปนิก บริษัท ไลน์ อาคีเทคส์ และในตำแหน่ง สถาปนิก4 กรมราชทัณฑ์ ตามลำดับ จากนั้น ได้เข้าศึกษา ต่อในหลักสูตร สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย