

การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น



นาย พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-173-253-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY TO DEVELOP A PROTOTYPE OF TROPICAL ROOF SYSTEM TO REDUCE HEAT GAIN



Mr. Promsit Sroyraya

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

Inter-Departmental Program in Architecture

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2002


ISBN 974-173-253-8


หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการ
ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น
โดย : นาย พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า
สาขาวิชา : สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสันต์ บุรณากาญจน์


คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

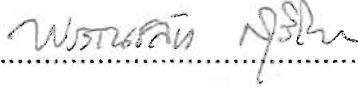

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสันต์ บุรณากาญจน์)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)


..... กรรมการ
(อ. พรรณชลัท สุริโยธิน)

พจนมสิทธิ์ สร้อยระย้า : การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น. (A STUDY TO DEVELOP A PROTOTYPE OF TROPICAL ROOF SYSTEM TO REDUCE HEAT GAIN). อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วรสิทธิ์ บุรณากาญจน์. จำนวนหน้า : 131 หน้า. ISBN : 974-173-253-8

ความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการอยู่อาศัยในอาคารเขตร้อนชื้น หลังคาเป็นส่วนของอาคารที่ได้รับปริมาณความร้อนถ่ายเทจากภายนอกมากที่สุด จึงเป็นสาเหตุของการเพิ่มภาระการปรับอากาศภายในอาคาร การวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อแสวงหาต้นแบบของระบบหลังคามวลสารน้อยเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น โดยการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา และนำตัวแปรนั้นมาประยุกต์ใช้ในการสร้างต้นแบบระบบหลังคามวลสารน้อยเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร เพื่อเป็นการควบคุมตัวแปรที่จะศึกษาจึงได้สร้างอาคารทดลองขนาด กว้าง 4.40 เมตร ยาว 7.90 เมตร และสูง 2.85 เมตร ผนังทุกด้านสร้างด้วยฉนวน ด้านบนของอาคารทดลองติดตั้งหลังคาสำหรับการทดสอบขนาด กว้าง 0.90 เมตร ยาว 0.90 เมตร จำนวน 4 หลัง การทดลองทั้งหมดทำในสภาพปรับอากาศ บันทึกข้อมูลการทดลองทุก 15 นาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

กระบวนการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามวัตถุประสงค์การวิจัย ส่วนที่ 1 ศึกษาตัวแปรและเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านหลังคาที่มีมุมองศาต่างกัน คือ 15 องศา 30 องศา 45 องศา และ 60 องศา พบว่าในช่วงเวลากลางวันหลังคา 60 องศา มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกน้อยที่สุด มีค่า 19.15 บีทียูต่อชั่วโมง ส่วนที่ 2 ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของระบบหลังคา โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด ชุดที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างระบบหลังคาต่างชนิดกัน พบว่าระบบหลังคาเหล็กรีดลอนที่ติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว ในแนวราบมีปริมาณความร้อนเฉลี่ยถ่ายเทเข้ามาน้อย มีค่า 28.92 บีทียูต่อชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาเหล็กรีดลอนที่ไม่มีการติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีน ชุดที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายความร้อนและการกันความร้อนระหว่างระบบหลังคาที่ใช้วัสดุผนังหลังคาต่างกันคือ ขาว เขียว ดำ พบว่าวัสดุหลังคาสีดำมีปริมาณความร้อนที่ผิวหลังคามากที่สุด ชุดที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนหนา 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว พบว่าฉนวนหนา 6 นิ้ว มีปริมาณความร้อนถ่ายเทเข้ามาน้อยกว่า

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งหลังคา 60 องศา สามารถลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับหลังคา 15 องศา การพาความร้อนของอากาศในช่องว่างอากาศระบายความร้อนใต้หลังคาเหล็กรีดลอนสีดำสามารถลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร 18.38 % เมื่อใช้ควบคู่กับฉนวนหนา 6 นิ้ว สามารถลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอก 90.28 % เมื่อเทียบกับหลังคาเหล็กรีดลอนที่ไม่มีฉนวน

ภาควิชา _____ สถาบันวิศวกรรมศาสตร์ _____
สาขาวิชา _____ สถาบันวิศวกรรม _____
ปีการศึกษา _____ 2545 _____

ลายมือชื่อนิสิต _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

4474184525 : MAJOR ARCHITECT

KEY WORD : 974 / 173 / 253 / 8

PROMSIT SROYRAYA : A STUDY TO DEVELOP A PROTOTYPE OF TROPICAL ROOF SYSTEM TO REDUCE HEAT GAIN : ASST. PROF. VORASUN BURANAKARN, Ph.D. 131 PP. ISBN : 974-173-253-8

Heat is an important factor that affects the resident in tropical climates. The roof is a part of the building that obtains the maximum heat and that causes the increase in the air-conditioning. The objective of this research is to analyze and search for the model roof that can be developed to stop heat gain in the tropical climates by studying the variables that effect heat gain and apply it for the model roof creation. To control the variables a experimental building was created which is 4.40 m wide, 7.90m long and 2.85 m high. The wall were made of polystyrene insulation and 4 of the houses are equipped with the roof's model which are 0.90 m wide and 0.90 m long. This experiment is carried out in an air-conditioned place. The data was recorded in every 15 minutes for 48 hours.

The research has been divided into 2 parts. The first part deals with the variables and then compares the result of the heat transfer into the roof with different angles: 15 degrees, 30 degrees, 45 degrees and 60 degrees. The results of this experiment showed that during the daytime, the least heat gain into building was the roof with 60 degrees at 19.15 Btu/hr. The second part was to compare the effectiveness of the roof system in term of reducing the heat gain. The experiment was divided into 3 sets. The first set was comparing the different roof system and found that heat enters the roof insulated horizontally the least which account at 28.92 Btu/hr if comparing with metal sheet roof without installation. The second set was comparing the heat loss and heat gain in the roof system by color indicators which are white, green, and black. The roof with black sheet material has the highest heat gain. The third set was a comparison between the roof insulated with 3-inch-thick insulation and 6-inch-thick and found that 6-inch-thick insulation had the least heat transfer.

It can be concluded that the heat from the sun is the strongest factor that effects the heat transferring into the building. Generally the roof at 60 degrees is better at preventing heat gain when compared with the 15 degree roof. The heat transferring under the cavity of the black roof can reduce the heat loss at a 18.38% rate and in use together with 6-inch-thick horizontal insulation would be able to reduce the heat gain 90.28% compared to the metal sheet roof without insulation.

Department Architecture
Field of study Architecture
Academic year 2002

Student's signature.....

Advisor's signature.....



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ เนื่องจากได้รับการอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคล และองค์กร
ต่างๆ ดังนี้

บิดา - มารดา สำหรับทุกสิ่งทุกอย่าง

ศ. ดร. สุนทร บุญญาธิการ และผศ. ดร. วรสันต์ บุรณากาญจน์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาท
วิชา และให้คำปรึกษาต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในงานวิจัย และการใช้งานจริง

กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แผนงานสนับสนุน โครงการพัฒนาบุคคล ที่ให้
ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือสนับสนุนเงินทุนวิจัย

อาจารย์ประจำภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อ และอำนวยความสะดวก
สะดวก ในการติดต่อประสานงานเป็นอย่างดี

คุณ ชลิตา สันตติทรัพย์ ที่ช่วยแก้ไขภาษาเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

คุณเยาวรัตน์ สำหรับกำลังใจ และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ที่จุ่ม ที่สละเวลาอันมีค่าเรียบเรียง แปลบทคัดย่อ และให้ความช่วยเหลือในด้านภาษา

แจ้ว ที่คอยเป็นแรงใจ มีความเข้าใจ และให้ความช่วยเหลือเรื่อยมา

เพื่อนๆ ร่วมภาควิชาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อมาตลอด

และท่านอื่นๆ ที่มีได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ครับ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตารางประกอบ.....	ญ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิประกอบ.....	ฏ
บทที่1: บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
คำศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย.....	6
บทที่2: เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 อิทธิพลจากดวงอาทิตย์.....	7
2.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร.....	11
2.3 อิทธิพลการแผ่รังสีของพื้นผิว.....	16
2.4 การระบายอากาศ (Ventilation).....	18
2.5 การปรับอากาศ.....	21
2.6 การใช้ช่องว่างอากาศป้องกันความร้อน (Cavity Resistance).....	24
2.7 วัสดุฉนวนหลังคา.....	26
2.8 ฉนวน.....	28
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่3: วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1 การเตรียมการวิจัย.....	40
3.1.1 การเตรียมสถานที่ทดลอง.....	40
3.1.2 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	41
3.1.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	42
3.1.4 การเตรียมอาคารทดลองและหลังคาทดลอง.....	42
3.2 การเตรียมการทดลอง.....	46
3.2.1 ทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคา.....	47
3.2.2 ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกันความร้อน และการระบายความร้อนภายในช่องว่างระบายอากาศใต้หลังคา.....	50
3.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	54
3.4 สรุปผล และเสนอแนะ.....	54
บทที่4: การวิเคราะห์การวิจัย.....	55
4.1 การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ผ่านหลังคาที่มีมุมมองต่างกัน.....	55
4.2 การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ผ่านหลังคาในทิศทางที่ต่างกัน.....	64
4.3 การทดสอบผลกระทบของมวลสารวัสดุผนังหลังคาที่ต่างกัน.....	67
4.4 การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของระบบหลังคา ที่วางฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่ต่างกัน.....	74
4.5 การศึกษาเปรียบเทียบการกันความร้อนและการระบายความร้อน ของวัสดุผนังหลังคาที่ต่างกัน.....	82
4.6 การศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของฉนวนที่มีความหนาต่างกัน.....	89
บทที่5: บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	104
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	104
5.2 ข้อเสนอแนะวิจัย.....	107

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง.....	108
ภาคผนวก.....	111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	115



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณพลังงานต่าง ๆ จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลก.....	8
ตารางที่ 2.2 แสดงค่า K ในอัตราส่วนระหว่างช่องลมเข้า - ออก ที่ต่างกัน.....	20
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่หลังคา.....	63



สถาบันวิทยบริการ
 าลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 Solar radiation on earth.....	7
ภาพที่ 2.2 The solar spectrum in space and on earth's surface.....	8
ภาพที่ 2.3 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์สู่พื้นผิวในลักษณะต่างๆ.....	9
ภาพที่ 2.4 Solar radiation on a surface.....	10
ภาพที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ การดูดซับรังสี การสะท้อนรังสี และการส่งผ่านรังสีในวัสดุ.....	17
ภาพที่ 2.6 Stack Ventilation.....	19
ภาพที่ 2.7 การใช้ช่องว่างอากาศใต้หลังคาป้องกันการส่งผ่านความร้อนจากภายนอก.....	25
ภาพที่ 2.8 ภาพถ่ายอาคารทดลอง.....	37
ภาพที่ 2.9 ภาพถ่ายอาคารทดลองในทิศตะวันออก.....	38
ภาพที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่กระทบหลังคาที่มี มุมมองต่างกัน.....	103
ภาพที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบการคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าของหลังคาที่มี มุมมองต่างกัน.....	104

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิประกอบ

หน้า

แผนภูมิที่ 1.1 แสดงการใช้ไฟฟ้าเปรียบเทียบในส่วนของที่พักอาศัย ภาคธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2539 – 2543.....	1
แผนภูมิที่ 4.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิ ในตำแหน่งที่ต่างกันของหลังคา 15 องศา.....	56
แผนภูมิที่ 4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิ ในตำแหน่งที่ต่างกันของหลังคา 30 องศา.....	57
แผนภูมิที่ 4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิ ในตำแหน่งที่ต่างกันของหลังคา 45 องศา.....	58
แผนภูมิที่ 4.4 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิ ในตำแหน่งที่ต่างกันของหลังคา 60 องศา.....	59
แผนภูมิที่ 4.5 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิในของหลังคาที่มีองศาต่างกัน.....	60
แผนภูมิที่ 4.6 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเหล็กรีดลอน ที่มีมุม องศาต่างกันในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง.....	62
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคาภายนอกของหุ่นจำลอง ที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน.....	65
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคา สูงสุด /เฉลี่ย ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่หันทิศทางหลังคาแตกต่างกัน.....	66
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวของหลังคาสังกะสีที่มีมุมเอียง หลังคา 30.....	68
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวของหลังคากระเบื้องดินเผาที่มีมุมเอียง หลังคา 30.....	69

สารบัญแผนภูมิประกอบ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคาคอนกรีตที่มีมุมเอียง 30.....	70
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยผิวบนของวัสดุหลังคาชนิดต่าง กันแบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ.....	71
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุหลังคาชนิดต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ.....	72
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวล่าง ของวัสดุหลังคาชนิด ต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ.....	73
แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของ ระบบหลังคาเหล็กกรีดลอนที่ไม่มีฉนวนโฟมโพลีสไตรีน.....	75
แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของ ระบบหลังคาเหล็กกรีดลอนที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 2 ชั้น.....	76
แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของ ระบบหลังคาเหล็กกรีดลอนที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวจันทัน.....	77
แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของ ระบบหลังคาเหล็กกรีดลอนที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ.....	78
แผนภูมิที่ 4.19 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของระบบ หลังคาเหล็กกรีดลอนที่ต่างกัน.....	79
แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่อาคารผ่านระบบ หลังคาที่ต่างกัน.....	81

สารบัญแผนภูมิประกอบ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อปีที่ใช้ในการปรับอากาศของระบบหลังคาที่ต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ.....	81
แผนภูมิที่ 4.22 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของ ระบบหลังคาเหล็กกริดลอนสีขาวที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ.....	83
แผนภูมิที่ 4.23 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของ ระบบหลังคาเหล็กกริดลอนสีเขียวที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ.....	84
แผนภูมิที่ 4.24 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของ ระบบหลังคาเหล็กกริดลอนสีดำที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ.....	85
แผนภูมิที่ 4.25 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิที่ผิวหลังคาของระบบหลัง คาเหล็กกริดลอนที่ใช้วัสดุฉนวนหลังคาต่างกัน.....	86
แผนภูมิที่ 4.26 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิที่ผิวหลังคาของระบบหลัง คาเหล็กกริดลอนที่ใช้วัสดุฉนวนหลังคาต่างกัน (ในช่วงเวลา 15:00 น. ถึง 6:00 น.).....	87
แผนภูมิที่ 4.27 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของระบบ หลังคาเหล็กกริดลอนที่ใช้วัสดุฉนวนหลังคาต่างกัน.....	88
แผนภูมิที่ 4.28 เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุด ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ระหว่างอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิผิวหลังคา และอุณหภูมิที่ผิวฝ้าของระบบหลังคาที่ใช้วัสดุฉนวนหลังคาที่ต่างกัน.....	90
แผนภูมิที่ 4.29 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ระหว่างอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิผิวหลังคา และอุณหภูมิที่ผิวฝ้าของระบบหลังคาที่ใช้วัสดุฉนวนหลังคาที่ต่างกัน.....	91
แผนภูมิที่ 4.30 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทโดยการพาความร้อนของอากาศในช่องว่าง ใต้หลังคา เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงของระบบหลังคาที่ใช้วัสดุฉนวนหลังคาที่ ต่างกัน.....	91

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.31 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ผ่านระบบหลังคาที่ใช้วัสดุคุมุงหลังคาที่ต่างกัน.....	92
แผนภูมิที่ 4.32 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อปีจากการปรับอากาศแบ่งตามช่วงเวลาที่แตกต่างกันของระบบหลังคาที่ใช้วัสดุคุมุงหลังคาต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ	93
แผนภูมิที่ 4.33 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้วในแนวราบ.....	95
แผนภูมิที่ 4.34 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 6 นิ้วในแนวราบ.....	96
แผนภูมิที่ 4.35 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของระบบหลังคาเหล็กรีดลอนที่ใช้ฉนวนหนาต่างกัน	97
แผนภูมิที่ 4.36 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนาต่างกัน.....	98
แผนภูมิที่ 4.37 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ระหว่างอุณหภูมิอากาศ กับอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของระบบหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนที่มีความหนาต่างกัน.....	99
แผนภูมิที่ 4.38 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนที่มีความหนาต่างกัน.....	99
แผนภูมิที่ 4.39 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจากการปรับอากาศของระบบหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนที่มีความหนาต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ	101
แผนภูมิที่ 4.40 เปรียบเทียบระยะเวลาคุ้มทุนของระบบหลังคาต่างๆ.....	102

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจากการปรับอากาศของหลังคาที่มีองศาต่างกัน.....	104
แผนภูมิที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจากการปรับอากาศของระบบหลังคาต่างๆ.....	106



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

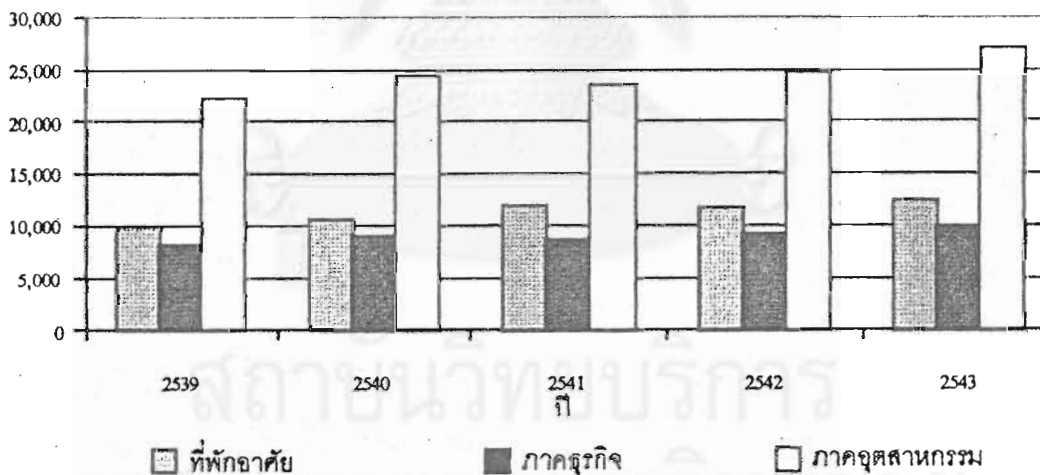
บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของที่อยู่อาศัยในประเทศไทยมากที่สุดคือความร้อน เพราะแม้แต่ในอดีตอุณหภูมิปกติในเวลากลางวันก็สูงกว่าเขตสบายอยู่แล้ว ในสภาวะปัจจุบันอุณหภูมิโดยเฉลี่ยในประเทศไทยก็ยิ่งเพิ่มสูงขึ้นกว่าในอดีต (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) ส่งผลกระทบต่อการอยู่อาศัยของผู้ใช้อาคารให้อยู่นอกเขตสภาวะน่าสบาย โดยก่อให้เกิดการเพิ่มภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของเครื่องปรับอากาศและการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก เป็นเหตุให้มีการใช้พลังงานต่างๆ อย่างสิ้นเปลืองเพื่อนำมาตอบสนองความต้องการของผู้ใช้อาคารอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย โดยการนำระบบปรับอากาศเข้ามาปรับช่วยปรับสภาวะน่าสบายภายในอาคาร ก่อให้เกิดวิกฤตการณ์ทางสภาพแวดล้อมและการขาดแคลนพลังงาน โดยเฉพาะพลังงานงานไฟฟ้า

ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Gwh.)



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงการใช้ไฟฟ้าเปรียบเทียบในส่วนของที่พักอาศัย ภาคธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2539 - 2543

ที่มา สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรื.

ELECTRICITY CONSUMPTION IN PEA AREA[Online]. (n.d.).

Available : <http://www.nepo.go.th/info/T38.html>

แผนภูมิที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แบ่งจากแหล่งการใช้งานประเภทต่างๆ พบว่าประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกปี จึงเป็นเหตุให้รัฐบาลต้องเพิ่มปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน โดยเฉพาะการใช้ไฟฟ้าในสวนที่พักอาศัยที่มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 11.8 ซึ่งถือว่าเป็นอัตราที่สูงมากเมื่อเทียบกับภาคธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรมที่มีอัตราที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.6 ความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้หลายๆ ฝ่าย เริ่มวิตกกังวลถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นตามมาเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่ในประเทศไทยเป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด และกำลังจะหมดไป จึงต้องมีการออก พ.ร.บ.ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน อิทธิพลจากการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อการทำให้อุณหภูมิภายในอาคารมีระดับสูงขึ้น หลังคาเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มากที่สุด เป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นในส่วนของพื้นที่ใช้งานใต้หลังคา และต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการศึกษาวិเคราะห์ตัวแปรเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารทางหลังคาเพื่อนำมาเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการออกแบบปรับปรุงระบบหลังคา จึงเป็นการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และเป็นแนวทางในการใช้พลังงานในอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารผ่านหลังคาที่มีความลาดเอียงต่างกัน
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบ ตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารผ่านระบบหลังคาที่ต่างกัน มาใช้เป็นแนวทางการออกแบบปรับปรุงหลังคาที่เหมาะสมต่อภูมิภาคเขตร้อนชื้นในเรื่องการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา
3. เพื่อวิเคราะห์ และเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศ ความเหมาะสม และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบหลังคาที่ได้ทำการออกแบบปรับปรุง

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยในเดือนเมษายนเพื่อเป็นตัวแทนสภาพภูมิอากาศของเขตร้อนชื้นตลอดทั้งปี
2. ทำการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยในเขต กรุงเทพฯ และปริมณฑลเพื่อเป็นตัวแทนสภาพแวดล้อมของอาคารในเขตร้อนชื้น
3. ทำการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยด้วยหุ่นจำลอง (Model) เพื่อเป็นตัวแทนอาคารปรับอากาศในเขตร้อนชื้น

วิธีดำเนินการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การวิจัยข้างต้น ได้แบ่งขั้นตอนการวิจัยและการทำงานไว้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

ทำการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านหลังคา เพื่อทำการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมต่อการวิจัย จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)
2. การส่งผ่านความร้อน (Heat Transfer)
3. อุณหภูมิผิว (Sol-Air Temperature)
4. การดูดกลืนรังสีความร้อน (Absorption) และการสะท้อนรังสีความร้อน (Emissivity)
5. อิทธิพลของมวลสาร

ขั้นตอนที่ 2

ทำการศึกษารายละเอียดของรูปแบบและวัสดุผนังหลังคา และปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคา และการลดการถ่ายเทความร้อนของหลังคา เพื่อทำการคัดเลือกตัวแปรเพียงบางตัวที่เกี่ยวข้องและวิธีการทดลองที่เหมาะสมมาใช้ในการทดลองเพื่อให้เหมาะสมกับช่วงระยะเวลาการทดลอง

1. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผนังหลังคาในเรื่องของวิธีการติดตั้ง ราคา ค่าการดูดกลืนรังสีความร้อน (Absorption) ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน (Emissivity) การสะสมความร้อน

และการส่งผ่านความร้อน ตลอดจนศึกษาอิทธิพลจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา จากข้อมูลทางทฤษฎี และการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการลดการถ่ายเทความร้อนของหลังคา ได้แก่ ชนิด ขนาด และตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และการระบายอากาศใต้หลังคา

ขั้นตอนที่ 3

ดำเนินการเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. การเก็บข้อมูล โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการบันทึกข้อมูล
2. ใช้เครื่อง Data Logger System 2000 เป็นตัวรับสัญญาณ โดยใช้ หัว Thermister ขนาด $10\text{ k}\Omega$ เป็นตัววัดอุณหภูมิ ซึ่งจะต่อเข้ากับสายโทรศัพท์แบบ 2 สายเป็นสายวัดอุณหภูมิ โดยจะแปลงสัญญาณบันทึกในคอมพิวเตอร์
3. สร้างแบบหลังคาจำลอง ใช้วัสดุโฟม EPS (Expanded Polystyrene Foam) ความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลบ.ฟุต หนา 3 นิ้ว โดยปิดกล่องทั้ง 4 ด้าน เปิดด้านบนไว้เพื่อทดสอบปริมาณความร้อนที่ผ่านทางระบบหลังคาเท่านั้น
4. ทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขั้นตอนที่ 4

ดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ข้างต้น

1. วิจัยโดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาและคำนวณจากทฤษฎี เพื่อคัดเลือกระบบหลังคาที่เหมาะสมต่อการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
2. วิจัยโดยการทดสอบหารูปแบบของระบบหลังคาที่เหมาะสมต่อการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศในอาคาร
3. วิเคราะห์ และเปรียบเทียบความเป็นไปได้และความเหมาะสมของระบบหลังคาที่ทำการศึกษาในรูปแบบต่าง ๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านหลังคา และสามารถนำตัวแปรนั้นมาคัดเลือกเพื่อให้เหมาะสมต่อการวิจัย
2. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ หรือการปรับปรุงระบบหลังคาให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในอาคาร และลดพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ ในประเทศไทย
3. ทราบถึงความเหมาะสมที่สอดคล้องกับการใช้งาน การลงทุน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1. หลังคา หมายถึง ส่วนเบื้องบนของตึกหรือเรือนใช้บังแดด บังฝน
2. มุมองศาหลังคา หมายถึง ความลาดเอียงของหลังคาวัดจากแนวราบ
3. ระบบหลังคา หมายถึง ส่วนประกอบของวัสดุที่รวมกันเป็นหลังคาเพื่อบังแดด บังฝน และลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากภายนอก ได้แก่ มุมองศาหลังคา การเลือกใช้และการติดตั้งวัสดุผนังหลังคา ฉนวนกันความร้อน และฝ้าเพดาน



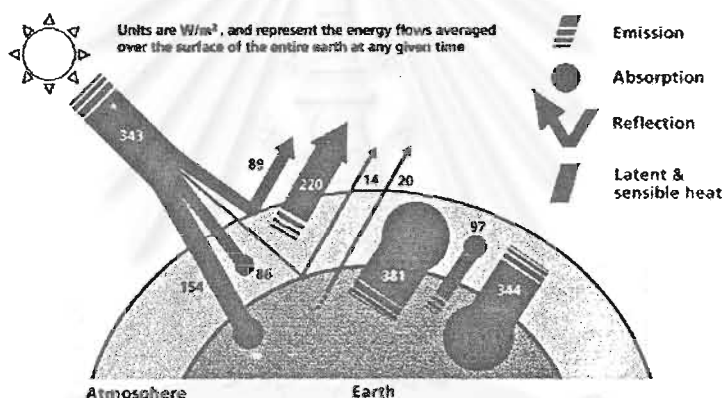
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อิทธิพลจากดวงอาทิตย์

พลังงานความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีเข้ามาในชั้นบรรยากาศโลกมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1353 W/m^2 ผลจากการสำรวจการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศโลก พบว่าพลังงานบางส่วนจะถูกดูดซับในชั้นบรรยากาศ บางส่วนจะแพร่กระจายในชั้นบรรยากาศ บางส่วนจะสะท้อนกลับออกไปสู่อวกาศ จะเหลือพลังงานเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลก



ภาพที่ 2.1 Solar radiation on earth

ที่มา Sun-Earth Interaction. [Online]. (n.d.). Available:
<http://aurora.crest.org/basics/solar/earth/2.htm>

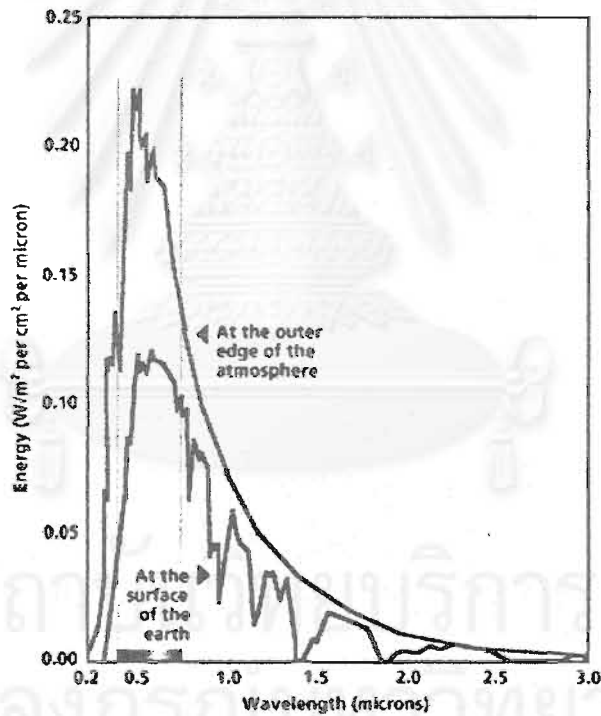
รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามายังโลกจะมีค่าประมาณ 343 W/m^2 ซึ่งประกอบด้วยรังสี 2 ประเภท คือ

- 1) รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง สามารถทะลุผ่านกระจกใสได้
- 2) รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) เกิดจากการที่รังสีคลื่นสั้นตกกระทบวัตถุ แล้วเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาวในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งไม่สามารถทะลุผ่านกระจกออกไปได้

Radiation type	Wavelength	Percentage of Energy
UV-radiation	0.20 – 0.38 μm	7%
Visible radiation	0.38 – 0.78 μm	47%
Heat radiation	0.78 – 3.00 μm	46%

ตาราง 2.1 แสดงปริมาณพลังงานต่าง ๆ จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลก

ที่มา Hauser, Gerd and Minke, Gernot. 1994. *Passive Building Design*. Amsterdam: The Netherlands

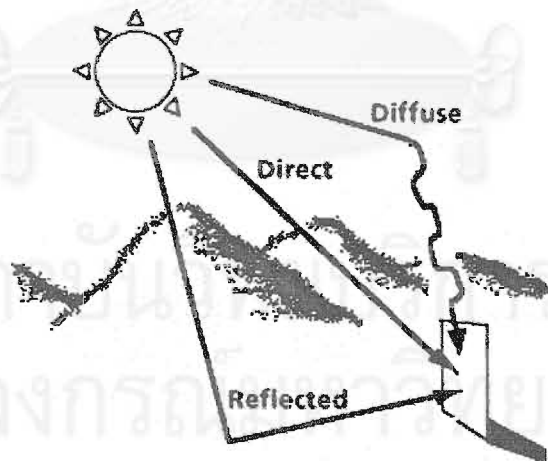


ภาพที่ 2.2 The solar spectrum in space and on earth's surface

ที่มา Sun-Earth Interaction. [Online]. (n.d.). Available: <http://aurora.crest.org/basics/solar/earth/2.htm>

พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับพื้นผิวโลกจะเกิดได้ 3 ลักษณะคือ

- 1) รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Radiation) เป็นรังสีที่ส่องเข้ามาในบรรยากาศโลก และจากการที่โลกโคจรเป็นวงรี ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีความมากที่สุดในวันที่ 3 มกราคม เมื่อโลกโคจรใกล้กับดวงอาทิตย์มากที่สุด ค่าพลังงานการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ $449.60 \text{ Btu/h.ft}^2$ และน้อยที่สุดในวันที่ 6 กรกฎาคม เมื่อโลกโคจรห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ค่าพลังงานการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ $419.90 \text{ Btu/h.ft}^2$ (ASHRAE, 1989)
- 2) รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อนของรังสีของดวงอาทิตย์กับ เมฆ ฝุ่นละออง หรือไอน้ำในอากาศ การกระจายที่เกิดขึ้นจะไม่สม่ำเสมอ แต่จะมีความเข้มข้นสูงในบริเวณรอบดวงอาทิตย์ ปริมาณของรังสีจะมีค่า 10 – 90% ของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่อาคาร
- 3) รังสีสะท้อน (Reflected Radiation) เป็นรังสีที่สะท้อนจากพื้นผิวดิน หรือพื้นผิววัสดุรอบๆ อาคาร ซึ่งจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนของพื้นผิวนั้น ๆ



ภาพที่ 2.3 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์สู่พื้นผิวในลักษณะต่าง ๆ

ที่มา Sun-Earth Interaction. [Online]. (n.d.). Available:
<http://aurora.crest.org/basics/solar/earth/2.htm>

2.1.1 Incident Solar Angle

พื้นผิวบนโลกจะได้รับระดับพลังงานสูงสุดจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในตอนกลางวัน ในสภาพที่ท้องฟ้าโปร่งในฤดูร้อน โดยจะได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ประมาณ 1 kW/m^2 ในกรณีที่ตำแหน่งของพื้นผิวดังกล่าวกับรังสีดวงอาทิตย์ และถ้าในเวลาที่ย่างต่างกันออกไป ในฤดูกาลที่ต่างกัน สภาพท้องฟ้าที่ต่างกันเช่นมีเมฆมาก ตำแหน่งที่รังสีดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวต่างกัน หรือพื้นผิวนั้นไม่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง ก็จะได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ลดลง

ในกรณีที่รังสีดวงอาทิตย์ไม่ได้ตกกระทบตั้งฉากกับตำแหน่งของพื้นผิวสามารถการคำนวณหา Incidence Solar Angle สำหรับพื้นผิวใดๆ สามารถคำนวณได้ดังสมการดังนี้

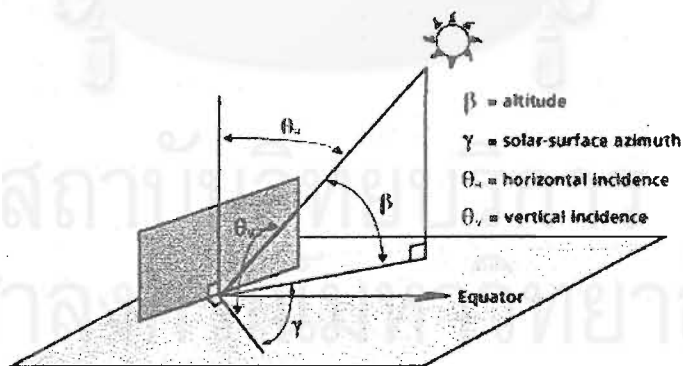
$$\cos \theta = (\cos \beta * \cos \gamma * \sin \Sigma) + [\sin \beta + \cos \Sigma]$$

โดยที่ $\cos \theta$ ค่า Incidence Angle ที่ตกกระทบ ณ พื้นผิวใด ๆ

β มุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude)

γ มุมที่วัดจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกับแนวตั้งฉากของผนัง

Σ มุมยกของพื้นผิว (Tilt Angle)



ภาพที่ 2.4 Solar radiation on a surface

ที่มา Sun Angle Basics. [Online]. (n.d.). Available:
<http://aurora.crest.org/basics/solar/angle/4.htm>

2.1.2 Solar Time

เนื่องจากความเร็วในการโคจรของโลกจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี จึงทำให้ Apparent Solar Time ซึ่งถูกกำหนดโดยแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปจาก Mean Time ซึ่งเทียบกับเวลาจากนาฬิกาที่เป็นอัตราที่คงที่ การเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า Equation of Time ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจะถูกกำหนดโดย Local Solar Time หาได้จากการนำ Equation of Time มาบวกกับ Local Civil Time

โดยที่สมการในการเปลี่ยน Apparent Solar Time เป็น Local Standard Time (ASHRAE, 1989) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$AST = LST - ET - 4 (LON - LSM)$$

โดยที่	ET	Equation of Time (minutes of time)
	LST	Local Standard Time
	LON	Longitude of site ($^{\circ}$ of arc)
	LSM	Local Standard Time Meridian ($^{\circ}$ of arc)
	4	minutes of time require for 1.0° rotation of earth

2.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ตามทฤษฎี Thermodynamic ความร้อนจะส่งผ่านจากที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารจะเกิดขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิของบรรยากาศ และสภาพแวดล้อมโดยรอบมีระดับสูงกว่าระดับอุณหภูมิภายในอาคาร ซึ่งเกิดขึ้นได้ลักษณะ ดังนี้

2.2.1 Conduction

การนำความร้อน คือการส่งผ่านพลังงานความร้อนจากวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่งที่อยู่ติดกันทางกายภาพ โดยลักษณะของการส่งผ่านความร้อนจะเกิดขึ้นต่อเมื่อวัตถุมีระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าวัตถุอื่นๆ โดยรอบ อะตอมในวัตถุนั้นจะมีระดับพลังงานที่สูงกว่าและเกิดการเคลื่อนไหว หรือสั่นสะเทือนมากกว่าจะส่งผ่านพลังงานความร้อนไปสู่อะตอมของวัตถุข้างเคียงที่มี

ระดับอุณหภูมิต่ำกว่า จนกว่าวัตถุข้างเคียงจะมีระดับอุณหภูมิที่คงที่หรืออิมิตัว(Stable) แล้ว จึงจะหยุดการส่งผ่านความร้อน ซึ่งหมายความว่าวัตถุที่มีระดับอุณหภูมิที่สูงจะส่งผ่านความร้อนไปสู่วัตถุที่อยู่ติดกันที่มีระดับอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (ASHRAE, 1989) คือ

$$Q = C * A * \Delta T$$

โดยที่	Q	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร(Btu / h)
	C	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนพื้นผิววัสดุ (Btu / h.ft ²)
	A	พื้นที่ที่ความร้อนถ่ายเทผ่านวัสดุ (ft ²)
	ΔT	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวพาดานกับอุณหภูมิภายใน (°F)

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

1

$$Q = U * A * CLTD$$

2

โดยที่	Q	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร(Btu / h)
	U	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Btu / h.ft ²)
	A	พื้นที่ที่ความร้อนถ่ายเทผ่านวัสดุ (ft ²)
	ΔT	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายใน (°F)
	CLTD	ค่าความแตกต่างภาระการทำความเย็นเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Difference (°F))

สมการที่ 1 ΔT ใช้ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลจากดวงอาทิตย์เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในมีค่าคงที่ (Steady State Condition)

สมการที่ 2 CLTD ใช้ในกรณีที่มีอิทธิพลของแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้ CLTD เกิดขึ้นเพราะความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกกับภายในไม่คงที่ ในความเป็นจริงค่า CLTD ต่างจาก ΔT เพราะมีการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ เพื่อรวมเอาอิทธิพลจากหลายองค์ประกอบเข้าไว้ด้วยกัน เช่น วัน เวลา เดือน อิทธิพลของแสงแดด อิทธิพลของมวลสารผนัง การถ่ายเท

ความร้อนจากผิวภายนอก การห่อหุ้มเวลา และสภาพแวดล้อม โดยเป็นการปรับเปลี่ยนค่าให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นจะให้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน (ΔT) ไม่ได้ เนื่องจากค่าที่ได้จะแตกต่างจากความเป็นจริงมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการและองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยสร้างเป็นสมการดังนี้ (ASHRAE, 1989)

$$\text{Sol-air Temperature } (T_{\text{Sol-air}}) = T_o + (I \cdot \alpha / h_o) - (\epsilon \Delta R / h_o)$$

โดยที่	$T_{\text{Sol-air}}$	Sol-air Temperature ($^{\circ}\text{F}$)
	T_o	อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^{\circ}\text{F}$)
	I	ค่าการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ (BTU / SF.hr)
	α	สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุ
	h_o	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวรวมทั้ง Long Wave Radiation และ Convection (BTU / SF.hr)
	ϵ	สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิว (Hemispherical Emittance of Surface)
	ΔR	อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (BTU / SF.hr)

Sol-air Temperature is the outdoor air that, in the absence of all radiation change, give the same rate of heat entry into the surface as would the combination of incident solar radiation, radiant energy exchange with the sky and other outdoor surroundings, and convective exchange with the outdoor air. (ASHRAE, 1989)

Sol-air Temperature ในคำจำกัดความหมายถึง อุณหภูมิประมาณของอากาศที่ติดอยู่กับผิววัสดุตอนที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการแลกเปลี่ยนรังสี ที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในอัตราที่เทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์จริง จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า สภาพแวดล้อมรอบข้างและจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก (ASHRAE, 1989)

2.2.2 Convection

การพาความร้อน คือการส่งผ่านพลังงานความร้อนระหว่างวัตถุที่เป็นของแข็ง และก๊าซ หรืออากาศ ที่มีการเคลื่อนไหวที่อยู่ติดกัน ซึ่งเป็นการส่งผ่านความร้อนโดยการนำความร้อน (Conduction) และโมเลกุลของก๊าซ หรืออากาศนั้นเมื่อได้รับพลังงานความร้อนก็จะส่งผ่านพลังงานความร้อนไปสู่วัตถุที่อยู่ติดกันซึ่งมีระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า การพาความร้อนจะเกิดได้ 2 ลักษณะคือ

- 1.) **Force Convection** เกิดจากลักษณะการไหลของของอากาศ หรือก๊าซ ซึ่งไหลไปตามท่อ หรือรอบนอกของ ผิววัตถุ ซึ่งทิศทางการไหลของอากาศ หรือก๊าซจะถูกบังคับทิศทางโดยพัดลม หรือแรงลม
- 2.) **Free Convection** เกิดจากการไหลของอากาศที่มีน้ำหนักเบา (Buoyancy Air) ซึ่งมีระดับอุณหภูมิสูงลอยตัวขึ้นด้านบน และอากาศที่อยู่รอบๆพื้นผิววัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่า (Heavier Air) ไหลเข้ามาแทนที่

อัตราการส่งผ่านความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection) สามารถคำนวณได้ดังสมการ (Cengel , Yunas A. 1997) คือ

$$Q_{\text{conv}} = h * A * (T_s - T_f)$$

โดยที่	Q_{conv}	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารโดยการพาความร้อน (Btu / h)
	h	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Btu / h.ft ²)
	A	พื้นที่ที่ความร้อนถ่ายเทผ่านวัสดุ (ft ²)
	T_s	อุณหภูมิที่ผิววัตถุ (°F)
	T_f	อุณหภูมิที่ภายนอกที่ไหลเข้าสู่ - ออกจากวัตถุ (°F)

2.2.3 Radiation

การแผ่รังสี คือพลังงานที่แผ่ (emissivity) ออกจากวัตถุ สู่สภาพแวดล้อมโดยรอบหรือวัตถุที่อยู่โดยรอบ พลังงานรังสีจะเดินทางในลักษณะเส้นตรงผ่านที่ว่างซึ่งเป็นอากาศหรือสุญญากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) หรือ โฟตอน (Photon) ซึ่งจะส่งผ่านจากอุณหภูมิที่สูงกว่าไปสู่อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งการแผ่รังสีความร้อนแตกต่างจากการส่งผ่านความร้อนโดยการนำความร้อนและการพาความร้อน เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนไม่ต้องมีตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน และเป็นการส่งผ่านความร้อนที่เร็วที่สุด (ซึ่งมีความเร็วเทียบเท่ากับความเร็วของแสง) โดยพลังงานจะมีระดับพลังงานคงที่กรณีอยู่ในสุญญากาศ แหล่งของรังสีที่เกี่ยวข้องคือ รังสีจากดวงอาทิตย์ อัตราการแผ่รังสีสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ (Cengel, Yunus A. 1997) ดังนี้

$$Q_{\text{rad}} = E \cdot B \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{\text{sur}}^4)$$

โดยที่ Q_{rad} ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสี (Watt)

E ค่าการแผ่รังสี (emissivity) ของวัตถุ

B $5.67 \times 10^{-8} \text{ W} / (\text{m}^2 \times \text{K}^4)$

เป็นค่าคงที่ซึ่งเกิดจากการแผ่รังสี (emissivity) ของวัตถุในอัตราสูงสุด

A พื้นที่วัตถุ (m^2)

T_s อุณหภูมิที่ผิววัตถุ ($^{\circ}\text{K}$)

T_{sur} อุณหภูมิสภาพแวดล้อมโดยรอบ ($^{\circ}\text{K}$)

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 อิทธิพลการแผ่รังสีของพื้นผิว

รังสีความร้อนเป็นรังสีคลื่นยาวและมีพลังงานต่ำ เมื่อรังสีกระทบวัสดุใดๆ บางส่วนของรังสีจะถูกดูดซับ (Absorbed) บางส่วนจะสะท้อนออกไป (Reflected) และบางส่วนจะส่งผ่าน (Transmitted) ซึ่งวัตถุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติในการดูดซับรังสี สะท้อนรังสี และส่งผ่านรังสีต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ทิศทางของการแผ่รังสี การคายรังสีจะมีค่าสูง
- ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี การคายรังสีสเปกตรัมในทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น
- อุณหภูมิของพื้นผิว การคายรังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการคายรังสีของอโลหะจะลดลงเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น
- ความขรุขระของพื้นผิว เนื่องจากผลของความขรุขระที่ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวเสมือนโพรง จึงทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง ซึ่งเป็นผลทำให้การดูดซึมรังสีมีค่าสูงขึ้น นั่นคือการคายรังสี มีค่าสูงขึ้น
- การเจือปนของพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยทำให้การแผ่รังสีมีค่าสูงขึ้น

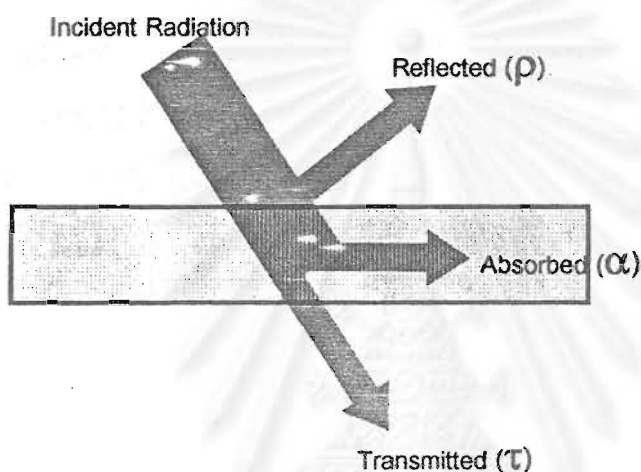
ค่าการสะท้อนรังสี ค่าการดูดซับรังสี และค่าการส่งผ่านรังสี เป็นคุณสมบัติของวัสดุในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง สำหรับช่วง Spectrum คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นหนึ่งๆ จะมีผลรวมการสะท้อนรังสี การดูดซึม และการส่งผ่านรังสี เท่ากับ 100% ของพลังงานที่ตกกระทบลงมาสำหรับวัสดุทึบตัน (Opaque) พลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับ 0 ดังนั้นผลรวมของค่าการสะท้อนรังสี การดูดซับรังสี และการส่งผ่านรังสี จะเท่ากับพลังงานรังสีเมื่อถูกดูดซับโดยวัสดุจะเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน ความร้อนนี้จะถูกนำไป หรือ แผ่รังสีออกในรูปคลื่นยาวจากวัสดุนั้น ซึ่งความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของวัสดุ ในเรื่องการดูดซับรังสี การสะท้อนรังสี และการส่งผ่านรังสี สามารถอธิบายได้ดังสมการ ดังนี้

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

ในกรณีที่ เป็นวัตถุทึบตัน (Opaque) $\tau = 0$

$$\alpha + \rho = 1$$

โดยที่ α การดูดซับรังสี
 ρ การสะท้อนรังสี
 τ การส่งผ่านรังสี



ภาพที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ การดูดซับรังสี การสะท้อนรังสี และการส่งผ่านรังสีในวัสดุ

2.3.1 ค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity: α)

เป็นค่าแสดงความสามารถในการดูดกลืนพลังงานความร้อนจากรังสีคลื่นสั้น วัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าการดูดซับรังสีไม่เท่ากัน และวัสดุชนิดเดียวกันแต่มีสีต่างกันก็จะมีค่าการดูดซับรังสีไม่เท่ากันเช่นกัน

2.3.2 ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity: ρ)

วัสดุที่มีผิวมันจะสะท้อนรังสีความร้อนและแสงได้ดี สำหรับวัสดุทึบตัน วัสดุที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูงจะมีค่าการดูดซับรังสีต่ำ

2.3.3 ค่าการส่งผ่านรังสี (Transmissivity: τ)

จะเป็นคุณสมบัติของวัสดุโปร่งใส และโปร่งแสง

2.3.4 ค่าการคายรังสี (Emissivity: ϵ)

เป็นค่าแสดงความสามารถของวัตถุในการปล่อยรังสีคลื่นยาวของวัตถุ ค่าการคายรังสีของพื้นผิววัสดุใดๆ สามารถอธิบายได้คือ อัตราส่วนการแผ่รังสีจากพื้นผิววัสดุใดๆ กับ การแผ่รังสีจาก blackbody ในอุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งค่าการแผ่รังสีในวัสดุหนึ่งจะไม่คงที่ จะผันแปรตามอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุนั้นๆ ความยาวคลื่นและทิศทางการคายรังสี ดังนั้นความแตกต่างของค่าการแผ่รังสีจากพื้นผิวของวัสดุชนิดต่างๆ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่นำมาพิจารณา

ความร้อนที่ถ่ายเทโดยรังสีขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของวัสดุ โดยสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างการดูดซับความร้อน (Absorption: α) และการคายรังสีความร้อน (Emissivity: ϵ) ได้ดังนี้

ถ้า $\alpha > \epsilon$ หรือ $\alpha / \epsilon > 1$ วัสดุนั้นจะร้อน
 $\alpha < \epsilon$ หรือ $\alpha / \epsilon < 1$ วัสดุนั้นจะเย็น

2.4 การระบายอากาศ (Ventilation)

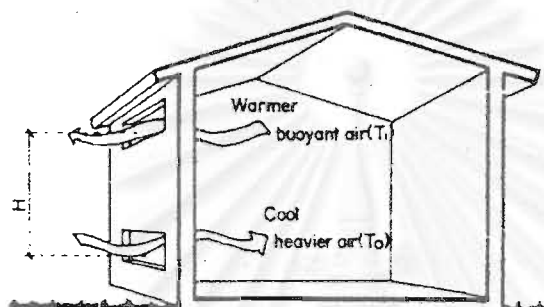
2.4.1 Heat Flow by ventilation

ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงภายในอากาศจากการระบายอากาศโดยอาศัยลมจากภายนอกเข้ามาระบายอากาศภายในอาคารคือ การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติด้วยการอาศัยลมจากภายนอกพัดผ่านเข้ามาภายในอาคารเพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศภายในอาคาร การเปลี่ยนแปลงของความพลังงานงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการระบายอากาศจะเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ

- 1.) Heat loss ซึ่งจะเกิดขึ้นต่อเมื่อระดับอุณหภูมิภายในมีระดับสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก ดังนั้นเมื่ออากาศจากภายนอกที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่าถ่ายเทเข้ามาภายใน อาคารจะเกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิภายใน
- 2.) Heat Gain จะเกิดขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ดังนั้นเมื่อเปิดหน้าต่าง หรือช่องเปิด เพื่อถ่ายเทอากาศภายในอาคารหรือนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามา ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าจากภายนอกจะเข้ามาภายในอาคารด้วย

2.4.2 Stack Ventilation

เป็นการระบายอากาศอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งอาศัยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ โดยมีหลักการคือ การลอยตัวขึ้นของอากาศร้อนและระบายออกทางช่องเปิดด้านบนของอาคาร และถูกแทนที่ด้วยอากาศที่เย็นกว่าที่เข้ามาทางช่องเปิดทางด้านล่าง



ภาพที่ 2.6 Stack Ventilation

ที่มา Hauser, Gerd and Minke, Gernot. 1994. *Passive Building Design*. Amsterdam: The Netherlands: 138

เมื่ออากาศภายนอกไหลเข้าสู่ภายในอาคารผ่านบริเวณที่ทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ความร้อนจะทำให้อากาศขยายตัวบางลงและลอยตัวสูงขึ้นอยู่บนอากาศที่มีความหนาแน่นมากกว่า ดังนั้นอากาศที่เข้ามาภายในจะลอยตัวขึ้นข้างบนออกไปทางปล่อง อากาศภายนอกที่มีความหนาแน่นมากกว่าหรือมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่ เกิดการหมุนเวียนถ่ายเทอากาศภายในขึ้น แต่ทั้งนี้ความสูงของปลายปล่องหรือช่องระบายอากาศด้านบนควรอยู่ในระดับสูงกว่าสิ่งก่อสร้างหรืออาคารข้างเคียง เพื่อให้พ้นจากบริเวณความกดอากาศสูง ซึ่งการระบายอากาศโดยวิธีนี้ อาจใช้พัดลมดูดอากาศเพื่อช่วยในการระบายอากาศให้ดีขึ้นด้วย

ซึ่งอัตราการไหลของอากาศที่เข้ามาโดยอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิลสามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$V = 0.117 A [h (t_i - t_o)]^{1/2}$$

โดยที่	V	อัตราการระบายอากาศ (m^2 / s)
	A	พื้นที่ ที่เปิดให้ลมเข้า (m^2)
	h	ระยะห่างตามแนวตั้ง ระหว่างช่องลมเข้า และช่องระบายลมออก (m)
	t_i	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้อง ($^{\circ}C$)
	t_o	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอก ($^{\circ}C$)

2.4.3 Ventilation due to wind forces

เมื่อกระแสลมปะทะกับอาคาร บริเวณนั้นจะเกิดความกดอากาศสูงในขณะที่ด้านข้างของอาคาร บริเวณผนังและหลังคาซึ่งอยู่ในบริเวณใต้ลมจะมีความกดอากาศลดลง การเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศสามารถทำได้โดยการเปิดช่องในบริเวณที่เป็นส่วนที่อับลมหรือบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลของอากาศผ่านช่องเปิดโดยสมการ ดังนี้

$$Q = KVA$$

โดยที่	Q	อัตราการไหลเวียนของอากาศ (CFM : cu.ft / hr.)
	K	ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของช่องลมเข้า - ออก
	V	ความเร็วลม (MPH : m. / hr.)
	A	พื้นที่ช่องลมเข้า (sq.ft.)

Area of Outlet / Area of Inlet	K	
1 : 1	3180	Max. Flow
2 : 1	4000	
3 : 1	4250	
4 : 1	4325	Min. Flow (Inside)
3 : 4	2700	
1 : 2	2000	Max. Flow (Inside)
1 : 4	1100	

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า K ในอัตราส่วนระหว่างช่องลมเข้า - ออก ที่ต่างกัน

2.5 การปรับอากาศ

หลักการการทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยทั่วไป คือการทำความเย็น และการรีดความชื้นเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายภายในอาคาร พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารที่เป็นภาระต่อการทำความเย็นเกิดขึ้น 2 ลักษณะ คือ

2.5.1 ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)

ความร้อนสัมผัส คือ ความร้อนชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ ซึ่งเราสามารถรู้สึกได้ Gencel, Yunus A. (1997) ได้อธิบาย ถึงการเกิดความร้อนสัมผัสว่า เมื่อโมเลกุลของวัตถุใดๆ เกิดการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วรอบๆ โมเลกุลอื่นๆ ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนแก่โมเลกุลอื่นๆ เกิดการเคลื่อนไหวร่วมกัน เคลื่อนที่ร่วมกัน เกิดการสั่นและหมุนร่วมกัน เป็นผลให้เกิดการส่งถ่ายและแลกเปลี่ยนพลังงานภายในระหว่างโมเลกุล จึงเกิดพลังงานความร้อนสัมผัสขึ้น

แหล่งพลังงานความร้อนสัมผัสที่เกิดขึ้นภายในอาคารเกิดจาก

- การถ่ายเทความร้อนจากเปลือกอาคาร (ผนัง, หลังคา)
- การส่งผ่านความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทะลุผ่าน (Transmitted) ช่องแสงกระจก
- อุปกรณ์ไฟฟ้า แสงสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า
- มนุษย์
- อากาศจากภายนอก

ปริมาณความร้อนสัมผัสที่เกิดจากการรั่วซึมและการระบายอากาศภายนอกสามารถคำนวณสมการ ได้ดังนี้

$$Q_s = 1.08 * CFM * \Delta T$$

โดยที่ Q_s	ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ที่เกิดจากการระบายอากาศ (Btu/h)
CFM	อัตราการถ่ายเทของอากาศที่มาจากภายนอก (CFM)
ΔT	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายใน ($^{\circ}F$)
1.08	ค่าคงที่

2.5.2 ความร้อนแฝง (Latent Heat)

ความร้อนแฝง คือ รูปแบบของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของความชื้น (Moisture) ในอากาศ หรือการเปลี่ยนรูปของเหลวเป็นก๊าซ เช่นการระเหยของน้ำที่เกิดจากการต้มน้ำ Gencel, Yunus A. (1997) ได้อธิบาย ถึงการเกิดความร้อนแฝงว่า เมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานภายในระหว่างโมเลกุลแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนรูปของโมเลกุล โดยโมเลกุลที่แข็งแรงที่สุดจะอยู่ในรูปของของแข็ง และโมเลกุลที่อ่อนแอที่สุดจะอยู่ในรูปของก๊าซ และถ้าหากโมเลกุลที่อยู่ในรูปของแข็งและของเหลวได้รับพลังงานมาอย่างเพียงพอ จะเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซ เรียกว่ากระบวนการเปลี่ยนสถานะ (Phase-Change) ซึ่งกระบวนการที่เปลี่ยนรูปให้โมเลกุลกลายเป็นก๊าซ จะใช้พลังงานสูงที่สุด

ความร้อนแฝงจะเป็นการเปลี่ยนสถานะของมวลสาร ดังนั้นจะไม่มีเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้น

ปริมาณความร้อนแฝงภายในอาคารเกิดจาก

- อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า
- มนุษย์
- อากาศจากภายนอก

2.5.3 ประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

การวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจะวัดได้จากอัตราส่วนของพลังงานความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศต่อพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้สำหรับการปรับอากาศ ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{พลังงานความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศ}}{\text{พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้สำหรับการปรับอากาศ}}$$

ในการคิดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ซึ่งทั้ง 2 ระบบมีหลักการเหมือนกันแต่ต่างกันที่หน่วยพลังงานได้แก่

1) ซีโอพี (COP : Coefficient of Performance) อัตราส่วนระหว่างพลังงานความเย็นที่ได้มาจากเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็น วัตต์ ต่อ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ มีหน่วยเป็นวัตต์ การคำนวณ COP สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{COP} = \frac{\text{พลังงานความเย็นที่ได้มาจากเครื่องปรับอากาศ(วัตต์)}}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ(วัตต์)}}$$

2) อีอีอาร์ (EER: Energy Efficiency Ratio) อัตราส่วนความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศมีหน่วยเป็น บีทียู/ ชั่วโมง ต่อ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ มีหน่วยเป็นวัตต์ การคำนวณ EER สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{EER} = \frac{\text{พลังงานความเย็นที่ได้มาจากเครื่องปรับอากาศ(บีทียู / ชั่วโมง)}}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ(วัตต์)}}$$

2.6 การใช้ช่องว่างอากาศป้องกันความร้อน (Cavity Resistance)

ช่องว่างของอากาศสามารถสกัดกั้นการส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี และการนำความร้อนจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในได้ในระดับหนึ่ง ที่พื้นผิว 2 ด้านที่อยู่ขนานกับช่องว่างของอากาศจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง 2 พื้นผิวนั้น ซึ่งความสามารถในการป้องกันการส่งผ่านความร้อนในช่องอากาศ ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

2.6.1 Surface Emissivity

พื้นผิววัตถุที่มีค่าการคายรังสีความร้อน (Emissivity) มาก จะมีความเป็นฉนวน หรือมีการต้านทานความร้อนมาก ช่องว่างอากาศที่มีพื้นผิวทั้ง 2 ด้าน ที่มีค่า Emissivity ในช่วงประมาณ 0.9 – 0.95 สามารถลดปริมาณการส่งผ่านความร้อนได้ประมาณ 60%

2.6.2 Thickness of Air Space

คุณสมบัติการต้านทานความร้อนของช่องอากาศขึ้นอยู่กับความหนาของช่องอากาศ ซึ่งถ้าช่องอากาศยิ่งมีความหนามาก ก็จะสามารถป้องกันการส่งถ่ายความร้อนจากภายนอกได้มาก ในกรณีที่ช่องอากาศมีความหนา 3.5 นิ้วขึ้นไป ค่าการต้านทานความร้อนของช่องอากาศจะค่อนข้างคงที่ หรือเพิ่มขึ้นไม่มาก

2.6.3 Direction of Heat Flow

ทิศทางการส่งผ่านความร้อน หรือการไหลของความร้อนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ

2.6.4 Air Space Ventilation

การระบายอากาศภายในช่องว่างอากาศจะเพิ่มการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในช่องว่างอากาศ

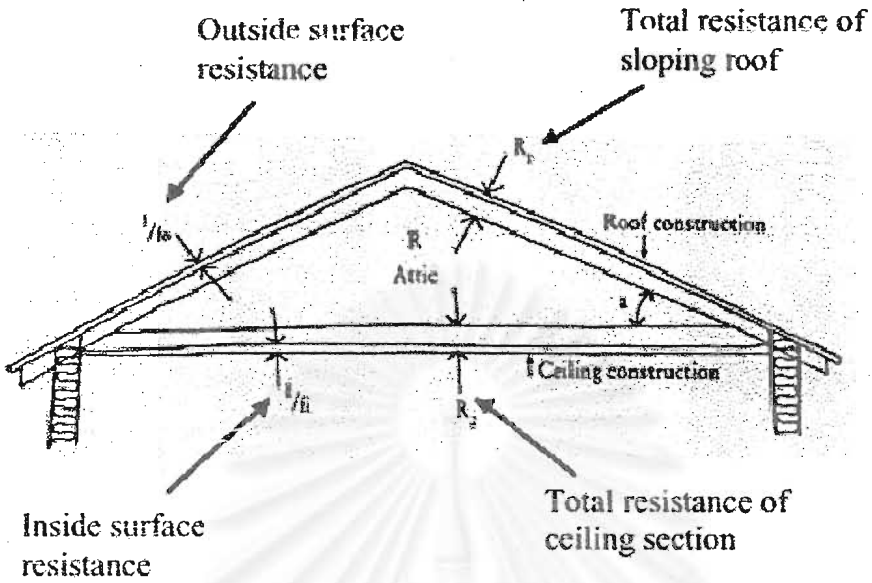
2.6.7 Inclination of Air Space

ความลาดเอียงของช่องว่างอากาศ จะทำให้ช่องว่างอากาศสามารถเพิ่มการต้านทานความร้อนที่เพิ่มขึ้นได้ อันเนื่องมาจากการเอียงของช่องอากาศจะเป็นการหลีกเลี่ยงการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่จะกระทำต้งฉากกับพื้นผิว

2.6.8 Corrugations and Surface Roughness

ลักษณะของผิววัตถุที่เป็นคลื่น และผิวขรุขระจะทำให้พื้นผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่ได้เป็นปัจจัยที่สำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.7 การใช้ช่องว่างอากาศใต้หลังคาป้องกันการส่งผ่านความร้อนจากภายนอก

การคำนวณค่าการคายรังสี (Emissivity) ของพื้นผิวภายในช่องอากาศสามารถคำนวณได้ดังสมการคือ

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} - 1$$

- โดยที่ E ค่าการคายรังสีภายในช่องอากาศ
- e_1 ค่าการคายรังสีของพื้นผิววัตถุที่ 1
- e_2 ค่าการคายรังสีของพื้นผิววัตถุที่ 2

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 วัสดุผนังหลังคา

2.7.1 กระเบื้องดินเผา

ผลิตจากดิน บางครั้งดินเหนียวเกินไปต้องผสมซีเมนต์แล้วกลบลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นกระเบื้องแตกร้าว เมื่อผสมได้ที่จึงนำมาอัดเข้าแบบแผ่นกระเบื้อง และนำไปเผาในเตาไฟ

กระเบื้องดินเผาส่วนมากจะผลิตแผ่นเล็ก ขนาดประมาณ 15x17 ซม. ฉะนั้นหลังคาต้องมีความชันมากมิฉะนั้นหลังคาจะรั่ว การมุงต้องมีการซ้อนกันมาก

2.7.2 กระเบื้องซีเมนต์

เป็นกระเบื้องที่ทำมาจากทรายผสมกับซีเมนต์และน้ำ เมื่อผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำมาเข้าเครื่องอัดเป็นรูปร่างที่ต้องการ ส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ต่อทรายนั้นอยู่ระหว่าง 1:3 – 1:4 โดยปริมาตร ลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 15x28 ซม. หนาประมาณ 8 มม.

2.7.3 กระเบื้องคอนกรีต

ทำมาจากคอนกรีตซึ่งเป็นส่วนผสมของซีเมนต์ มวลผสมคอนกรีตและน้ำออกแบบลักษณะเป็นลอน อาจมีรูเจาะสำหรับตอกตะปูยึดกับระแนง

โดยมากมีขนาดประมาณ 33x42 ซม. ระยะห่างของระแนง 32 – 34 ซม. ใช้ระแนงไม้ขนาด 1 ½ นิ้ว ความลาดเอียงของหลังคาไม่ควรน้อยกว่า 17 องศา มุงกระเบื้องซ้อนกันไม่น้อยกว่า 7.5 ซม. ถ้าความลาดเอียงน้อยกว่า 35 องศา ควรใช้ตะปูยึดติดระแนงทุกๆ 3 แถว ถ้าความลาดเอียงของหลังคาระหว่าง 35 – 44 องศา ควรใช้ตะปูตอกยึดกับระแนงทุกๆ 2 แถว ถ้าความลาดเอียงของหลังคาตั้งแต่ 45 องศา ขึ้นไป ควรใช้ตะปูตอกยึดกับระแนงทุกๆ แถว และควรใช้ตะปูขนาด 2 ½ นิ้ว

2.7.4 แผ่นเหล็กยึดลอน

เป็นแผ่นสังกะสีที่เคลือบด้วยวัสดุบางอย่างเพื่อป้องกันสนิมและทำให้เกิดความงาม เช่น เคลือบด้วยอลูมิเนียม เคลือบด้วยโพลีเอสเตอร์ หรือเคลือบด้วยโพลีไวนิลคลอไรด์ ความหนาประมาณ 4 – 10 มม. สามารถมุงหลังคาที่ความลาดเอียงต่างๆ ได้ คือ 5 : 100 หรือ 3 : 100 สามารถติดตั้งตามรัศมีความโค้งของหลังคาได้

2.8 จนวน

คุณสมบัติในการลดปริมาณการลดความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทางหนึ่ง คือ การเลือกใช้วัสดุที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร หรือวัสดุที่มีค่า R-Value สูง

จนวน คือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน โดยมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) น้อย ช่วยลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกที่เข้ามาภายใน การเพิ่มความหนาของจนวนให้มากขึ้นจะทำให้มีราคาแพง ดังนั้นการออกแบบโดยการผสมผสานการใช้จนวนกับมวลสารจะเป็นผลดีในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารไม่เปลี่ยนแปลงรุนแรงเหมือนภายนอก และถ้าสามารถทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำที่สุด ก็จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากยิ่งขึ้น (สุนทร บุญญาธิการ, 2539)

2.8.1 โยแก้ว

โยแก้วเป็นชื่อที่ใช้เพื่อผลิตไฟเบอร์ซึ่งแกนสารของไฟเบอร์คือแก้ว แก้วเป็นวัสดุชนิดหนึ่งทำมาจากซิลิโคน ได้ออกไซด์กับออกไซด์ของโลหะต่างๆ และส่วนประกอบอื่นๆ โดยผ่านการหลอมละลายไฟเบอร์จัดเป็นอนุภาคด้วยขนาดความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง ในอัตราเกณฑ์ 3 ต่อ 1 หรือมากกว่าไฟเบอร์ที่เข้าสู่ระบบการหายใจมีน้ำหนักปานกลาง เคลื่อนไหวอยู่ในอากาศด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5 มม. หรือเล็กกว่าไฟเบอร์ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 มม. มีโอกาสเข้าไปตกตะกอนในเซลล์เนื้อเยื่อ และปอด ซึ่งเป็นที่เกิดการแลกเปลี่ยน ก๊าซได้สูง (WHO, 1998) โยแก้วผลิตโดยการเคลื่อนตัวจากศูนย์กลางหรือการเป่า ก๊าซเหลว และประกอบขึ้นเป็นไฟเบอร์ทรงกระบอกขนาดสั้น (เปรียบเทียบกับเส้นใย

โยแก้วส่วนใหญ่ถูกผลิตขึ้นเพื่อเป็นจนวนความร้อนและจนวนกันเสียงสะท้อนในงานก่อสร้างและโครงสร้างเรือในปี ค.ศ. 1980 โยแก้วประมาณ 80% ถูกผลิตขึ้นเพื่อเป็นจนวนใช้ในบ้านโยแก้วในรูปใยบรรจุถุง นำไปเทลงในพื้นที่ที่กำหนด เช่น ระหว่างรอด รองพื้นกระดานในเพดาน ในระบบปั๊ม และระบบแอร์ก็มีความต้องการใช้จนวนเหมือนกัน โยแก้ว และ ไฟเบอร์กลาสถูกใช้เพื่อเป็นจนวนด้านความร้อน ท่อโลหะมักจะหุ้มด้วยไฟเบอร์กลาสเช่นกัน เส้นผ่าศูนย์กลางของไฟเบอร์กลาส (0.005 - 3.8 mm) ได้ถูกนำมาใช้ในอากาศ กรองของเหลว และไฟเบอร์กลาสถูกใช้ในเตาหลอมโลหะและระบบปรับอากาศ ตัวกรองไฟเบอร์กลาสถูกนำไปใช้

ในการผลิตเครื่องตีมีการปรุขยา กระดาษ เป็นตัวกรองในระหว่งน้ำและประโยชน์ใช้งาน
 อย่างอื่นอีกมากมาย

ใยแก้วนำไปใช้ในทางด้านความร้อน ไฟฟ้า ฉนวนกันสะท้อนเสียง การป้องกันอากาศ
 และตัวกลางกันการรั่วไหล NIOSH ได้เปิดเผยตัวเลขโดยประมาณของคณงานจำนวน
 200,000 คน ที่เกี่ยวข้องกับไฟเบอร์กลาส จะเห็นว่าผู้ใช้ไฟเบอร์กลาสอาจมีตัวเลขมากกว่า
 จำนวนคณงานที่อยู่ในกระบวนการผลิต มนุษย์นั้นสามารถเข้าไปเกี่ยวข้องกับใยแก้วโดยการ
 สูดหายใจ และการสัมผัสผัดทางผิวหนัง ใยแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ (มากกว่า 3.5
 มม.) ถูกค้นพบว่าเป็นสาเหตุของการระคายเคืองต่อผิวหนัง และระบบหายใจส่วนที่มีขนาด
 เล็กกว่าก็สามารถทะลุลอดผ่านเข้าไปในเซลล์เนื้อเยื่อปอด ด้วยเหตุนี้ ไฟเบอร์จึงถูกจัดให้เป็น
 วัสดุควบคุมพิเศษ จากการนำสัตว์ไปศึกษาถึงผลกระทบข้างเคียงต่อสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง
 นั้น โดยฝังไฟเบอร์กลาสในเยื่อหุ้มปอด หรือช่องเยื่อกระเพาะอาหารทดลองพบว่าไฟเบอร์ที่มี
 เส้นผ่าศูนย์กลางยาวกว่า 10 มม. และไฟเบอร์ชนิดยาว (ปกติมีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1
 มม.) จะมีผลกระทบต่อสัตว์ ในการทดลองนั้นได้นำค่าที่ได้ 4 ค่า ไป ผลิตฉนวน และนำ 1 ค่า
 ไปผลิตผ้า ผลสรุปรวมเรื่องจำนวนฝุ่นผงในอากาศของไฟเบอร์กลาสนั้นฉนวนนั้นมีส่วนเกี่ยว
 ข้องน้อยมาก

EPA กำหนดอนุภาคการแพร่ของฉนวนใยแก้วจากสถานที่ผลิตภายใต้มาตรฐานใหม่ของ
 Clean Air (CAA) OSHA กำหนดใยแก้วภายใต้มาตรฐาน Hazard Communication
 Standard และจัดให้เป็นสารเคมีอันตรายในห้องทดลอง OSHA ยังไม่ได้จำแนกไฟเบอร์ใย
 แก้วเป็น "อนุภาคอีกนัยหนึ่งที่ไม่ใช่ข้อบังคับ" ระดับฝุ่นผงใยแก้วที่อนุญาตให้มีได้คือ 5.0
 มิลลิกรัม / ลูกบาศก์เมตร และรวมฝุ่นแล้วจะต้องอยู่ในปริมาณ 15.0 มิลลิกรัม / ลูกบาศก์
 เมตร ข้อจำกัดนี้ทาง OSHA ต้องการให้ใช้กับคณงานก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับไฟเบอร์กลาสซึ่ง
 ถูกนำมาใช้เป็นค่าจำกัดในปี ค.ศ. 1970

2.8.2 โยแร่

โยแร่อาจเรียกว่า หินแร่ฝอยซีแร่ หรือ โยหิน มีกรรมวิธีผลิตคล้ายคลึงกับโยแก้ว มีรูปแบบและข้อจำกัดการใช้งานทั่วไปเหมือนฉนวนโยแก้ว เช่น ปัญหาการติดไฟของตัวประสาน และการลุกไหม้ของผิวหน้า

ฉนวนประเภทนี้เป็นประเภทที่ไม่มีสารประกอบของแร่ใยหิน (Asbestos) ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ มีคุณสมบัติในการกันความร้อนได้เทียบเท่ากับฉนวนโยแก้ว แต่สามารถทนไฟได้ดีกว่า ทนความร้อนได้สูงถึง 800°C มีความสามารถในการดูดซับเสียง ไม่ทนทานต่อความเปียกชื้น ดังนั้น จึงควรหุ้มด้วยวัสดุป้องกันความชื้น

2.8.3 โยเซลลูโลส

เป็นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตขึ้นจากการนำไม้ หรือกระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง จากนั้นจึงประสานเข้าด้วยกันด้วยสารบอแรกซ์ ส่วนผสมทั้งสองนี้จะมีสภาพด้านทานการลุกไหม้และการดูดซับความชื้น

ข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ไม่สามารถครอบคลุมให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น มีอากาศปนเข้าไปในเครื่องจักรผลิตฉนวนมากเกินไปทำให้มีความหนาแน่นต่ำกว่ามาตรฐาน ฉนวนนั้นจะยุบตัวลงที่น้อยกว่าผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง การสั่นสะเทือนหรือความชื้นเป็นสาเหตุทำให้สภาพการต้านทานความร้อนลดลง และเนื่องจากวัสดุที่ใช้ผลิตเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ติดไฟได้ จึงต้องมีการผสมสารที่หน่วงการไหม้ไฟในอัตราส่วนที่เหมาะสมด้วย สำหรับคุณสมบัติค่าการกันความร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกับโยแก้ว

2.8.4 โฟม

วัตถุดิบ ใช้ LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) ที่มีคุณลักษณะเป็นเทอร์โมพลาสติก เมื่อนำมาขึ้นรูปแล้วสามารถที่จะนำมาหลอมเป็นวัตถุดิบเดิมได้อีก (RECYCLE) มีความหนาแน่นต่ำ ทนทานต่อสารเคมีเป็นกลางทั้งทางกายภาพ และทางเคมี ไม่ดูดซับน้ำ ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซต่าง ๆ ได้ดี เป็นพลาสติกที่ไม่เป็นพิษ จึงถูกเลือกให้ทำเป็นฉนวนความร้อนได้อย่างดี

กระบวนการผลิตเป็นเพียงการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุดิบ ด้วยความร้อน (NON-CROSSED LINK) ภายใต้ความดันอากาศที่เหมาะสม และปราศจากมลภาวะในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต จึงไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีควัน ไม่มีเขม่า

2.8.5 แคลเซียมซิลิเกต

เป็นฉนวนกันความร้อนแบบเป็นโพรงหรือช่องกลวงประกอบด้วยไฮดรอกไซด์แคลเซียมซิลิเกต โดยระหว่างกรรมวิธีการผลิตไอน้ำจะเปลี่ยนรูปหินปูนและซิลิกาไปเป็นไฮดรอกไซด์แคลเซียมซิลิเกตซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งแรงทนทาน นิยมนำไปใช้ในการห่อหุ้มภาชนะในกระบวนการอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิสูง และจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความทนทานต่อแรงอัดสูง

2.8.6 เวอร์มิคูไลท์

ผลิตจากแร่ไมกาซึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ดคล้ายกระดาษ โดยมีน้ำเป็นส่วนประกอบในกระบวนการผลิต อนุภาคของแร่ไมกาจะได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วจนเกิดการหลุดร่อนเป็นเกล็ด การใช้งานจะเป็นลักษณะของฉนวนกันความร้อนแบบเทอร์รูจเข้าไปในบล็อคหรือโพรงผนัง ถ้านำไปผสมกับปูนซีเมนต์หรือทรายจะได้เป็นคอนกรีตเวอร์มิคูไลท์ที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตปกติทั่วไปถึง 10 เท่า โดยทั่วไปจะผสมสารเคมีบางชนิด เพื่อใช้สำหรับพ่นกันไฟให้กับโครงสร้างเหล็ก

2.8.7 ฟอยล์

การเลือกใช้ฉนวนประเภทต่าง ๆ จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการกันความร้อนให้กับอาคาร จากการศึกษาพบว่า การใช้ฟอยล์เพียงชั้นเดียวไม่เพียงพอสำหรับการกันความร้อนจากหลังคา ต้องมีฟอยล์ไม่น้อยกว่า 3 - 4 ชั้น โดยแต่ละชั้นมีช่องอากาศ (Air Gap) ไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว และต้องป้องกันการรั่วซึมได้ดี แต่มีข้อแม้ว่าผิวของแผ่นฟอยล์จะต้องมีลักษณะมันเงาอยู่ตลอดเวลา เพราะเมื่อฟอยล์สกปรกจะสูญเสียค่าการสะท้อนรังสีไป และหากถูกฝุ่นจับจนหนาที่บก็ไม่สามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้อีกต่อไป

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อน (อวิรุทธ์ ศรีสุภาพรรณ 2541)

เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาวิเคราะห์ตัวแปรที่ทำให้หลังคาเย็น และแนวทางการประยุกต์ใช้ในการออกแบบหรือปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ตัวแปรที่เลือกมาทดลองได้แก่

- ระยะห่างของช่องอากาศใต้หลังคา
- ทำการเปรียบเทียบระยะห่างของช่องอากาศใต้หลังคาที่มีระยะของช่องอากาศ 10 ซม. และ 2 ซม.
- ความยาวของหลังคา

ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- 1) การซ้อนทับของวัสดุคุมหลังคาเพื่อให้เกิดการระบายอากาศโดยอาศัยช่องว่างอากาศใต้หลังคา จะช่วยลดอิทธิพลจากอุณหภูมิโซลแอร์ (Sol-Air Temperature) ที่จะกระทำต่อหลังคาชั้นล่างให้น้อยลง ถือเป็น การช่วยลดการนำความร้อนที่เกิดจากอากาศลงมายังพื้นที่ข้างล่าง
- 2) ระยะและพื้นที่หน้าตัดของช่องอากาศที่เพิ่มมากขึ้น จะช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองได้มากขึ้นด้วย แต่ยังไม่สามารถลดอุณหภูมิให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศได้
- 3) ในช่วงเวลากลางวัน หลังคาที่มีช่องอากาศจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนลงสู่พื้นที่ด้านล่าง แต่ในช่วงเวลากลางคืนการสูญเสียความร้อนให้กับท้องฟ้าจะทำได้ช้า
- 4) หลังคาที่มีความยาวมากขึ้นจะทำให้มีปริมาณความร้อนที่เข้ามามากกว่าหลังคาที่สั้น
- 5) หลังคาที่มีความยาวเพิ่มขึ้นทำให้ความแตกต่างอุณหภูมิในช่องอากาศระหว่างส่วนปลายและส่วนฐานหลังคามากขึ้น จึงเกิดการระบายอากาศมากขึ้น แต่ยังไม่เพียงพอที่จะระบายความร้อนที่เข้ามาให้ออกไปได้หมด
- 6) อัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นจะไม่แปรผันตรงกับความยาวหลังคา

- 7) ความแตกต่างที่มากขึ้นระหว่างอุณหภูมิในช่องอากาศในส่วนปลายด้านบน กับพื้นที่ใต้หลังคา ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้ามามากขึ้น
- 8) อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานในแต่ละระดับหลังคามีค่าไม่เท่ากัน เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น อุณหภูมิก็จะสูงขึ้น แสดงว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในหลังคาที่ระดับต่างกันจะไม่เท่ากัน

2.9.2 แนวทางการเพิ่มการนำความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุด (สุภาวดี บุญถนอม. 2541)

เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการระบายความร้อนออกโดยการนำความร้อนแทนการพาความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุดออกสู่ภายนอก จากการวิจัยพบว่า

- 1) ลักษณะของอาคารที่ระบายความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุด
 - เป็นอาคารที่มีระดับความสูงของฝ้าเพดานสูงกว่าระดับใช้งาน
 - ไม่มีการระบายอากาศ เพื่อควบคุมค่าความร้อนแฝงจากความชื้นในอากาศ
 - ลดความร้อนที่ผ่านเข้ามาในอาคาร ทั้งความร้อนที่มาจากฝ้าเพดาน ความร้อนจากผนังในระดับใช้งาน และความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงที่ผ่านเข้ามาทางช่อง
 - ผนังส่วนบนเหนือระดับการใช้งาน (2.4 – 3.0) เป็นวัสดุนำความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงเพื่อนำความร้อนที่สะสมอยู่ระดับสูงสุด ออกสู่ภายนอกให้เร็วที่สุด
- 2) ลักษณะการแบ่งชั้นความร้อนภายในอาคารที่มีลักษณะดังกล่าว พฤติกรรมของอากาศภายในจะแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้
 - ในส่วนล่างสุด ที่ใกล้กับพื้นจะได้รับอิทธิพลภายนอกน้อยที่สุดทำให้อุณหภูมิอากาศระดับนี้ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิพื้นผิวเป็นอย่างมากจึงเป็นส่วนที่อุณหภูมิแปรเปลี่ยนน้อยที่สุด ทั้งกลางวันและกลางคืน คือ ในช่วงกลางวันอุณหภูมิจะต่ำกว่าพื้นที่ในระดับอื่น และในเวลากลางคืนอุณหภูมิจะสูงกว่าพื้นที่ในระดับอื่น

- ในส่วนถัดมาจนถึงใกล้รอยต่อระหว่างผนังส่วนล่าง และผนังส่วนบน อุณหภูมิจะได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน คือ

เมื่อไม่มีความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน หรือมีน้อยจะเกิดการแบ่งความร้อนที่ชัดเจน คือในเวลากลางวันพื้นที่ในระดับที่สูงขึ้นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นอัตราค่อนข้างคงที่ ส่วนในเวลากลางคืน พื้นที่ในระดับที่สูงขึ้นจะมีอุณหภูมิลดลง อุณหภูมิแต่ละระดับที่สูงขึ้น จะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 1-1.5 องศาเซลเซียส

เมื่อมีความร้อนเกิดขึ้นภายในมากจะมีอัตราการลอยตัวขึ้นต่ำกว่าระดับความร้อนที่เกิดขึ้น ความร้อนจึงสะสมอยู่ที่ระดับที่ความร้อนนั้นเกิดขึ้น ลอยตัวขึ้นไม่ทันอัตราการเกิดความร้อน แต่จะเป็นการแผ่ความร้อนขึ้นอย่างช้าๆ จึงทำให้อุณหภูมิที่ระดับนี้สูงกว่าที่ระดับอื่น ในขณะที่เดียวกันความร้อนที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวกันการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างระดับล่าง และระดับเหนือจากแหล่งกำเนิดความร้อน

- ในบริเวณผนังส่วนบนจะได้รับอิทธิพลจากอากาศภายนอก และอัตราการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอก เป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิแปรเปลี่ยนตามอากาศภายนอก ทั้งกลางวันและกลางคืน หากความร้อนภายในลอยขึ้นมาถึงระดับนี้ ก็จะถูกถ่ายเทโดยการนำความร้อนผ่านผนังส่วนบน

3) ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการระบายความร้อนโดยการนำความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุด

- อุณหภูมิอากาศภายนอก จะมีผลถ่ายเทความร้อนเข้าและออก อุณหภูมิภายในจะแปรตามอุณหภูมิภายนอก โดยเฉพาะที่อากาศร้อนสูงสุด
- ค่ารังสีดวงอาทิตย์ ในเวลากลางวันจะมีผลต่อระดับอุณหภูมิภายนอก จากการแผ่รังสีความร้อนจากอาทิตย์โดยตรง และแบบกระจาย (Diffuse) ที่ผ่านเข้ามาภายในหรือกระทบผิวผนัง ซึ่งทำให้เกิด Sol-Air Temperature ได้ ดังนั้นอุณหภูมิภายในจะแปรผันตามค่ารังสีความร้อนที่เข้ามา และที่กระทบผิวผนัง

- ความสูงที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ชั้นอากาศร้อนลอยไปสะสมสูงขึ้น
- ความร้อนจากแหล่งกำเนิดภายใน (Internal Heat Gain) คืออุณหภูมิภายในจะแปรผันตามปริมาณความร้อนจากแหล่งกำเนิดภายใน โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดจะได้รับอิทธิพลมากกว่าส่วนที่อยู่ห่างออกมา
- พื้นที่ผิวของวัสดุผนังส่วนบน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูง ถ้ามีพื้นที่มากขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนออกก็จะเพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้ชัดในการทดลองที่ 2 ในเวลาากลางคืน
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งมาจากส่วนกลับของผลรวมความต้านทานความร้อนของวัสดุ พิล์มอากาศภายในและภายนอก ซึ่งค่าความต้านทานของวัสดุที่ใช้ในการทดลองมีค่าต่ำมาก คือ $1.06-10.5 \text{ } ^\circ\text{F}\cdot\text{sq. ft. hr.} / \text{Btu}$ จะเห็นว่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน คือความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ซึ่งสามารถลดลงได้ หากเพิ่มความเร็วลมที่ผิววัสดุ
- วัสดุที่นำความร้อนที่ผนังส่วนบนด้านทิศเหนือและใต้ วัสดุทั้ง 2 ประเภทคือวัสดุทึบแสง (สังกะสี หนา 0.2 มม.) และวัสดุโปร่งแสง (กระจกใส 6 มม.) มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกัน และการไม่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงตลอดทั้งวันนั้น จะทำให้อุณหภูมิภายในไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญ แต่อุณหภูมิที่ผิวกระจกในช่วงกลางวันจะสูงกว่าสังกะสี เนื่องจากค่าความดูดซับความร้อน (Absorption) ของวัสดุต่างกัน คือกระจก 40% และสังกะสีทาสีขาว 35%
- การเลือกใช้วัสดุนำความร้อนที่ผนังส่วนบน จะต้องเป็นวัสดุที่ไม่เกิดความเสียหายเมื่อสัมผัสความชื้น หรือมีการกลั่นตัวของไอน้ำที่อาจเกาะที่ผิววัสดุดังกล่าว กระจกเป็นหนึ่งในวัสดุที่เหมาะสมเพราะสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร และทนต่อความชื้นรวมทั้งไอน้ำที่มาเกาะ ส่วนอุณหภูมิของผิวกระจกที่สูงนั้น เนื่องจากค่าเฉลี่ยรังสีความร้อน (Mean Radiant Temperature) ไม่มากเพราะมุมที่เปิดรับกับพื้นผิววัสดุ ณ จุดที่มีมนุษย์ใช้งานทั่วไป จะมีอุณหภูมิต่ำเนื่องจากผนังส่วนบนจะอยู่สูงกว่าระดับใช้งานขึ้นไป

2.9.3 การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคา (จญาติาน บุญเกียรติ, 2537)

เป็นการวิจัยเพื่อหาแนวทางในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารที่ผ่านทางหลังคา โดยเน้นที่การศึกษาปัจจัยที่จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะช่องเปิดเพื่อการระบายอากาศให้ช่องใต้หลังคา การใช้วัสดุกันความร้อน ตำแหน่งที่ติดตั้ง และการเลือกใช้วัสดุผนังหลังคา การศึกษานี้อาศัยการประเมินประสิทธิภาพในการกันความร้อนโดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดสอบ

ผลการวิจัยพบว่า ในแต่ละชุดของการทดลอง สามารถสรุปทางเลือกที่ดีที่สุดได้โดยเปรียบเทียบจากอุณหภูมิสูงสุดภายในกล่องทดสอบแต่ละกล่อง ผลการทดสอบระบายอากาศในช่องใต้หลังคาพบว่า กล่องทดสอบเปิดโล่งที่ชายคา ให้ค่าอุณหภูมิต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ไม่มีการระบายอากาศประมาณ 2.5 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบเรื่องการใช้นวนพบว่า การใช้ฉนวนใยแก้วที่มีค่าความต้านทานสูงวางบนฝ้าเพดานให้อุณหภูมิต่ำกว่าการไม่ใช้ฉนวนใดๆ ประมาณ 9 องศาเซลเซียส ในระบบปิด ส่วนการทดสอบวัสดุผนังหลังคา ได้ผลว่า หลังคาฉนวนจากให้อุณหภูมิต่ำกว่าหลังคากระจกใสประมาณ 47 องศาเซลเซียส และการทดสอบระบบหลังคา พบว่า ระบบที่เกิดจากการออกแบบให้อุณหภูมิต่ำกว่าระบบปัจจุบันนิยมประมาณ 5.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการพิสูจน์ให้เห็นว่า เราสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการออกแบบระบบหลังคาที่เหมาะสมได้ แม้ว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศแล้วยังสูงกว่าอยู่ก็ตาม เพราะในความเป็นจริง ส่วนพื้นที่อยู่อาศัยย่อมต้องการมีการเจาะช่องเปิดเป็นหน้าต่างหรือประตู ซึ่งจะช่วยในเรื่องการระบายอากาศ ทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าที่ทำการทดลองนี้แน่นอน

การใช้หลังคากระจก โดยไม่มีระบบการระบายอากาศเป็นเรื่องที่อันตราย เพราะอุณหภูมิภายในสามารถสูงถึง 85 องศาเซลเซียส อันเนื่องมาจากการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ดังนั้นการออกแบบสกายไลท์ จึงควรมีความระมัดระวังที่จะให้มี Ventilation หรือ Factor ประการอื่นๆ ให้เหมาะสมต่อการอยู่อาศัย ฉนวนกันความร้อนนั้นควรจะใช้ประกอบกับระบบระบายอากาศที่ดีด้วย จึงจะให้ผลในการกันความร้อนได้เต็มประสิทธิภาพ

2.9.4 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัย (จุไรพร ตุมพสุวรรณ. 2540)

เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของวัสดุผนังหลังคาบ้านพักในอดีต และบ้านพักอาศัยในปัจจุบันในแง่ของการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคา และปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องในการลดการถ่ายเทความร้อนของหลังคาแต่ละแบบโดยแบ่งขั้นตอนทดลองได้ดังนี้

- 1) การทดสอบคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ผลการวิจัยพบว่า หลังคาที่ใช้หญ้าคาเป็นวัสดุผนังหลังคา ส่งผลให้อุณหภูมิในกล่องทดลองมีอุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับหลังคาที่ใช้กระเบื้องดินเผา กระเบื้องซีเมนต์ แผ่นโลหะ และหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก
- 2) ทดสอบมุมเอียงของหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ทำการทดสอบหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน พบว่าหลังคาที่มีมุมเอียง 60 องศา มีอุณหภูมิภายในกล่องทดลองต่ำที่สุด รองลงมาคือ หลังคาเอียง 40 องศา 30 องศา และหลังคาแบนราบตามลำดับ

2.9.5 Comparative Summer Attic Thermal Performance of Six Roof Constructions (D.S. Parker and J.R. Sherwin)

เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการลดภาระการปรับอากาศในภูมิภาคเขตร้อน (Hot Climate) โดยการใช้พื้นที่ใต้หลังคา (Attic Space) เป็นส่วนช่วยในการป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร สถานที่ทำการศึกษาคือ Cocoa, Florida ทำการศึกษาเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของระบบหลังคาที่ผนังหลังคาด้วยวัสดุแตกต่างกัน 6 ชนิด คือ

Cell 1: Direct nailed white concrete barrel tile

Cell 2: Black asphalt shingles; deck mounted RBS ; 1:150 soffit and ridge ventilation

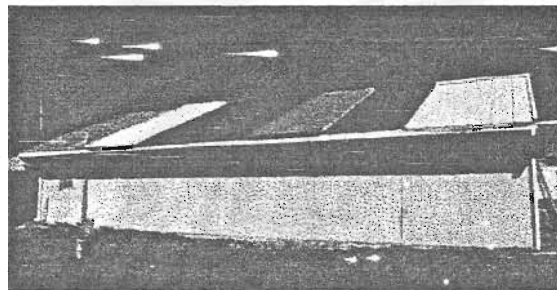
Cell 3: Black asphalt shingles; deck mounted RBS ; 1:300 soffit and ridge ventilation

Cell 4: Direct nailed red concrete barrel tile; 1:30 ventilation

Cell 5: Black asphalt shingles; 1:300 soffit and ridge ventilation (reference cell)

Cell 6: White standing seam metal; 1:300 soffit and ridge ventilation

โดยเป็นการสร้างแบบทดลองเป็นอาคารหลังเดียว จัดวางระบบหลังคาและวัสดุผนังหลังคาทั้ง 6 ชนิดเรียงกันในแนวเหนือใต้ ภายในแบบทดลองแบ่งพื้นที่ออกเป็น 6 ส่วน จัดวางวัสดุผนังหลังคาขนาด 24 x 48 ฟุต กั้นระหว่างพื้นที่ด้วย insulation foam (R-20 sq.ft-hr-°F) ความหนา 3 นิ้ว เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนและแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างพื้นที่ภายในด้วยกัน



ภาพที่ 2.8 ภาพถ่ายอาคารทดลอง

จากการวิจัยพบว่า

- 1) อุณหภูมิของพื้นที่ใต้หลังคาของระบบหลังคาโลหะทาสีขาวมีอุณหภูมิต่ำที่สุด และมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาตลอด 24 ชั่วโมง และช่วยลดภาระการทำความเย็นโดยเฉลี่ยประมาณ 19 %
- 2) การระบายอากาศในส่วนพื้นที่ใต้หลังคาช่วยถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ในพื้นที่ใต้หลังคา และเป็นการสกัดกั้นการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาเข้าสู่พื้นที่ใช้งานด้านล่าง

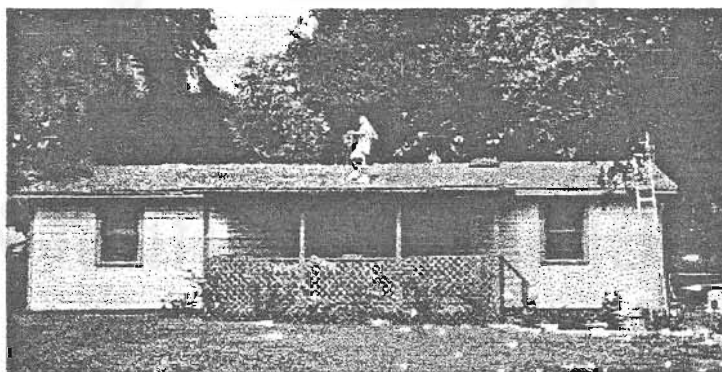
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.9.6 PERFORMANCE ASSESSMENT OF PHOTOVOLTAIC ATTIC

VENTILATOR FAN (Parker, Danny S. and Sherwin, John R.)

เป็นงานวิจัยเชิงประจักษ์ เพื่อควบคุมปริมาณความร้อนของพื้นที่ใต้หลังคา ซึ่งเป็นผลต่อการลดปริมาณพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศภายในบ้านพักอาศัยเขตร้อนชื้น โดยศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการควบคุมภาระการทำความเย็นในบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น ในเรื่องประสิทธิภาพการใช้ช่องว่างอากาศในพื้นที่ใต้หลังคาในการป้องกันการส่งผ่านความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของระบบฝ้าเพดาน อิทธิพลในการส่งผ่านความร้อนในระบบช่องว่างอากาศ และการรั่วซึมของอากาศเข้ามาภายในพื้นที่ใช้งานอาคาร

ในการทดลองจะทดสอบประสิทธิภาพการลดภาระการทำความเย็น ให้การระบายอากาศใต้หลังคาควบคู่กับการใช้พัดลมระบายอากาศ โดยทำการศึกษาปรับปรุงหลังคาจากกลุ่มตัวอย่างที่คัดเลือกไว้มีรายละเอียดการเก็บข้อมูลการวิจัยคือ ทำการทดลองในบ้านพักชั้นเดียว ในเมือง Cocoa, Florida มีพื้นที่ปรับอากาศภายในทั้งสิ้น 1,045 ตารางฟุต ใช้เครื่องปรับอากาศระบบ Split type ขนาด 2.5 ตันความเย็น โดยจะทำการเก็บข้อมูลในส่วนของห้องนอน 3 ห้อง ซึ่งก่อนที่จะทำการปรับปรุงมีอุณหภูมิภายใน ในฤดูร้อนเฉลี่ยประมาณ 73 องศาฟาเรนไฮต์ วัสดุผนังหลังคาคือ Asphalt Shingle สีน้ำตาล วางบนแผ่นไม้อัดซึ่งมีค่าการคายรังสีความร้อน (Emissivity) 0.92



ภาพที่ 2.9 ภาพถ่ายอาคารทดลองในทิศตะวันออก

ทำการเก็บข้อมูลในช่วงวันที่ 7 Aug – 15 Sep 1997 เก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิและ
ความชื้นสัมพัทธ์ในส่วนต่างๆดังนี้

- อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
- อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณพื้นที่ใต้หลังคา
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ

จากการวิจัยพบว่า

- 1) การใช้การระบายอากาศพื้นที่ใต้หลังคาพร้อมกับพัดลมระบายอากาศช่วยลดอุณหภูมิ
โดยเฉลี่ยประมาณ 6% หรือ 2.8 kWh / day
- 2) การระบายอากาศในบริเวณพื้นที่ใต้หลังคาจะทำให้ความชื้นจำนวนมากจากสภาพ
แวดล้อมภายนอกเข้ามาพร้อมกับการระบายอากาศ ในพื้นที่ใต้หลังคามีระดับความชื้น
สัมพัทธ์ที่สูง
- 3) การใช้พัดลมขนาด 250 – 300 W เข้ามาช่วยระบายอากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับพลัง
งานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ ในช่วงเวลาที่ peak จะใช้พลังงาน 10% ของพลังงาน
ไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัตถุประสงค์และวิธีการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรและแนวทางในการทำวิจัย โดยจะทดสอบตัวแปรทางด้านอุณหภูมิจากกล่องทดลองและอาคารทดลอง ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยชิ้นนี้ มุ่งเน้นเพื่อแสวงหาระบบหลังคาที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร และสามารถนำมาใช้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยแบ่งขั้นตอนการเตรียมการทดลองดังนี้

1. การเตรียมสถานที่ทดลอง
2. การเตรียมกล่องทดลองและอาคารทดลอง
3. การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย
4. ทดสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย

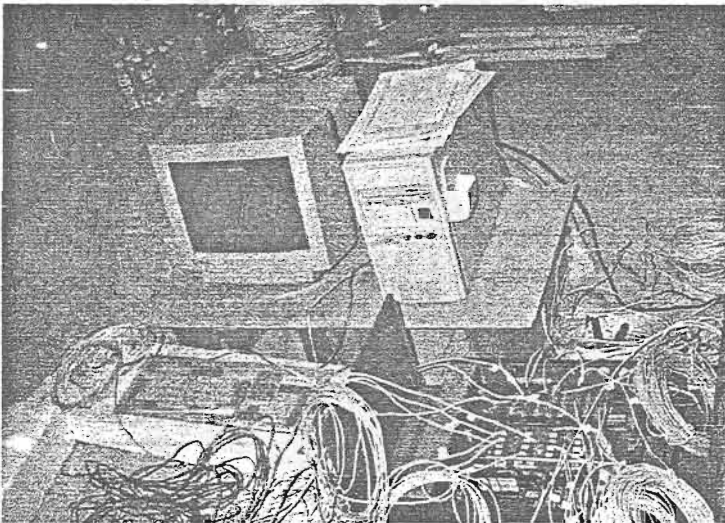
3.1.1 การเตรียมสถานที่ทดลอง

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยชิ้นนี้ ได้ถูกกำหนดให้เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่สภาพภูมิอากาศในเขตร้อนชื้น และต้องไม่มีผลกระทบของตัวแปรแทรกซ้อนจากบริเวณข้างเคียง กล่าวคือ ต้องเป็นพื้นที่โล่งแจ้ง ไม่มีสิ่งปลูกสร้างในบริเวณข้างเคียง เช่น พื้นถนนคอนกรีต อาคารขนาดใหญ่ อาคารสูง หรือต้นไม้ใหญ่ ที่อาจจะบังร่มเงา ทำให้อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ของความเร็วลมที่พัดผ่านกล่องทดลอง และอาคารทดลองไม่สม่ำเสมอได้ สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ตั้งอยู่ในหมู่บ้านเมืองเอก ในเขตปริมณฑลของกรุงเทพฯ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการทดลอง รวมทั้งสะดวกในการเดินทาง การซื้ออุปกรณ์ก่อสร้าง และการก่อสร้าง

3.1.2 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 ซึ่งเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลทางอุณหภูมิ การใช้งานเครื่อง Data Logger System 200 จะต้องป้องกันความร้อนจากแดด ฝน ความชื้น รวมทั้งป้องกันฝุ่นละอองจากภายนอกไม่ให้มากระทบเครื่องโดยตรง ควรต่อเครื่องรับสัญญาณร่วมกับเครื่องสำรองไฟ (UPS) เพื่อป้องกันความเสียหายของข้อมูล ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าตก หรือดับ เพราะอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลได้



ภาพที่ 3.1 เครื่อง Data Logger System 200 และเครื่องคอมพิวเตอร์

2. สายวัดและหัววัด อุณหภูมิ

ใช้หัวเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) ขนาดความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม เป็นตัวรับสัญญาณต่อกับสายโทรศัพท์แบบ 2 สายเป็นสายวัดอุณหภูมิ เป็นตัวแปลงสัญญาณเข้ากับเครื่อง Data Logger System 200 และบันทึกข้อมูลที่ได้ในคอมพิวเตอร์ เมื่อติดตั้งหัวเทอร์มิสเตอร์ต่อเข้ากับสายโทรศัพท์แล้ว ต้องมีการเคลือบด้วยวัสดุป้องกันความชื้น เช่น แลคเกอร์ กาวยาง ฯลฯ ที่บริเวณหัวเทอร์มิสเตอร์และรอยต่อของสาย ถ้าไม่ได้ป้องกันความชื้นในบริเวณดังกล่าวอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลเกิดได้

ในการวิจัยนี้ การใช้หัวเทอร์มิสเตอร์วัดอุณหภูมิ แบ่งเป็น 2 รูปแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การวัดอุณหภูมิอากาศ จะใช้หัววัดอุณหภูมิสัมผัสกับอากาศบริเวณที่ต้องการวัดโดยตรง แต่ต้องป้องกันหัววัดอุณหภูมิไม่ให้ได้รับแสงแดดโดยตรงจากพระอาทิตย์ เพราะจะทำให้ อุณหภูมิที่วัดได้สูงเกินกว่าค่าอุณหภูมิอากาศจริงที่ต้องการวัด
- การวัดอุณหภูมิผิววัสดุ จะใช้หัววัดอุณหภูมิสัมผัสกับผิววัสดุที่ต้องการ แต่จะต้องป้องกันอิทธิพลของรังสีความร้อนจากบริเวณโดยรอบ โดยใช้โฟม EPS ที่ความหนาแน่น 1 ปอนด์ ต่อ ลบ.ฟุต ขนาดประมาณ 1.5 ซม x .5 ซม x 1.5 ซม เคลือบด้วยสีอะคริลิกสีขาว ปิดที่หัววัดอุณหภูมิ และป้องกันรั่วซึมจากอากาศด้านนอกด้วยซีลีโคน

3.1.3 ทดสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย

ทดสอบด้วยสัญญาณวัดข้อมูล และปรับตั้งค่าตัวประกอบแต่ละสาย โดยจะนำสัญญาณวัดข้อมูลวางไว้ในสภาวะอุณหภูมิเดียวกัน ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 80 องศาเซลเซียส ถึง 15 องศาเซลเซียส จากนั้นปรับแต่งค่าที่อ่านได้ในแต่ละสายสัญญาณโดยใช้สมการถดถอย (Regression) เพื่อหาสมการปรับการอ่านในแต่ละสายสัญญาณให้มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด

ทดสอบอาคารทดลอง เพื่อป้องกันผลกระทบจากตัวแปรแทรกซ้อน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดของการเก็บข้อมูล เช่น ความชื้นที่สะสมในมวลสาร ความร้อนที่เกิดจากระยะการบ่มตัวของคอนกรีต, การรั่วซึมจากอากาศภายนอกสู่ภายในกล่องทดลอง และอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่ตั้งอาคารทดลอง เป็นต้น ในแต่ละกล่องมีการปรับตั้งค่าตัวประกอบโดยใช้สมการถดถอย (Regression) เพื่อหาสมการปรับการอ่านค่าในแต่ละกล่องทดลองให้มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด

3.1.4 การเตรียมอาคารทดลองและหลังคาทดลอง

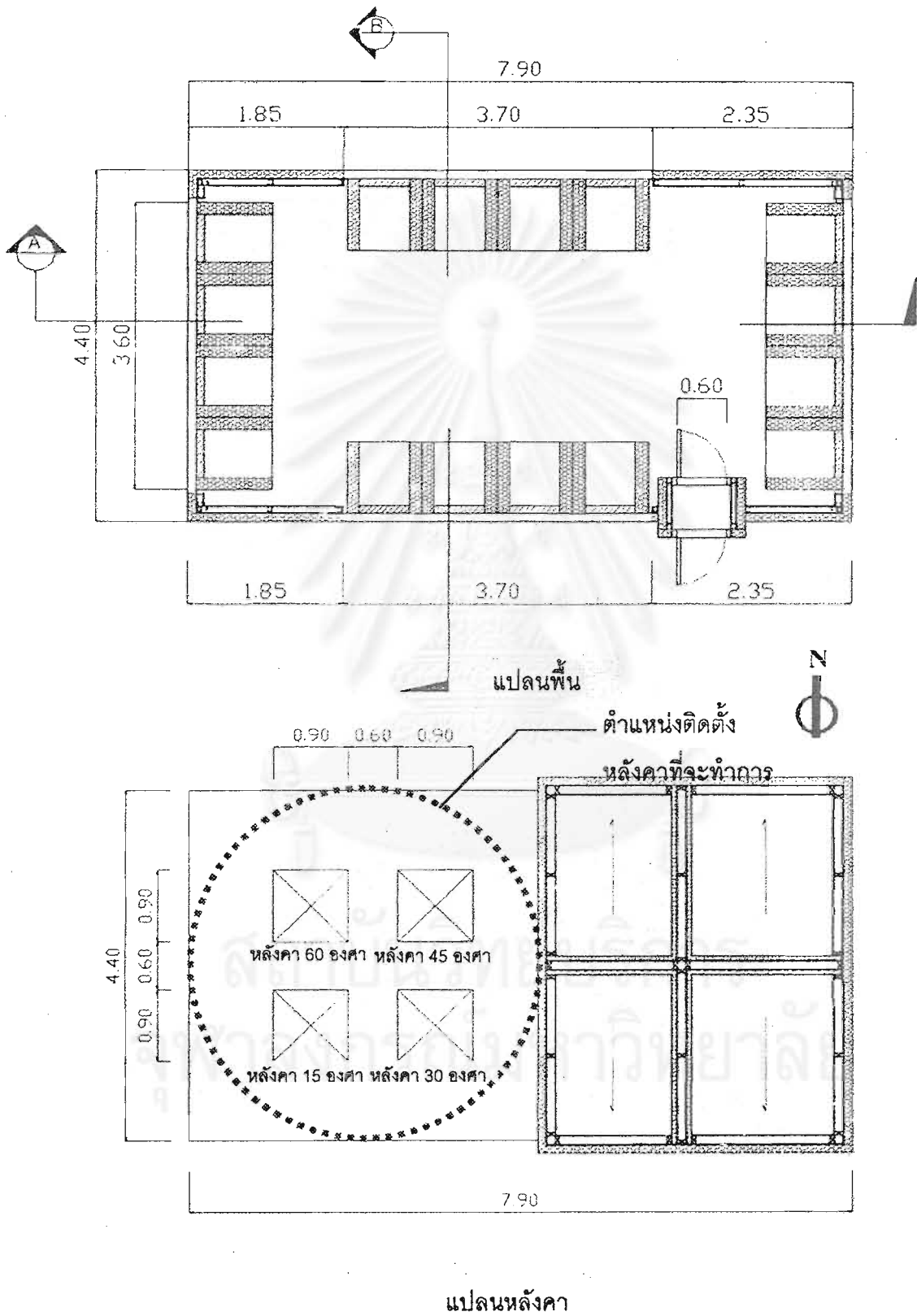
การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดรูปแบบในการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยอาคารทดลองที่สร้างจากโฟม Polystyrene Foam (EPS) หนา 3 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต เนื่องจากมีการปรับอากาศภายในอาคารทดลอง เพื่อควบคุมอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ต้องการทดสอบได้อย่างชัดเจน และสามารถนำมาคำนวณภาวะการทำควมเย็นที่มีต่อหลังคาทดลอง



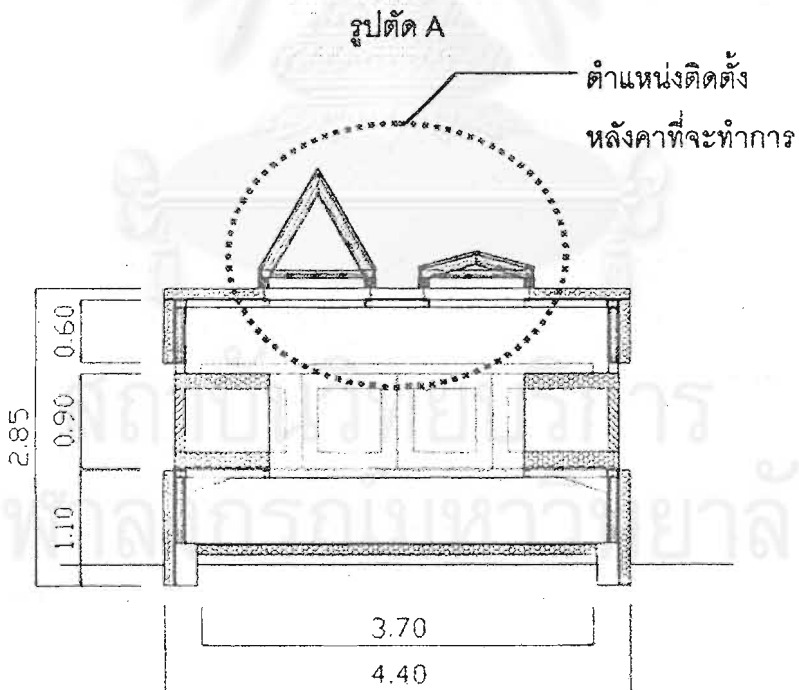
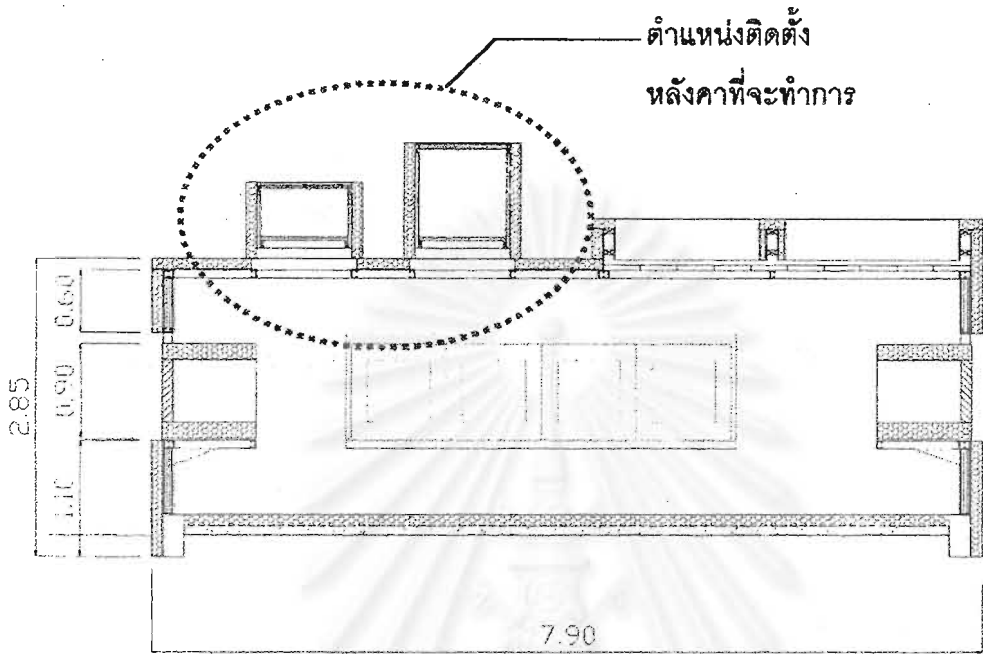
ภาพที่ 3.2 อาคารทดลอง

ดำเนินการสร้างหลังคาทดลองโดยมีโครงสร้างเป็นไม้ ขนาดภายใน 90 ซม. x 90 ซม. เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีค่าการสะสมความร้อนน้อย และมีความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง ด้านข้างของหลังคาทดลองที่ไม่มีวัสดุผนังหลังคาปิดทับหุ้มด้วยโฟม Polystyrene Foam (EPS) หนา 3 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต เพื่อป้องกันอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ทำการทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.3 แบบก่อสร้างอาคารทดลอง



รูปตัด B

ภาพที่ 3.4 แบบก่อสร้างอาคารทดลอง (ต่อ)

3.2 การเตรียมการทดลอง

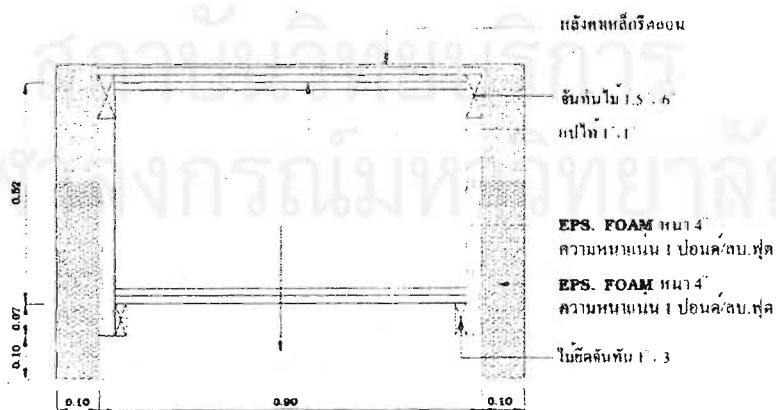
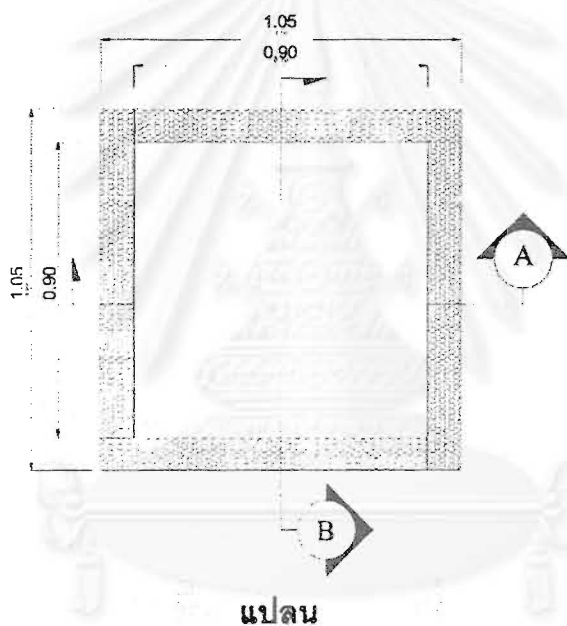
จากวัตถุประสงค์การวิจัย สามารถกำหนดขั้นตอนในการทดลอง เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในช่องว่างระบายอากาศ และการเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันการถ่ายเทความร้อน ได้ดังนี้

- 1) ใช้กล่องทดลองจำลองพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา เพื่อควบคุมตัวแปรในการวิจัย
- 2) กำหนดมุมเอียงหลังคา 15 องศา 30 องศา 45 องศา และ 60 องศา เพื่อให้อัตราการเอียงของหลังคาคงที่
- 3) เก็บข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ (ภาพที่ 3.5 – 3.10) เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนของระบบหลังคา
- 4) การใช้ฉนวนโดยกำหนดค่าความต้านทานความร้อนในการวิจัยนี้เป็นเพียงการจำลองค่าฉนวนให้มีคุณสมบัติต่างๆ ตามที่กำหนดแต่ไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ เนื่องจากไม่สามารถป้องกันเพลิงไหม้ หรืออาจเป็นเชื้อเพลิง วัสดุโฟมมีจุดหลอมเหลวต่ำจะเสียคุณสมบัติเมื่อความร้อนได้หลังคาสูงเกินจุดหลอมเหลว วัสดุไม่สามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) และเกิดความเสียหายได้ทำให้อายุการใช้งานลดลง และอื่นๆ
- 5) ทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคา
 - การศึกษาพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่มีองศาต่างกัน
 - การศึกษาพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาในทิศทางที่ต่างกัน
 - การศึกษาผลกระทบของมวลสารวัสดุผนังหลังคาที่ต่างกัน
- 6) ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกันความร้อนและการระบายความร้อนภายในช่องว่างระบายอากาศได้หลังคา
 - การศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของระบบหลังคาที่วางฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่ต่างกัน
 - การศึกษาประสิทธิภาพการระบายความร้อนของวัสดุผนังหลังคาที่ต่างกัน
 - การศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของฉนวนที่มีความหนาต่างกัน

3.2.1 ทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคา

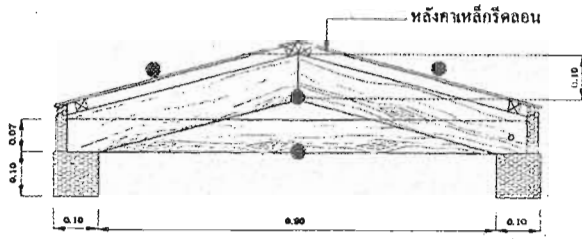
การทดลองที่ 1

การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่มีองศาต่างกัน โดยจัดสร้างแบบหลังคาจำลองปิดด้านข้างโดยรอบทั้ง 4 ด้านด้วยโฟม Polystyrene Foam (EPS)หนา 3 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต มีขนาดภายในเท่ากันคือ 90 x 90 ซม. กำหนดมุมเอียงของหลังคาคือ 15, 30, 45 และ 60 องศา เพื่อเป็นตัวแทนหลังคาที่มีความลาดชันน้อย ความลาดชันปานกลาง และความลาดชันมาก มุงหลังคาด้วยกระเบื้องดินเผาเหมือนกันทั้งหมด และไม่มีการระบายอากาศภายใต้หลังคา ทำการทดลองในสภาพปรับอากาศ

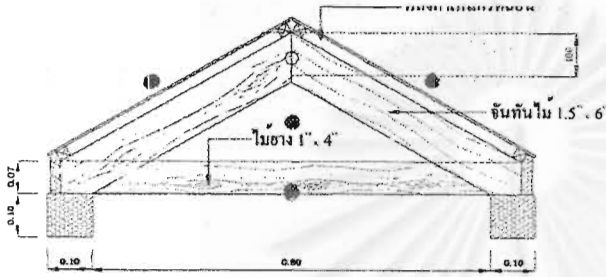


รูปตัด B

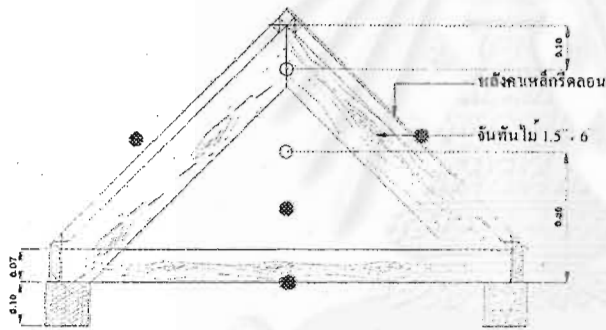
ภาพที่ 3.5 รายละเอียดแบบก่อสร้างของหลังคาทดลองของการทดลองที่ 1



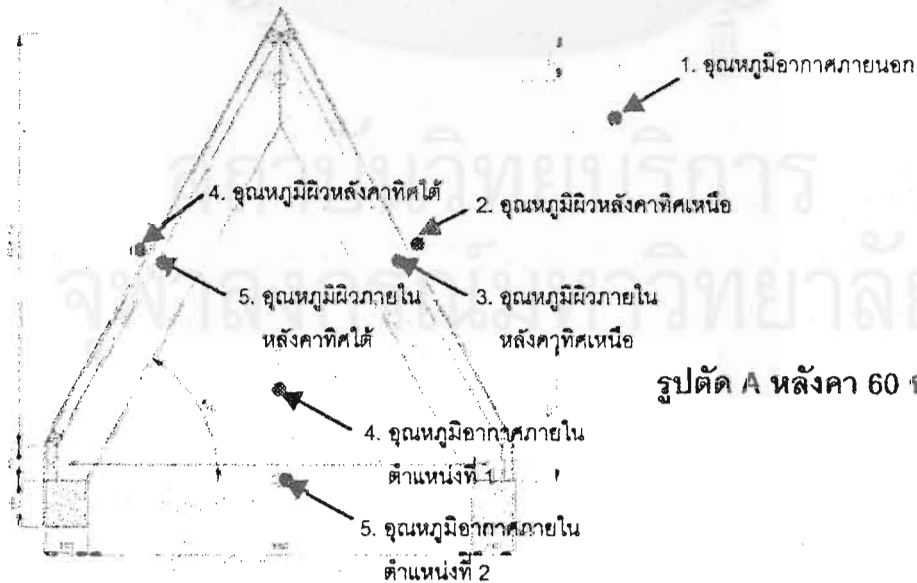
รูปตัด A หลังคา 15 องศา



รูปตัด A หลังคา 30 องศา

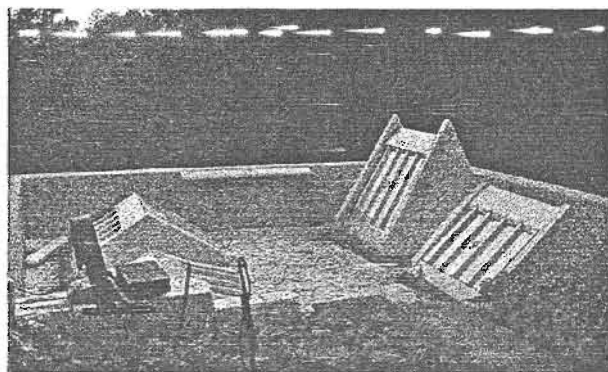


รูปตัด A หลังคา 45 องศา



รูปตัด A หลังคา 60 องศา

ภาพที่ 3.6 รายละเอียดแบบก่อสร้างของหลังคาทดลองและการติดตั้งหัวสัญญาณวัดจุดหนุมีของการทดลองที่ 1



ภาพที่ 3.7 การติดตั้งหลังคาทดสอบของการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2

การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาในทิศทางที่ต่างกัน ทำการเก็บข้อมูลจากแบบจำลองมีขนาดภายในเท่ากันคือ 90×90 ซม. ปิดด้านข้างโดยรอบด้วยโฟม Polystyrene Foam (EPS) หนา 3 นิ้ว ที่ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต กำหนดความลาดเอียงของหลังคาเท่ากันคือ 60 องศา มุงหลังคาด้วยกระเบื้องดินเผาสีธรรมชาติไม่เคลือบผิว ขนาด 14.50×90 ซม. น้ำหนัก 63 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิที่ผิวภายนอกของวัสดุผนังหลังคาในทิศทางที่ต่างกัน คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และเก็บข้อมูลในสภาวะไม่ปรับอากาศ

การทดลองที่ 3

การศึกษาผลกระทบของมวลสารวัสดุผนังหลังคา ทำการเก็บข้อมูลจากวัสดุผนังหลังคาขนาดเท่ากันคือ 30×30 ซม. กำหนดความลาดเอียงของหลังคาเท่ากันคือ 30 องศา คัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่นำมาทดสอบเปรียบเทียบ เพื่อเป็นตัวแทน วัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารมาก มวลสารปานกลาง และมวลสารน้อย วัสดุที่จะนำมาทดสอบได้แก่

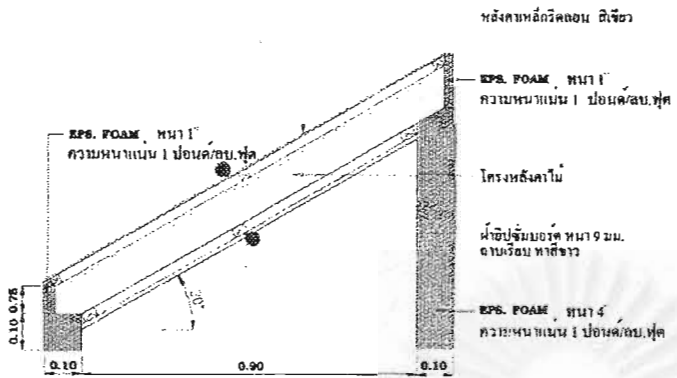
- คอนกรีตฉาบเรียบไม่ทำสีหนา 10 ซม.
- กระเบื้องดินเผาสีธรรมชาติไม่เคลือบผิว ขนาด 14.50×90 ซม.
- แผ่นโลหะรีดลอนเคลือบสังกะสี ไม่เคลือบสี หนา 0.4 มม.

3.2.2 ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกันความร้อนและการระบายความร้อนภายในช่องว่างระบายอากาศใต้หลังคา

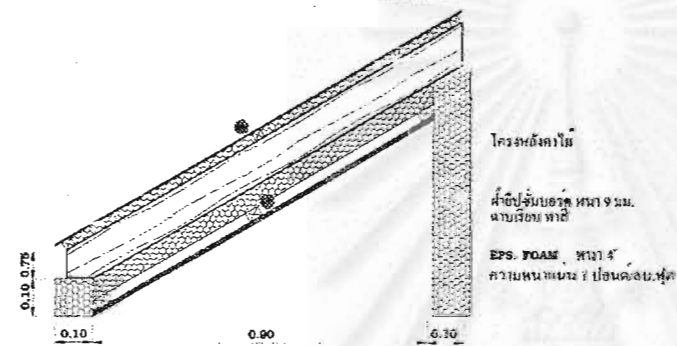
การทดลองที่ 1

การศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของระบบหลังคาที่วางฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่ต่างกัน โดยจัดสร้างแบบหลังคาจำลองโดยปิดด้านข้างโดยรอบทั้ง 4 ด้าน ด้วยโพลีสไตรีนโฟม (EPS) หนา 3 นิ้ว ที่ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต มีขนาดภายในเท่ากันคือ 90 x 90 ซม. กำหนดความลาดชันของหลังคา 30 องศา เหมือนกันทั้งหมด เนื่องจากความลาดชัน 30 องศาจะเริ่มมีความกดอากาศหลังคาแตกต่างกันและทำให้เกิดการระบายอากาศในช่องว่างระบายอากาศใต้หลังคา วางหันไปในทิศเหนือเนื่องจากทิศเหนือเป็นทิศทางที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีตรงของดวงอาทิตย์ (Direct Solar Radiation) น้อยที่สุด มุงหลังคาด้วยวัสดุมุงหลังคาที่มีความเหมาะสมต่อระบบหลังคาที่มีการระบายอากาศในช่องว่างอากาศใต้หลังคา (จากการทดลองเรื่องผลกระทบของมวลสารวัสดุมุงหลังคา) กำหนดสีวัสดุมุงหลังคาเป็นสีเขียวเนื่องจากสีเขียวเป็นสีที่ก่อความรำคาญทางสายตาน้อยที่สุด และใช้ฉนวนโพลีสไตรีนความหนาแน่นหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต ความหนารวมหนา 3 นิ้ว ค่าคามต้านทานความร้อน 12 hr.sf. F / Btu เป็นตัวแทนค่าฉนวนเพื่อการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

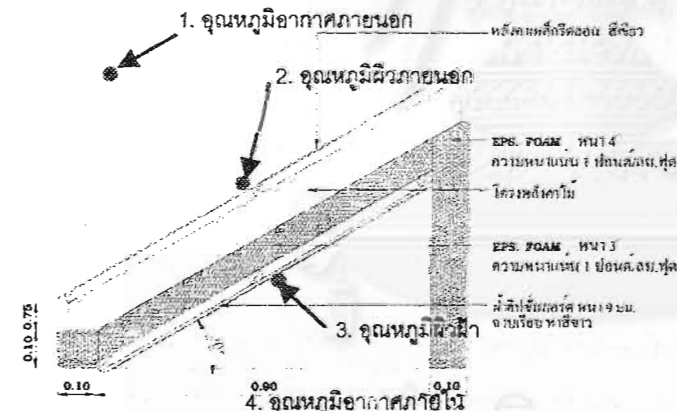
- 1) ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มม. สีขาว ไม่มีการระบายอากาศ
- 2) ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มม. สีขาว และโฟม Polystyrene Foam (EPS) หนา 2 นิ้ว (ติดตั้งฉนวนใต้จันทัน) และโฟม Polystyrene Foam (EPS) หนา 1 นิ้ว (ติดตั้งฉนวนใต้วัสดุมุงหลังคา) มีการระบายอากาศ
- 3) ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มม. สีขาว และโฟม Polystyrene Foam (EPS) หนา 3 นิ้ว (ติดตั้งในแนวจันทัน หรือแนวเอียง 30 องศา) มีการระบายอากาศ
- 4) ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มม. สีขาว และโฟม Polystyrene Foam (EPS) หนา 3 นิ้ว (ติดตั้งในแนวราบ) มีการระบายอากาศ



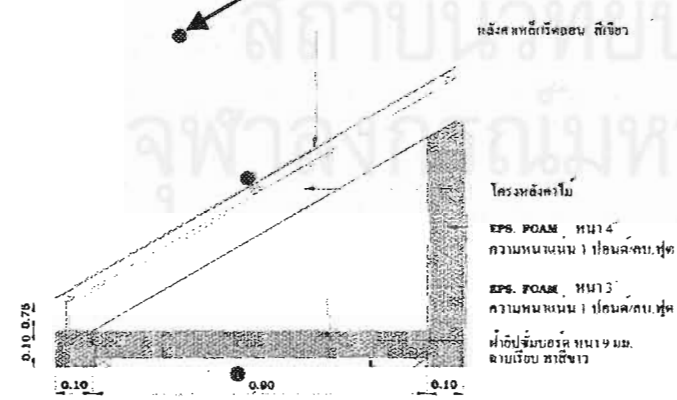
1. ไม่มีการระบายอากาศ



2. ฉนวนโพลีสไตรีน 2 ชั้น

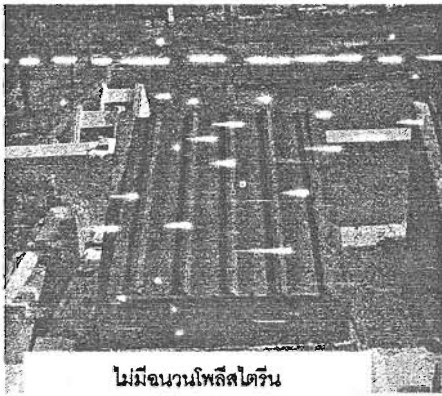


3. มีการระบายอากาศ และ EPS. FOAM 3 นิ้ว ในแนวจันทัน

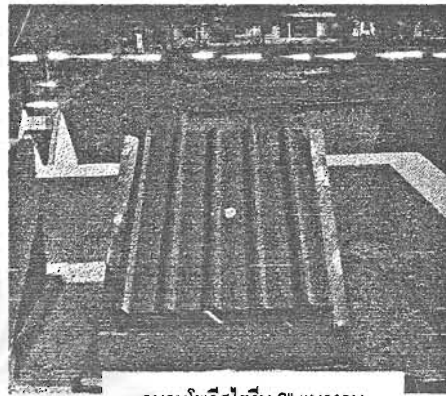


4. มีการระบายอากาศ และ EPS. FOAM 3 นิ้ว ในแนวราบ

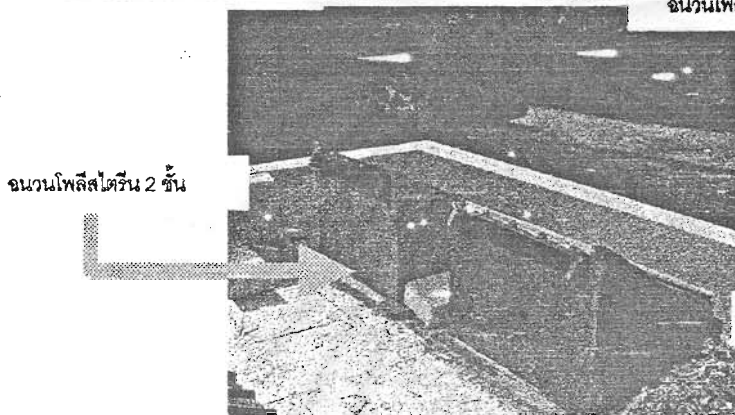
ภาพที่ 3.8 รายละเอียดแบบก่อสร้างของหลังคาทดลองและการติดตั้งหัวสัญญาณวัดอุณหภูมิของหลังคาทดลองของการทดลองที่ 3



ไม่มีฉนวนโพลีสไตรีน



ฉนวนโพลีสไตรีน 3" แนวราบ



ฉนวนโพลีสไตรีน 2 ชั้น

ฉนวนโพลีสไตรีน 3" แนวจันทัน

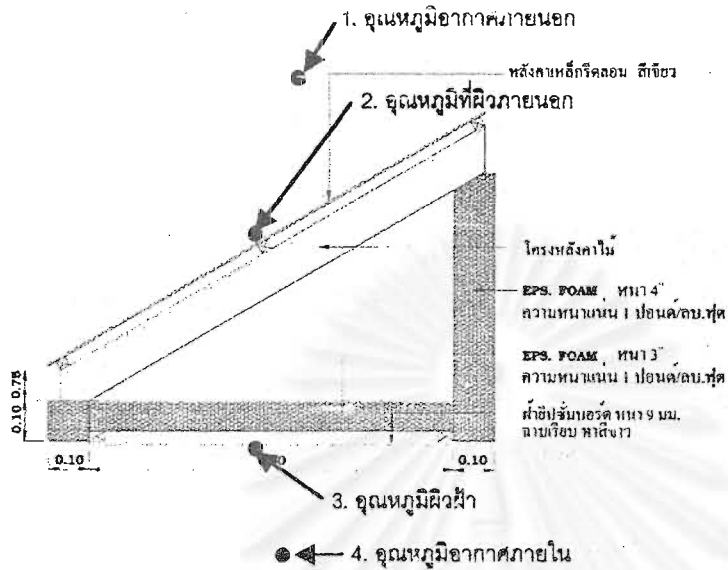
ภาพที่ 3.9 การติดตั้งหลังคาทดสอบของการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2

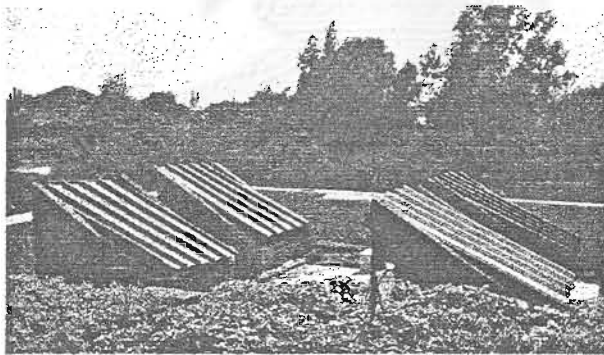
การศึกษาประสิทธิภาพการระบายความร้อนของสวิตช์คุมงหลังคาที่ต่างกัน โดยใช้ระบบหลังคาจากการทดลองที่ 1 เรื่องการศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของระบบหลังคาที่วางฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่ต่างกัน

โดยใช้ระบบหลังคาจากการทดลองที่ 1 เรื่องการศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของระบบหลังคาที่วางฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่ต่างกัน และใช้ฉนวนโพลีสไตรีนความหนาแน่นหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ. ฟุต ความหนารวมหนา 3 นิ้ว ค่าคามต้านทานความร้อน 12 hr.sf. F / Btu เป็นตัวแทนค่าฉนวนเพื่อการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) หลังคาเหล็กกรัดลอนเคลือบสีเขียว หนา 0.4 มม.
- 2) หลังคาเหล็กกรัดลอนเคลือบสีดำ หนา 0.4 มม.
- 3) หลังคาเหล็กกรัดลอนเคลือบสีขาว หนา 0.4 มม.



ภาพที่ 3.10 แสดงรายละเอียดการติดตั้งหัวสัญญาณวัดอุณหภูมิของหลังคาทดลองของการทดลองที่ 3



ภาพที่ 3.11 การติดตั้งหลังคาทดสอบของการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3

การศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของฉนวนที่มีความหนาต่างกัน โดยใช้ระบบหลังคาจากการทดลองที่ 2 เรื่องการศึกษาประสิทธิภาพการระบายความร้อนของสีวัสดุผนังหลังคาที่ต่างกัน และใช้ฉนวนโพลีสไตรีนความหนาแน่นหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต ความหนารวมหนา 3 นิ้ว ค่าความต้านทานความร้อน 12 hr.sf. F / Btu 24 hr.sf. F / Btu เป็นตัวแทนค่าฉนวนเพื่อการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) หลังคาที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 ติดตั้งฉนวนโฟม Polystyrene Foam (EPS) หนา 3 นิ้ว ที่ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต
- 2) หลังคาที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 ติดตั้งฉนวนโฟม Polystyrene Foam (EPS) หนา 6 นิ้ว ที่ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

นำผลการทดสอบแต่ละการทดสอบจากการทดลองในชั้นตอนที่ 1 และชั้นตอนที่ 2 นำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และการนำความเย็นในช่วงเวลากลางคืน นำมาผสมผสานในหารูปแบบระบบหลังคาที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยใช้หลักการทางสถิติ เปรียบเทียบผลการทดลอง แสดงออกในรูปแบบภูมิ, กราฟ และวิเคราะห์ถึง สาเหตุ แนวทาง จากผลการทดลองที่เกิดขึ้น

3.4 สรุปผล และเสนอแนะ

นำผลวิเคราะห์จากการทดสอบ นำมาสรุปผลแนวทางการออกแบบระบบหลังคาที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ดังนี้

- สรุปตัวแปร ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารผ่านหลังคา
- สรุปแนวทางในการออกแบบรูปแบบหลังคาและการระบายอากาศของช่องว่างอากาศใต้หลังคา เพื่อการถ่ายเทความร้อน
- เสนอแนะแนวทางการวิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้อง
- เสนอแนะข้อควรคำนึงในการทำวิจัยครั้งต่อไป

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การศึกษาวิจัยเพื่อแสวงหาด้านแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้นสามารถแบ่งการวิเคราะห์ผลการวิจัยออกตามขั้นตอนการวิจัยได้ดังนี้

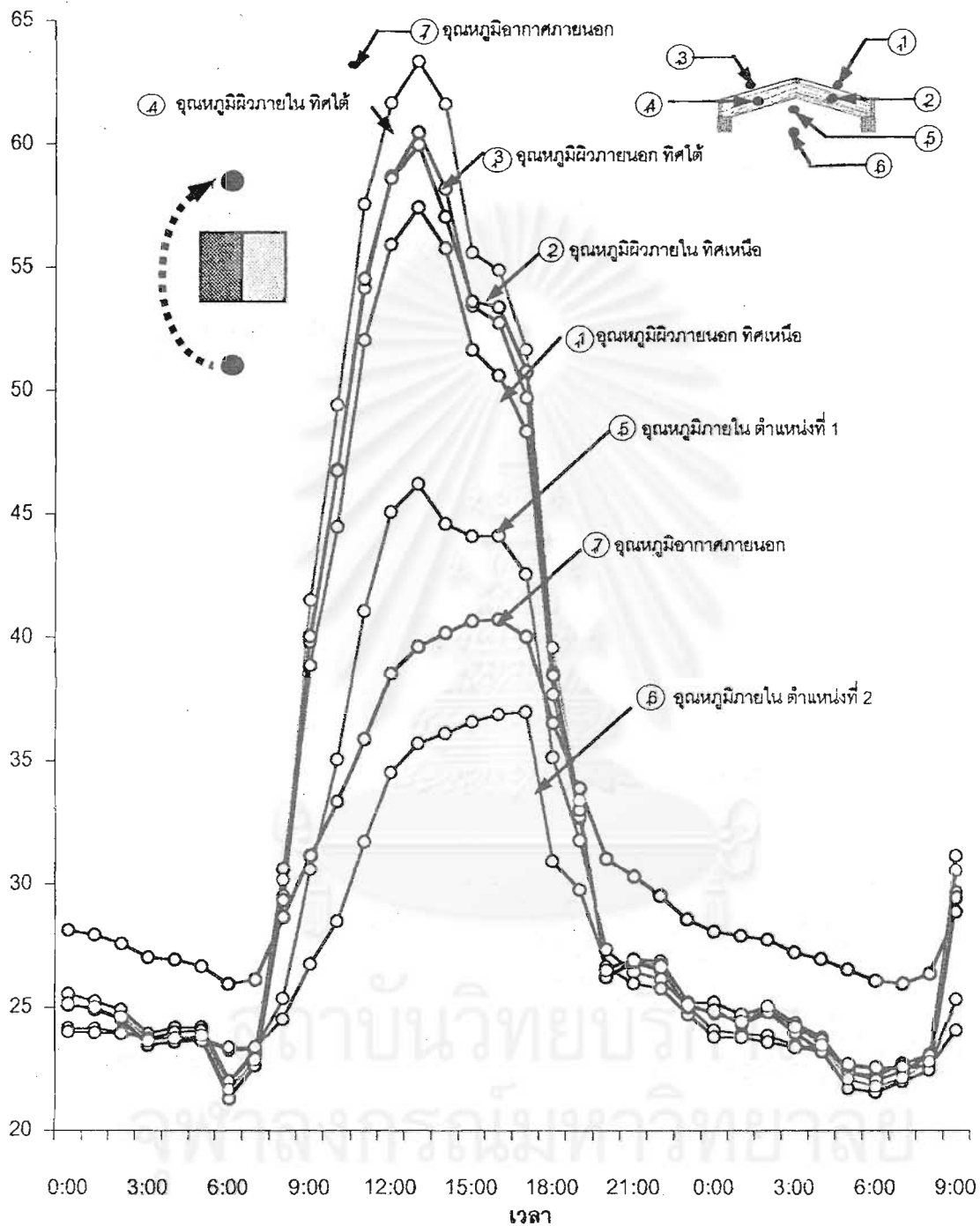
- การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่มีองศาต่างกัน
- การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาในทิศทางที่ต่างกัน
- การศึกษาผลกระทบของมวลสารวัสดุผนังหลังคาที่ต่างกัน
- การศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของระบบหลังคาที่วางฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่ต่างกัน
- การศึกษาประสิทธิภาพการระบายความร้อนของวัสดุผนังหลังคาที่ต่างกัน
- การศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของฉนวนที่มีความหนาต่างกัน

4.1 การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่มีองศาต่างกัน

ศึกษาโดยการเก็บข้อมูลจากหลังคาทดสอบที่มีมุมองศาต่างกันคือ 15 องศา 30 องศา 45 องศา และ 60 องศา โดยคัดเลือกวัสดุผนังหลังคาชนิดเดียวกัน สีเดียวกัน คือ แผ่นเหล็กรีดลอนเคลือบสังกะสี ไม่เคลือบสี หนา 0.4 มม. เนื่องจากเป็นวัสดุผนังหลังคาที่มีราคาไม่แพง หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด และก่อสร้างได้ง่ายและรวดเร็ว แสดงผลการทดลองในรูปแบบของแผนภูมิ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

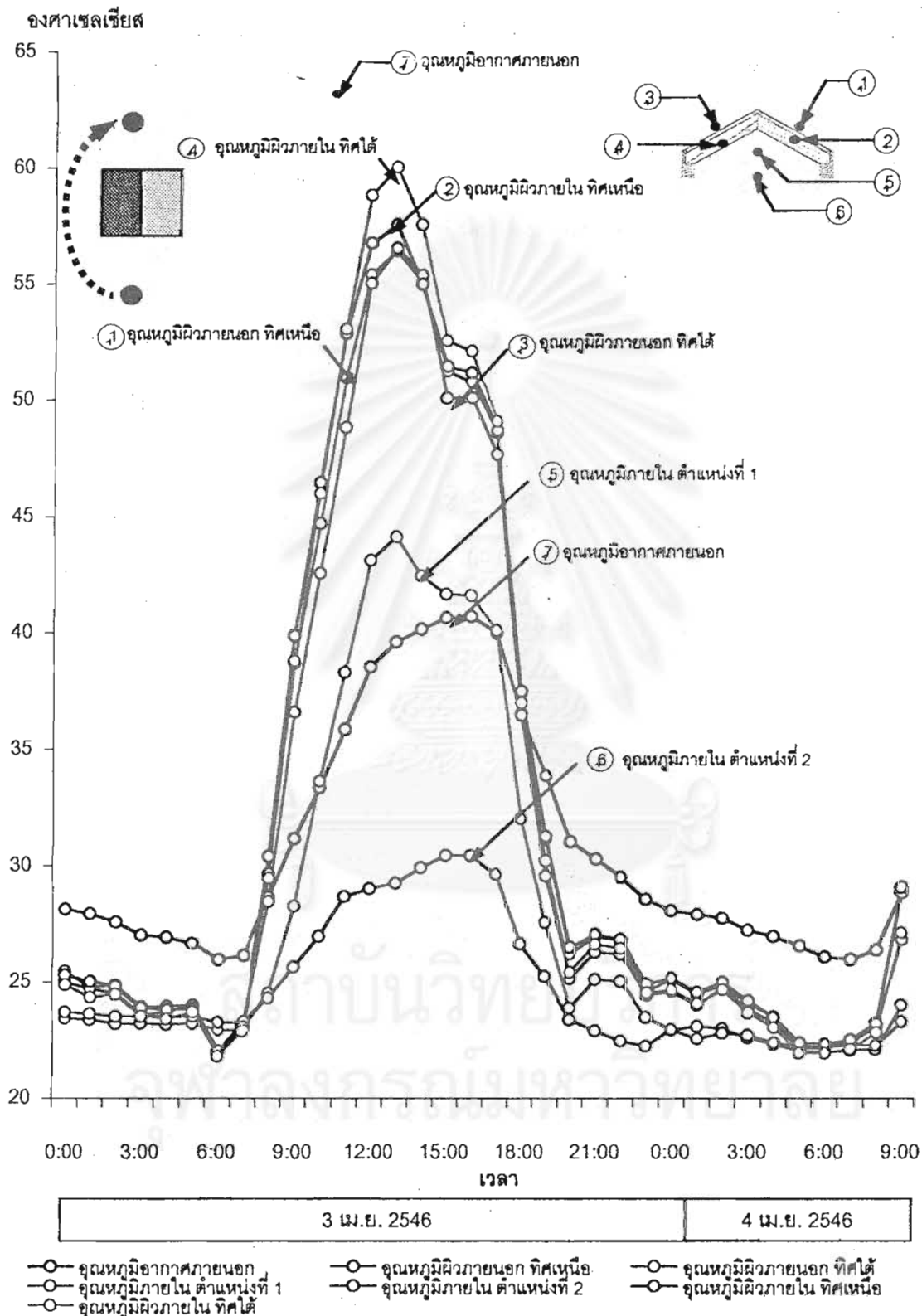
องศาเซลเซียส



3 เม.ย. 2546		4 เม.ย. 2546	
--------------	--	--------------	--

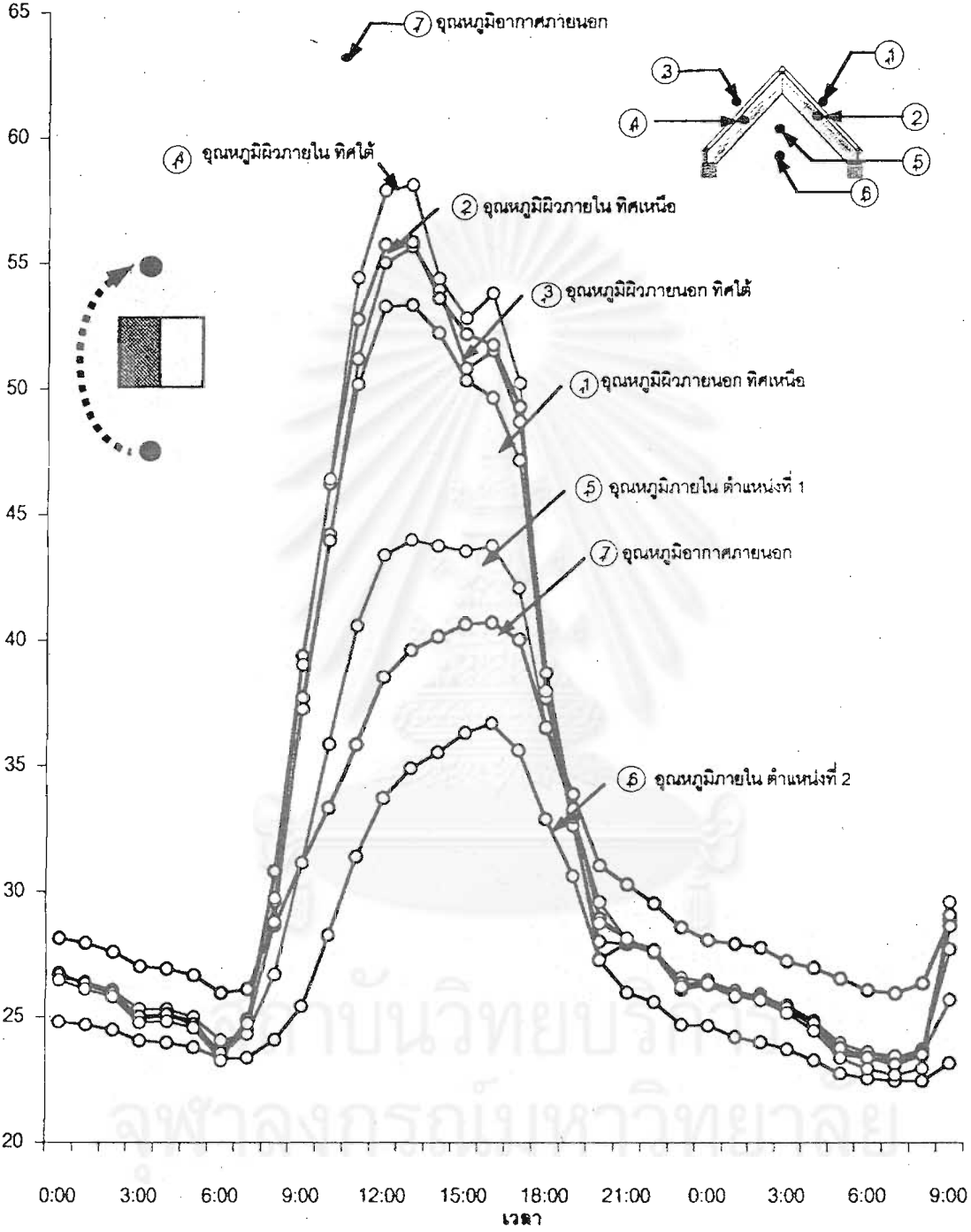
- จุดอุณหภูมิอากาศภายนอก
- จุดอุณหภูมิผิวภายนอก ทิศเหนือ
- จุดอุณหภูมิผิวภายนอก ทิศใต้
- จุดอุณหภูมิภายใน ตำแหน่งที่ 1
- จุดอุณหภูมิภายใน ตำแหน่งที่ 2
- จุดอุณหภูมิผิวภายใน ทิศเหนือ
- จุดอุณหภูมิผิวภายใน ทิศใต้

แผนภูมิที่ 4.1 เปรียบเทียบจุดอุณหภูมิอากาศกับจุดอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของ หลังคา 15 องศา เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 3 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 4 เม.ย. เวลา 9:00น.



แผนภูมิที่ 4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของ หลังคา 30 องศา เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 3 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 4 เม.ย. เวลา 9:00น.

องศาเซลเซียส

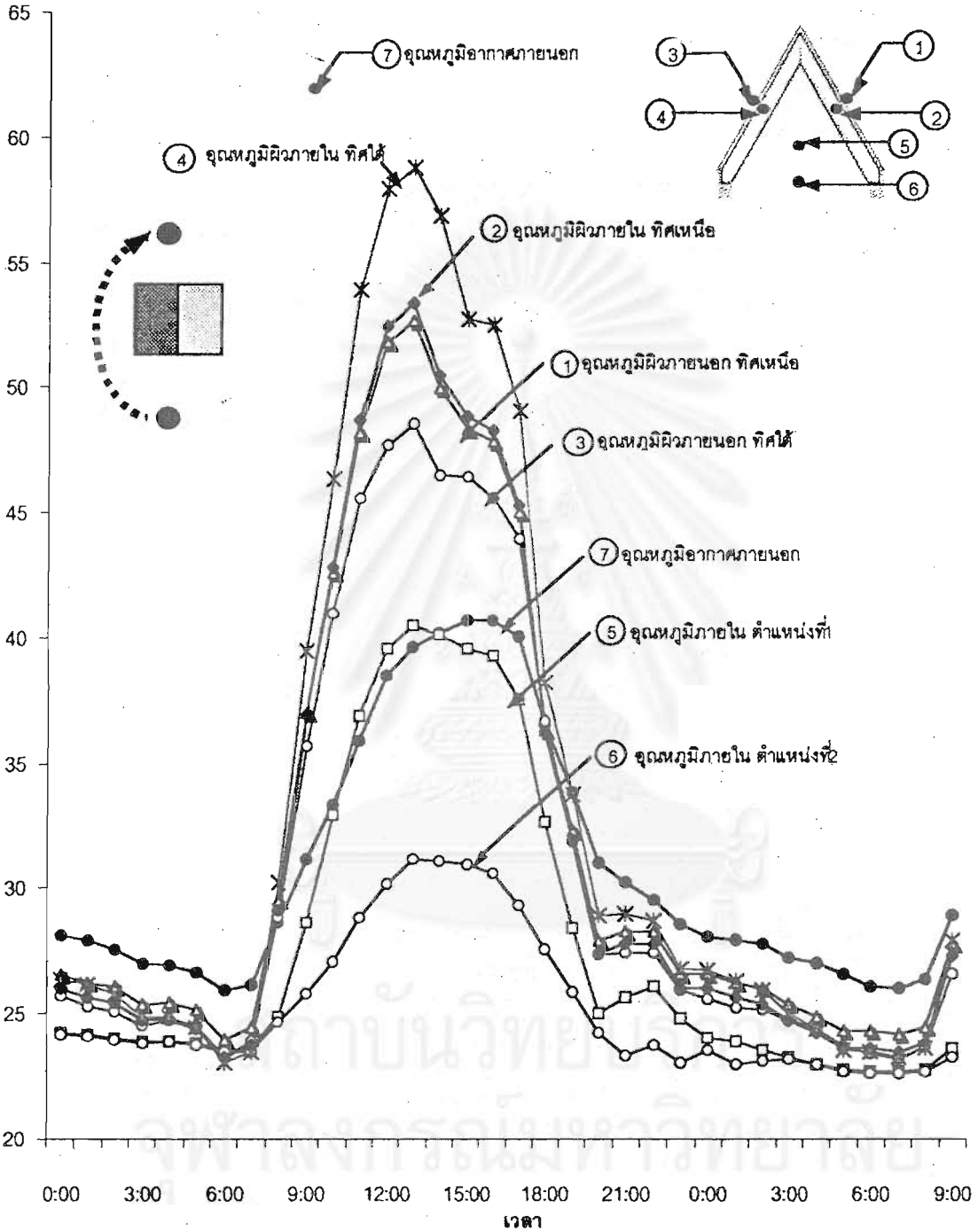


3 เม.ย. 2546 | 4 เม.ย. 2546

- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- อุณหภูมิภายใน ตำแหน่งที่ 1
- อุณหภูมิผิวภายใน ทิศใต้
- อุณหภูมิผิวภายนอก ทิศเหนือ
- อุณหภูมิภายใน ตำแหน่งที่ 2
- อุณหภูมิผิวภายใน ทิศเหนือ

แผนภูมิที่ 4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของ หลังคา 45 องศา เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 3 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 4 เม.ย. เวลา 9:00น.

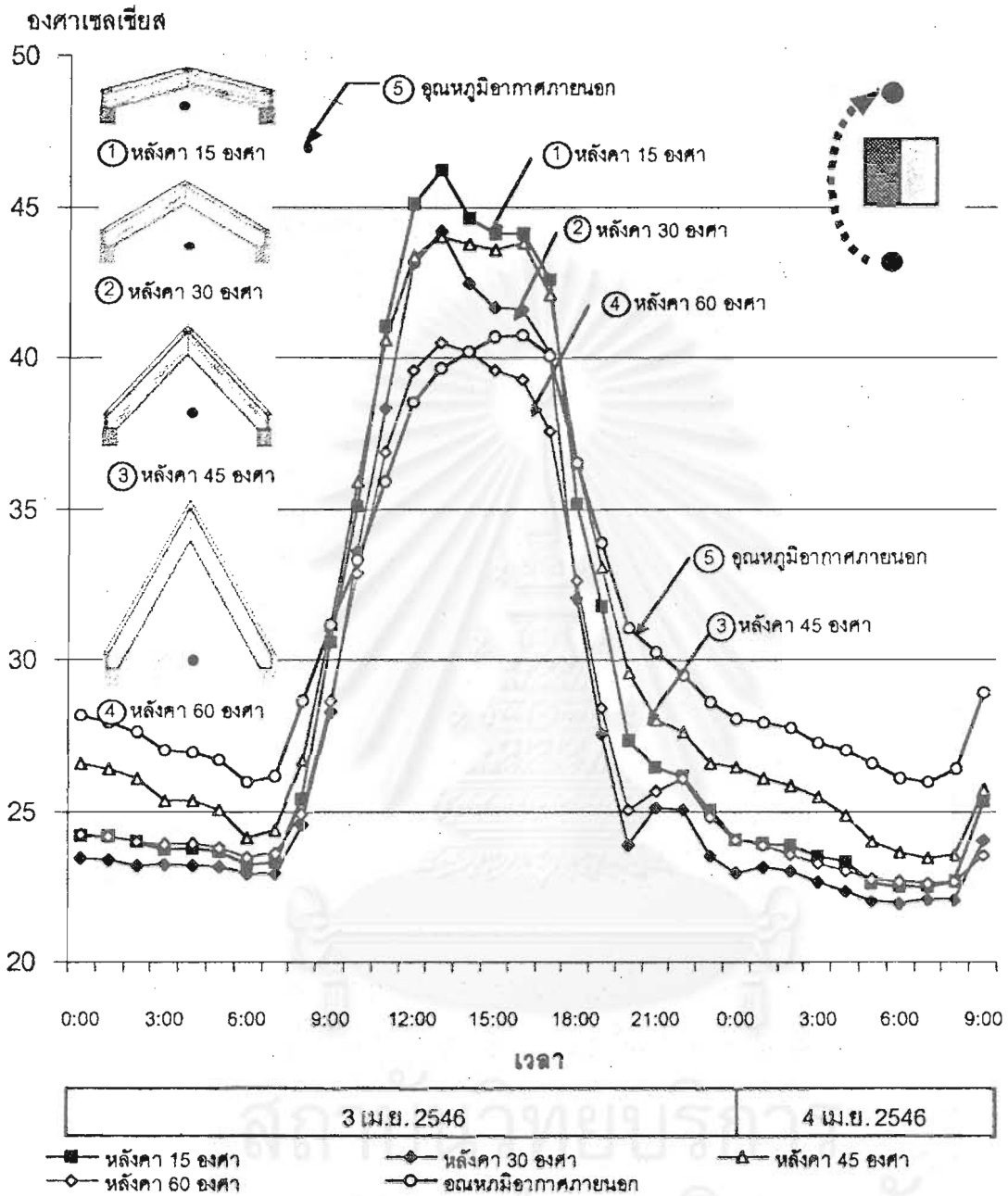
องศาเซลเซียส



3 เม.ย. 2546 | 4 เม.ย. 2546

- จุดอุณหภูมิอากาศภายนอก
- ▲ จุดอุณหภูมิภายนอก ทิศเหนือ
- จุดอุณหภูมิภายนอก ทิศใต้
- จุดอุณหภูมิภายใน ตำแหน่งที่ 1
- จุดอุณหภูมิภายใน ตำแหน่งที่ 2
- จุดอุณหภูมิภายใน ทิศเหนือ
- * จุดอุณหภูมิภายใน ทิศใต้

แผนภูมิที่ 4.4 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของหลังคา 60 องศา เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 3 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 4 เม.ย. เวลา 9:00น.



แผนภูมิที่ 4.5 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิในของหลังคาที่มีองศาต่างกัน เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 3 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 4 เม.ย. เวลา 9:00น.

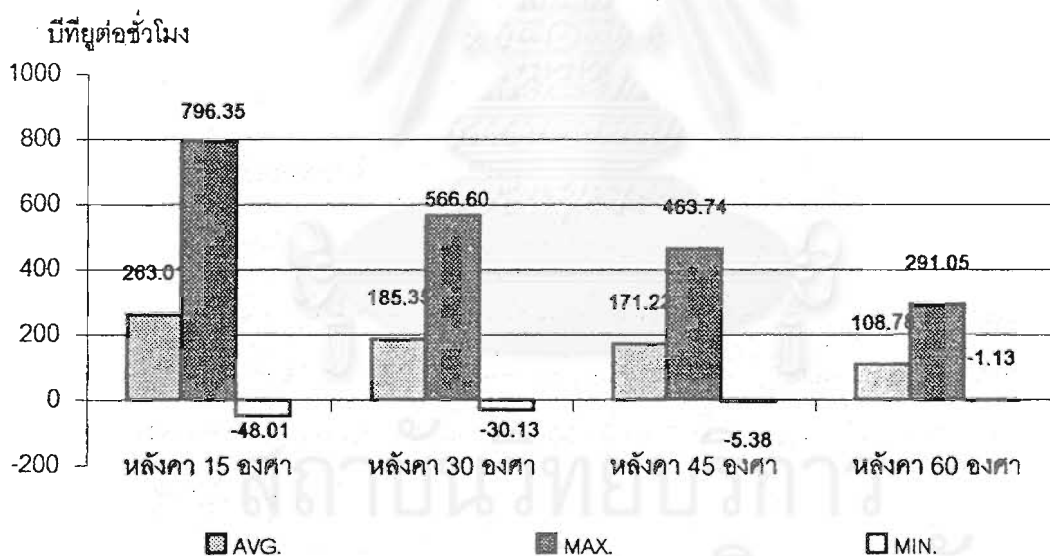
จากการทดลอง สามารถแบ่งการวิเคราะห์ปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเหล็ก ริดลอนที่มีมุมองศาต่างกัน ได้ 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงเวลากลางวัน และช่วงเวลากลางคืน

1.) ช่วงเวลากลางวัน (6:30 น. – 18:00 น.)

เมื่อแผ่นเหล็กริดลอนได้รับพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่ ผิววัสดุผนังหลังคาจะมีระดับที่สูงขึ้น จึงนำความร้อนเข้าสู่เนื้อวัสดุผนังหลังคา และแผ่รังสีเข้าสู่ อากาศใต้หลังคา ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารทดลองสูงขึ้น โดยในช่วงเวลา 13:00 น. เป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศใต้หลังคาทดลอง (ตำแหน่งหัววัดอุณหภูมิที่ 5) มีระดับสูงที่สุดตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ดวงอาทิตย์แผ่รังสีตรงกระทำกับพื้นผิวในแนวราบ (Solar Altitude) ในมุม 15 องศา และโคจรอ้อมไปทางทิศใต้ทำมุมทำมุมกับพื้นผิวในแนวตั้ง (Solar Azimuth) ที่ 83 องศา หลังคาทดลอง 15 องศา มีอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาสูงสุด คือ 46.23 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ หลังคาทดลอง 30 องศา มีอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา คือ 44.15 องศาเซลเซียส หลังคาทดลอง 45 องศา มีอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา 44.01 องศาเซลเซียส และ หลังคาทดลอง 60 องศา จะมีอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา คือ 40.51 องศาเซลเซียส ตาม ลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีระดับอุณหภูมิที่ 39.64 องศาเซลเซียส และมีระดับ สูงที่สุดตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลใน เวลา 16:00 น. คือ 40.73 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิอากาศใต้หลังคาทดลองอยู่ในระดับที่สูงที่สุด ก่อนที่อุณหภูมิอากาศภายนอกจะมี ระดับสูงสุด 3 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาทดลองทั้ง 4 หลัง อุณหภูมิอากาศใต้หลังคา 15 องศา มีระดับสูงที่สุด เนื่องจากอิทธิพลจากการแผ่รังสีตรงจาก ดวงอาทิตย์ที่กระทำกับวัสดุผนังหลังคา เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระดับอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา สูงขึ้น และในช่วงเวลา 13:00 น. เป็นช่วงเวลาที่หลังคาได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวง อาทิตย์มากที่สุด และหลังคา 15 องศา เป็นหลังคาที่มีความลาดชันน้อยที่สุด จึงได้รับอิทธิพล จากการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด

2.) ช่วงเวลากลางคืน (18:30 น. – 6:00 น.)

วัดอุณหภูมิหลังคาจะเริ่มคายรังสีคืนสู่ท้องฟ้า ทำให้วัดอุณหภูมิหลังคามีอุณหภูมิที่ต่ำลง เป็นผลให้อุณหภูมิอากาศใต้หลังคามีระดับต่ำลง ในช่วงเวลา 5:00 น. วันที่ 3 เมษายน 2546 อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ในระดับต่ำที่สุด คือ 25.96 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศใต้หลังคา 60 องศา มีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 24.48 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ อุณหภูมิอากาศใต้หลังคา 45 องศา มีค่า 24.08 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศใต้หลังคา 30 องศา ค่า 22.94 องศาเซลเซียสและ อุณหภูมิอากาศใต้หลังคา 15 องศา มีค่า 23.25 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่าหลังคา 15 องศา จะมีอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาต่ำที่สุด เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืนหลังคาที่มีความลาดชันน้อยที่สุด คือ หลังคา 15 องศา มีมุมเปิดสู่ท้องฟ้ามากที่สุดจึงสามารถคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าได้มากที่สุด ทำให้ถ่ายเทความร้อนจากภายในออกสู่สภาพแวดล้อมภายนอกได้รวดเร็วที่สุด เป็นผลให้อุณหภูมิอากาศใต้หลังคามีระดับต่ำที่สุด



แผนภูมิที่ 4.6 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเหล็กกริดลอนที่มีมุมองศาต่างกันในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

เก็บข้อมูลระหว่าง วันที่ 3 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 4 เม.ย. เวลา 9:00น.

หมายเหตุ : เป็นการเปรียบเทียบกรณีที่หลังคามีพื้นใต้หลังคาเท่ากันคือ 90 X 90 เซนติเมตร

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเหล็กรีดลอนที่มีมุมองศาต่างกันในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง (แผนภูมิที่ 4.6) โดยการคำนวณจากสมการ $Q = c * A * \Delta T$ พบว่าในช่วงเวลาที่ปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารสูงสุด มีปริมาณความร้อนถ่ายเทผ่านหลังคา 15 องศา มีค่า 796.35 บีทียูต่อชั่วโมง ปริมาณความร้อนจากภายนอกถ่ายเทเข้าสู่อาคารตลอดผ่านหลังคา 30 องศา มีค่า 566.60 บีทียูต่อชั่วโมง หลังคา 45 องศา มีค่า 463.74 บีทียูต่อชั่วโมง และ หลังคา 60 องศา มีค่า 291.05 บีทียูต่อชั่วโมง

มุมองศาหลังคา	พื้นที่หลังคา (ตร.ฟุต.)	อัตราส่วนพื้นที่หลังคา	อัตราส่วนพื้นที่หลังคา ต่อ พื้นที่ใช้สอย
หลังคา 0 องศา	9	1	1
หลังคา 15 องศา	10.40	1.16	1.16
หลังคา 30 องศา	12.00	1.33	1.33
หลังคา 45 องศา	15.00	1.66	1.67
หลังคา 60 องศา	21.00	2.33	2.33

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่หลังคา

จากตารางที่ 4.1 หลังคา 60 องศา มีอัตราส่วนพื้นที่หลังคาและอัตราส่วนหลังคาต่อพื้นที่ใช้สอยของหลังคามากที่สุด รองลงมาคือ หลังคา 45 องศา หลังคา 30 องศา และหลังคา 15 องศาซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านหลังคา หลังคา 60 องศา มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านหลังคาเข้ามาน้อยที่สุด ดังนั้นหลังคา 60 องศา สามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาในทิศทางที่ต่างกัน

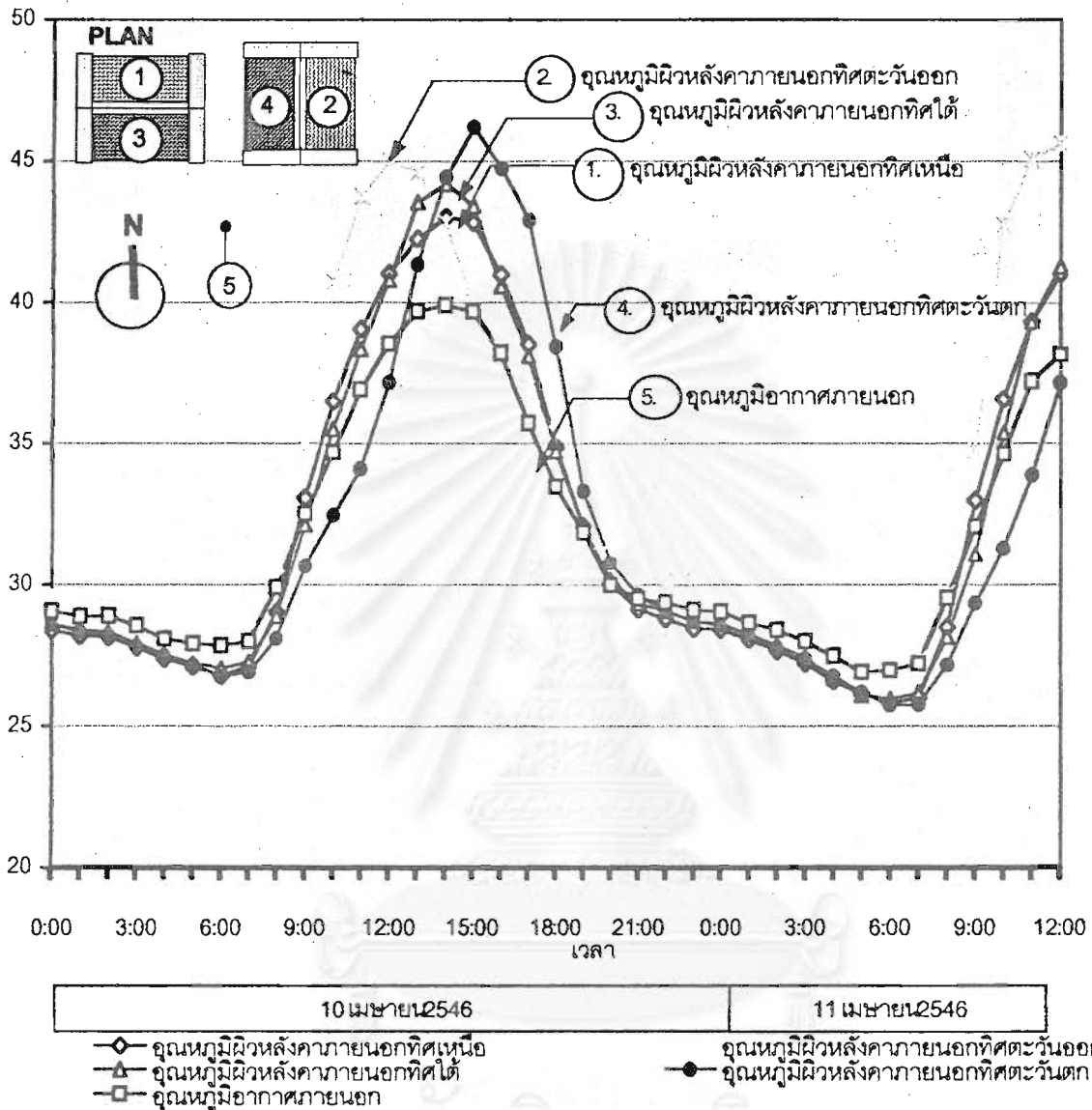
ศึกษาโดยการเก็บข้อมูล ความคุมความตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ได้รับอิทธิพลจากภายนอกเท่ากัน ดังนี้

- มุมองศาหลังคาที่มีความลาดชันเท่ากันทั้งหมด คือ หลังคา 60 องศา
- วัสดุบุหลังคาชนิดเดียวกันคือกระเบื้องดินเผาสีธรรมชาติไม่เคลือบผิวขนาด 14.50 x 90 ซม.

เก็บข้อมูลการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาในทิศทางที่ต่างกัน 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศ ตะวันออก ทิศตะวันตก แสดงผลการทดลองในรูปแบบของแผนภูมิ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

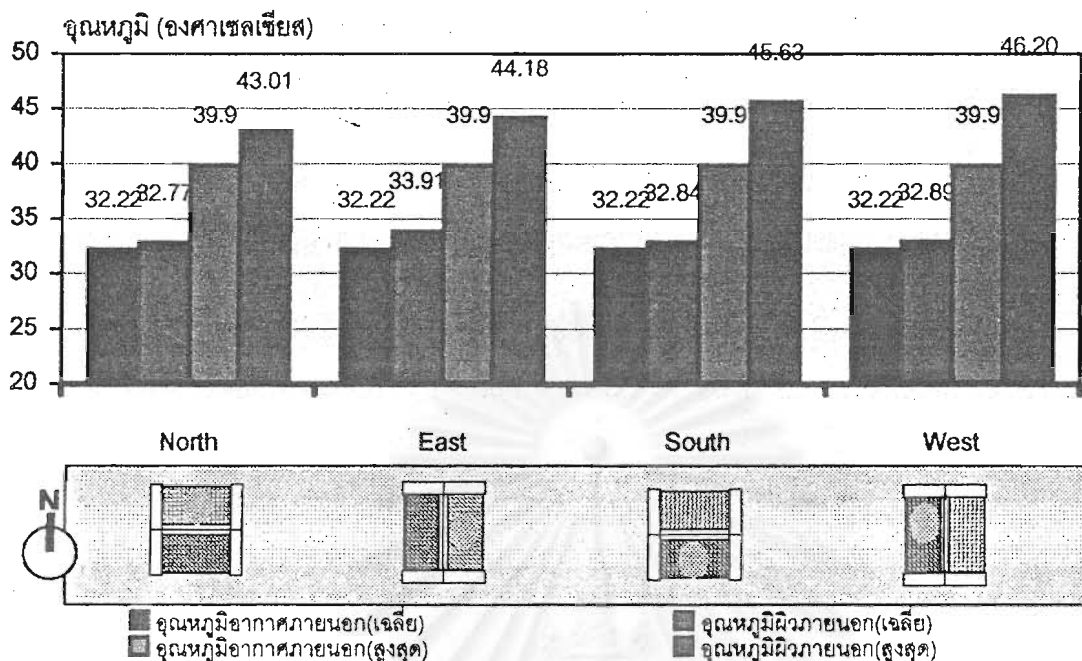
อุณหภูมิห้องศาลาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคากายนอกของหุ่นจำลองที่หันด้าน
 หลังคาไปในทิศต่างกัน

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 10 เมษายน 2546 เวลา 24.00 น. ถึงวันที่ 11 เมษายน 2546 เวลา 12.00 น

หมายเหตุ ข้อมูลจาก รชฎ สุมานนท์, 2546, ลักษณะเฉพาะของมุมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคา สูงสุด /เฉลี่ย ในช่วง 24 ชั่วโมง ของ หุ่นจำลองที่หันทิศทางหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 10 เมษายน 2546 เวลา 24.00น. ถึง วันที่ 11 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.

หมายเหตุ ข้อมูลจาก ราชภัฏ สุมาโนท์, 2546, ลักษณะเฉพาะของมุมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จากแผนภูมิพบว่า ในช่วงเวลา 14:00 น. อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ในระดับสูงสุดที่สุด มีค่า 39.90 องศาเซลเซียส

- อุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคา (กระเบื้องดินเผาสี่เหลี่ยมจัตุรัส ไม่เคลือบผิว) วางหันในทิศตะวันตก มีค่า 44.42 องศาเซลเซียส และจะมีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคา เวลา 15:00 น. เท่ากับ 46.20 องศาเซลเซียส (มีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาสูงที่สุดหลังจากที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ในระดับสูงสุดที่สุด 1 ชั่วโมง)
- อุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาวางหันในทิศตะวันออก มีค่า 42.82 องศาเซลเซียส และจะมีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคา เวลา 12:00 น. เท่ากับ 44.18 องศาเซลเซียส (มีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาสูงที่สุดก่อนที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ในระดับสูงสุดที่สุด 2 ชั่วโมง)

- อุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาวางหันในทิศใต้ มีค่า 44.18 องศาเซลเซียส
(มีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาสูงที่สุดเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ในระดับสูงที่สุด)
- อุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาวางหันในทิศเหนือ มีค่า 43.01 องศาเซลเซียส
(มีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาสูงที่สุดเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ในระดับสูงที่สุด)

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาและเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ระหว่างหลังคาทั้ง 4 ทิศ พบว่า หลังคาในทิศเหนือมีอุณหภูมิต่ำที่สุด รองลงมาคือ หลังคาในทิศตะวันออก หลังคาในทิศใต้ และหลังคาในทิศตะวันตก ตามลำดับ เนื่องจาก ระหว่างวันที่ 10 เมษายน 2546 ถึงวันที่ 11 เมษายน 2546 ดวงอาทิตย์โคจรจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก โดยโคจรข้ามไปทางทิศใต้ เป็นผลให้ ในช่วงเวลาเช้า (6:00 น. - 12:00 น.) หลังคาในทิศตะวันออกมีอุณหภูมิที่ผิวสูงที่สุด ในช่วงเวลาเช้า (14:00 น. - 16:00 น.) หลังคาในทิศตะวันตกมีอุณหภูมิที่ผิวสูงที่สุด และอุณหภูมิที่ผิวหลังคาทางทิศใต้มีระดับสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิวหลังคาทางทิศเหนือ

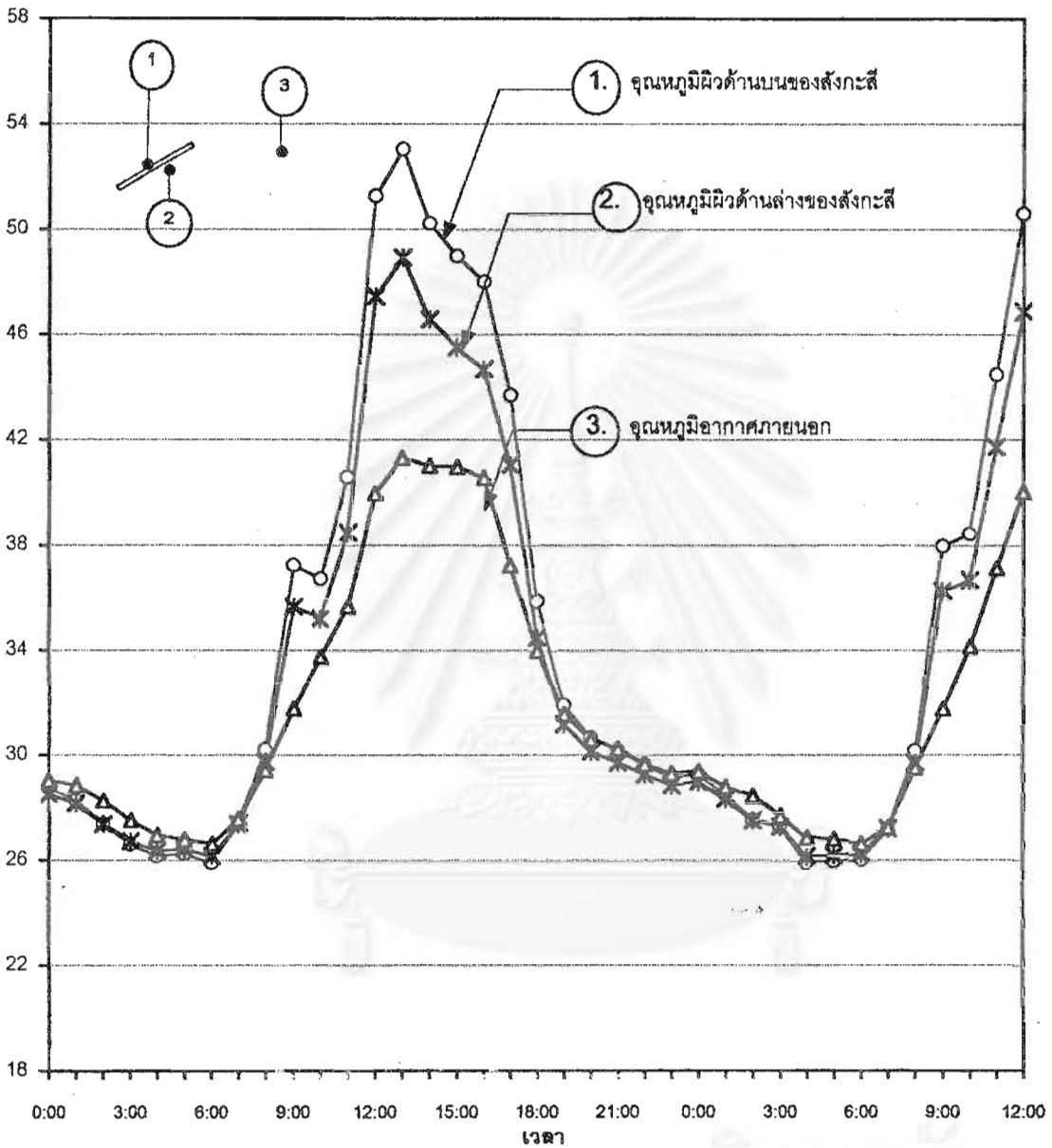
4.3 การศึกษาผลกระทบของมวลสารวัสดุผนังหลังคาที่ต่างกัน

การศึกษามลกระทบของมวลสารวัสดุผนังหลังคา ทำการเก็บข้อมูลจากวัสดุผนังหลังคา ขนาดเท่ากันคือ 30 x 30 ซม. กำหนดความลาดเอียงของหลังคาเท่ากันคือ 30 องศา คัดเลือกวัสดุผนังหลังคาที่นำมาทดสอบเปรียบเทียบ เพื่อเป็นตัวแทน วัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารมาก มวลสารปานกลาง และมวลสารน้อย วัสดุที่จะนำมาทดสอบได้แก่

- คอนกรีตฉาบเรียบไม่ทาสีหนา 10 ซม.
- กระเบื้องดินเผาสี่เหลี่ยมชนิดไม่เคลือบผิว ขนาด 14.50 x 90 ซม.
- แผ่นโลหะรีดลอนเคลือบสังกะสี ไม่เคลือบสี หนา 0.4 มม.

แสดงผลการทดลองในรูปแบบของแผนภูมิ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

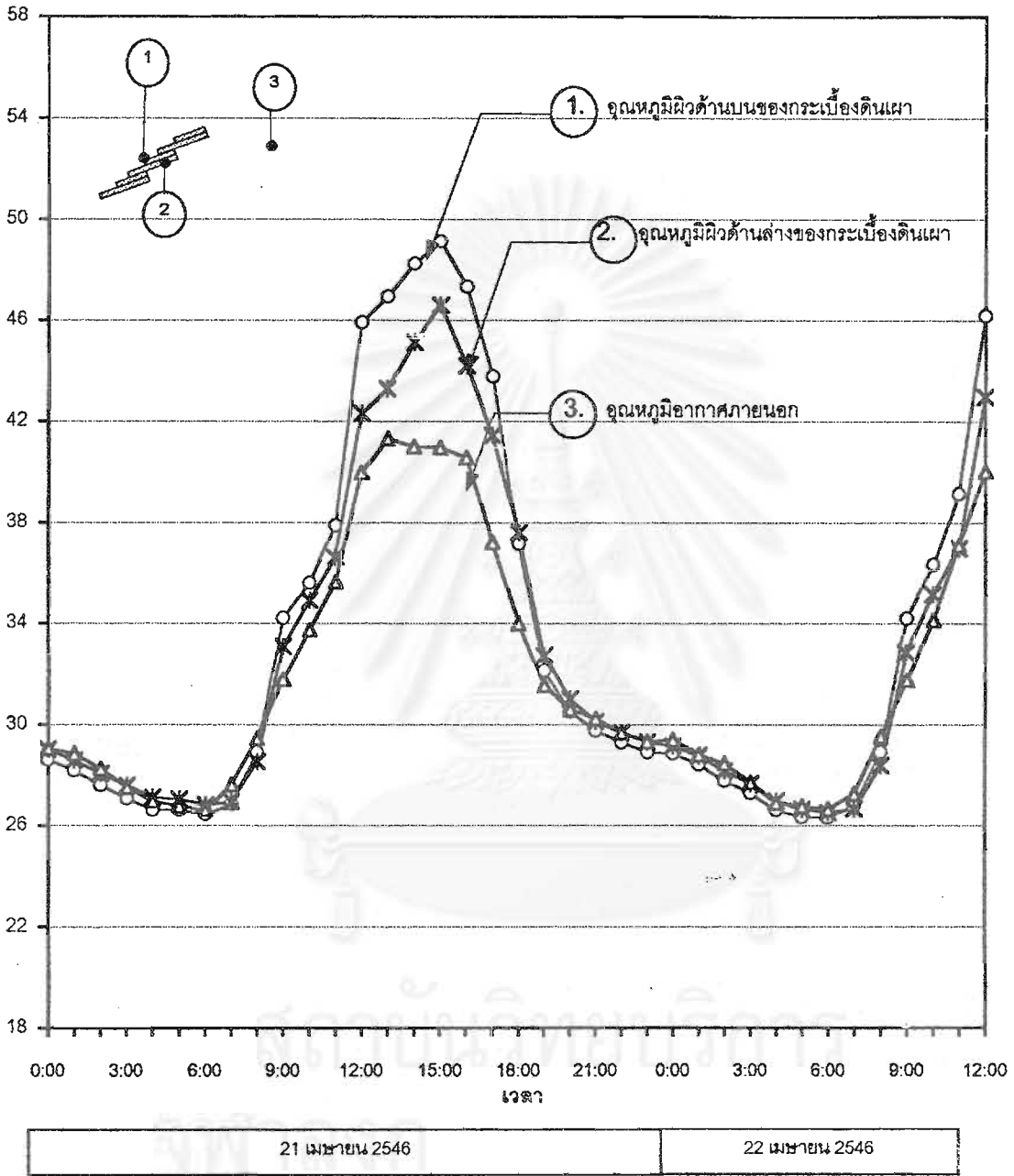


21 เมษายน 2546 | 22 เมษายน 2546

- อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสีมุม 30 องศา
- ✱— อุณหภูมิผิวด้านล่างของสังกะสีมุม 30 องศา
- ▲— อุณหภูมิอากาศภายนอก

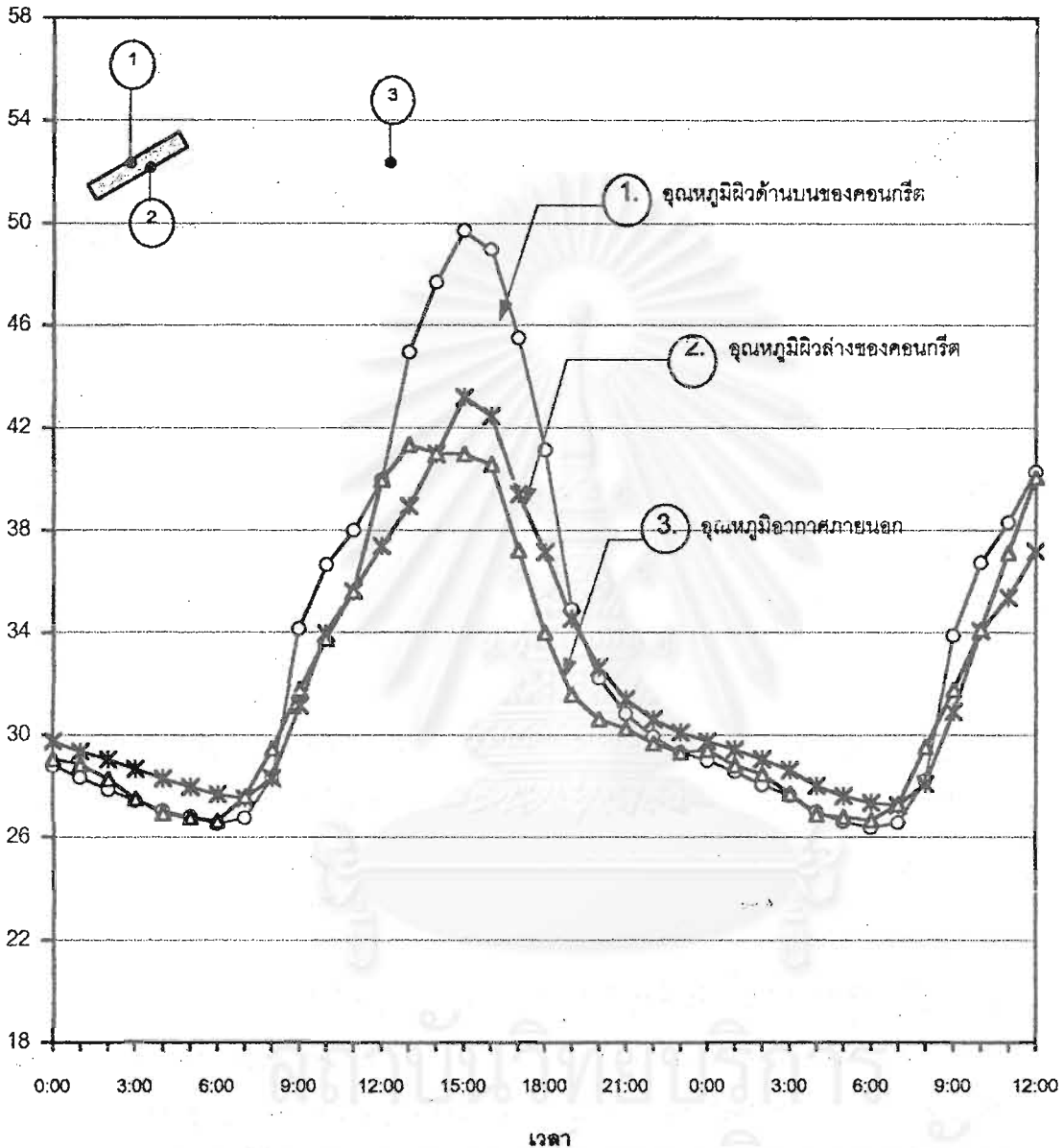
แผนภูมิ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคาสังกะสีที่มีมุมเอียงหลังคา 30 องศา เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2546 เวลา 24.00 น. ถึงวันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00 น. หมายถึง ข้อมูลจาก รชฎ สุมานนท์, 2546. ลักษณะเฉพาะของมุมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาว ภายในเรือนไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)



แผนภูมิ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคากระเบื้องดินเผาที่มีมุมเอียงหลังคา 30
 เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2546 เวลา 24.00 น. ถึงวันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00 น.
 หมายเหตุ ข้อมูลจาก รชฎ สุมานนท์, 2546. ลักษณะเฉพาะของมุมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาว
 ภายในเรือนไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

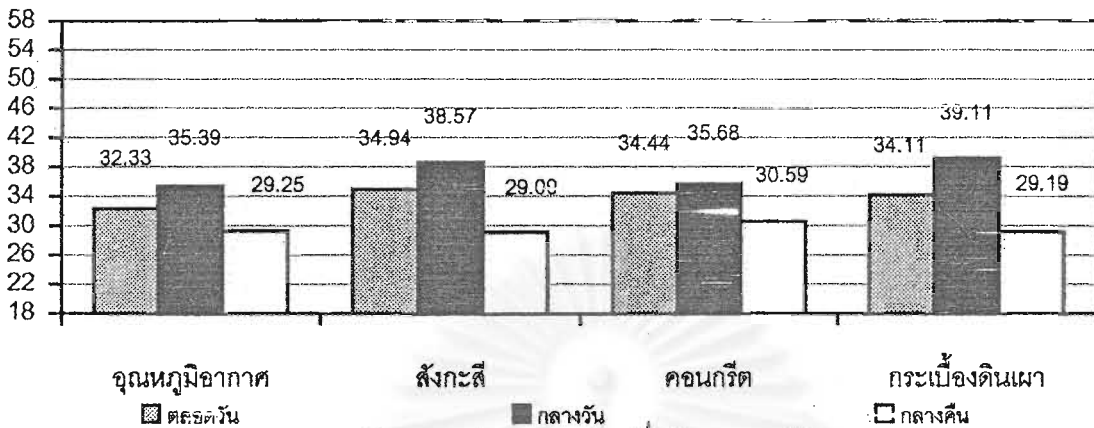
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)



21 เมษายน 2546	22 เมษายน 2546
○— อุณหภูมิผิวด้านบนของคอนกรีต มุม 30 องศา	*— อุณหภูมิผิวด้านล่างของคอนกรีต มุม 30 องศา
△— อุณหภูมิอากาศภายนอก	

แผนภูมิ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคาคอนกรีตที่มีมุมเอียงหลังคา 30 เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2546 เวลา 24.00 น. ถึงวันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00 น. หมายถึง ข้อมูลจาก ราชุ สุมานนท์, 2546. ลักษณะเฉพาะของมุมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาว ภายในเรือนไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

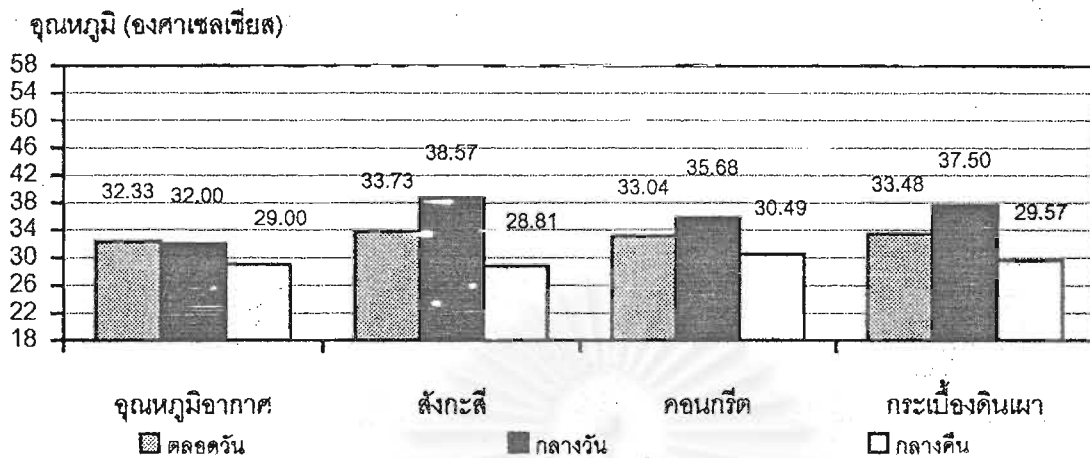


แผนภูมิ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยผิวบนของวัสดุหลังคาชนิดต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24.00 น. ถึงวันที่ 22 เม.ย. 2546 เวลา 12.00 น. หมายเหตุ ข้อมูลจาก รพช สุมานนท์, 2546, ลักษณะเฉพาะของมูมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาว ภายในเรือนไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากแผนภูมิ ในช่วงเวลากลางวันเวลา 6:30 น. ถึง 18:00 น. อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยมีค่า 35.39 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านบนของกระเบื้องดินเผามีค่ามากที่สุดคือ 39.11 องศาเซลเซียส สังกะสีมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านบน 38.57 องศาเซลเซียส และคอนกรีตมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านบน 35.68 องศาเซลเซียส

ช่วงเวลากลางคืน 18:30 น. ถึง 6:00 น. อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวบนหลังคาสังกะสีมีระดับต่ำที่สุด มีค่า 29.09 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวบนหลังคากระเบื้องดินเผามีค่า 29.19 องศาเซลเซียส และคอนกรีตมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านบน 30.59 องศาเซลเซียส พบว่าวัสดุผนังหลังคาสังกะสี และกระเบื้องดินเผามีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านบนต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเนื่องจากวัสดุผนังหลังคาทั้ง 2 ชนิดมีความร้อนสะสมที่ผิวไม่มากนัก ซึ่งแตกต่างจากหลังคาคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตมีความร้อนสะสมที่ผิวมากกว่าวัสดุผนังหลังคาสังกะสี และกระเบื้องดินเผาจึงทำให้มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ



แผนภูมิ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยผิวล่างของวัสดุหลังคายชนิดต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ

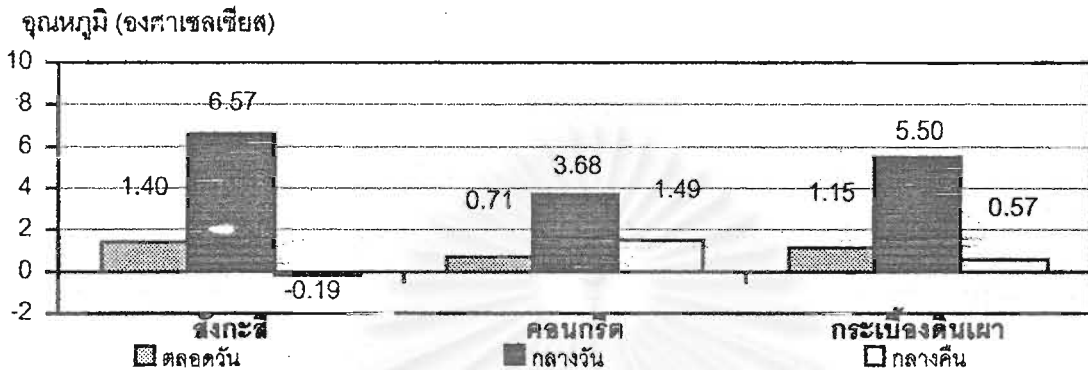
เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24.00 น. ถึงวันที่ 22 เม.ย. 2546 เวลา 12.00 น. หมายถึง ข้อมูลจาก รชฎ สุมานนท์, 2546, ลักษณะเฉพาะของมูมเฉียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาว ภายในเรือนไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จากแผนภูมิ ในช่วงเวลากลางวันเวลา 6:30 น. ถึง 18:00 น. อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยมีค่า 32 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านล่างของสังกะสีมีค่ามากที่สุดคือ 38.57 องศาเซลเซียส กระเบื้องดินเผามีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านล่าง 37.50 องศาเซลเซียส และคอนกรีตมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านล่าง 35.68 องศาเซลเซียส

- เนื่องจากสังกะสีเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนสูงที่สุดจึงมีอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างสูงที่สุด
- คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีมวลสารมากที่สุด จึงมีช่วงเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน เมื่อได้รับการถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก

ช่วงเวลากลางคืน 18:30 น. ถึง 6:00 น. อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านล่างหลังคาสังกะสีมีระดับต่ำที่สุด มีค่า 28.81 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านล่างหลังคากระเบื้องดินเผา มีค่า 29.57 องศาเซลเซียส และคอนกรีตมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านบน 30.49 องศาเซลเซียส พบว่าวัสดุผนังหลังคาสังกะสี มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านบนต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเนื่องจากเป็นวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารน้อยและมีคุณสมบัติในการคายรังสีสูง ซึ่งแตกต่างจากกระเบื้องดิน และเผาหลังคาคอนกรีต เนื่อง

จากคอนกรีตมีความร้อนสะสมที่ผิวมากกว่าวัสดุผนังหลังคาสังกะสี จึงทำให้มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ



แผนภูมิ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุหลังคาชนิดต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24.00 น. ถึงวันที่ 22 เม.ย. 2546 เวลา 12.00 น.

หมายเหตุ ข้อมูลจาก รพช สุमानนท์, 2546, ลักษณะเฉพาะของมุมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านล่างของวัสดุผนังหลังคาที่ต่างกันพบว่าในช่วงเวลากลางวันหลังคาคอนกรีตจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 3.68 องศาเซลเซียส กระเบื้องดินเผามีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 5.50 องศาเซลเซียส และสังกะสีมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 6.57 องศาเซลเซียส

ช่วงเวลากลางคืนหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 1.49 องศาเซลเซียส กระเบื้องดินเผามีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 0.57 องศาเซลเซียส และสังกะสีมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 0.19 องศาเซลเซียส

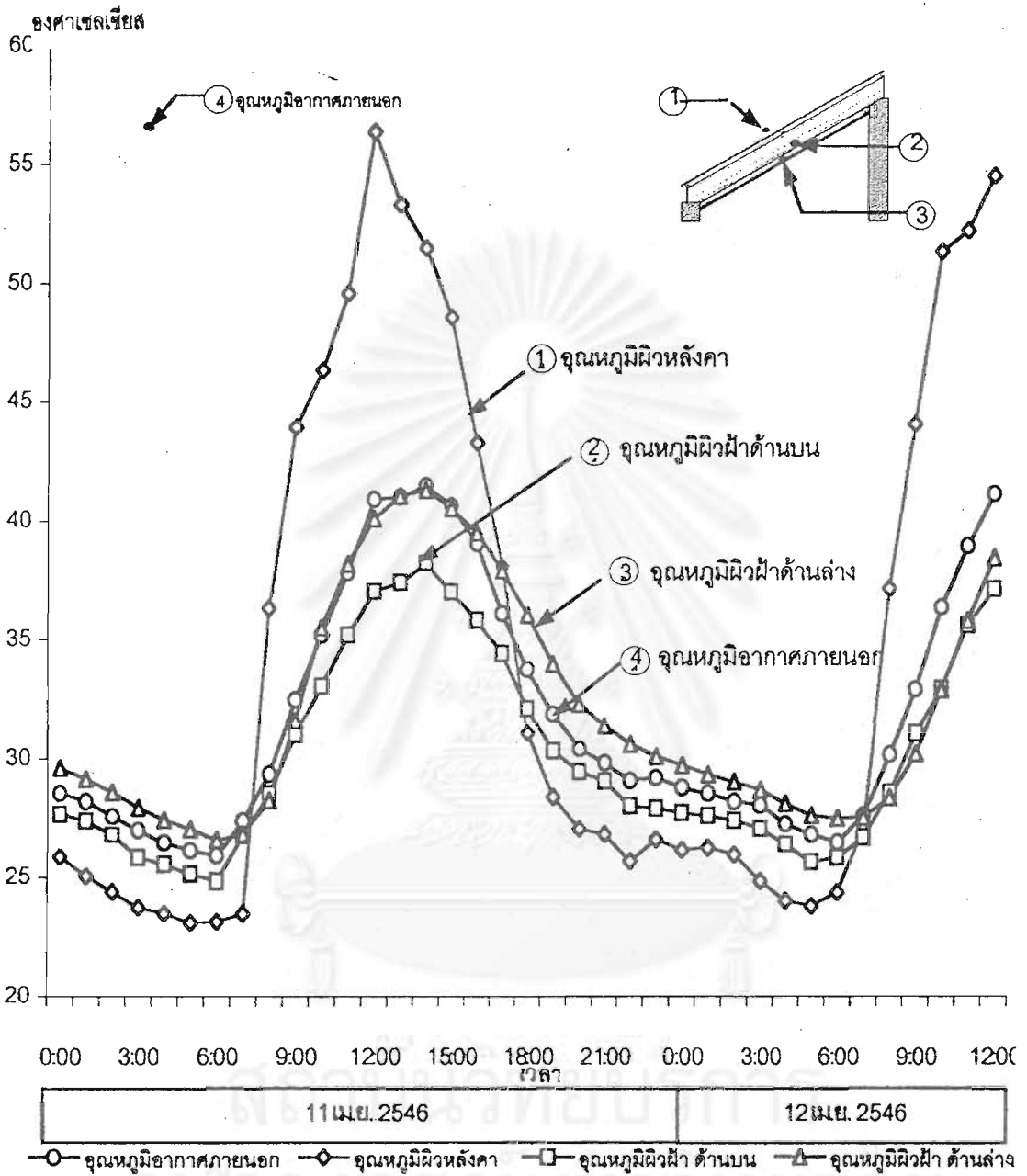
ดังนั้นแล้วหลังคาสังกะสี หรือหลังคาโลหะ จึงเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุผนังหลังคาที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายอากาศในช่องว่างระบายอากาศใต้หลังคา ซึ่งจำเป็นต้องใช้ควบคู่กับฉนวนกันความร้อนเนื่องจากมีอุณหภูมิที่ผิวหลังคาค่อนข้างสูง และในเวลากลางคืนก็สามารถที่จะนำความเย็นจากการคายรังสีคืนสู่ท้องฟ้า

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของระบบหลังคาที่วางฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่ต่างกัน

ทำการศึกษาโดยการเก็บข้อมูลโดยควบคุมความลาดชันเดียวกัน คือหลังคา 30 องศา ใช้วัสดุฉนวนหลังคาชนิดเดียวกัน คือ แผ่นเหล็กกรีดลอนสีเหมือนกันทั้งหมด เนื่องจากเป็นวัสดุฉนวนหลังคาที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายอากาศในช่องว่างระบายอากาศใต้หลังคา และมีค่าการสะสมความร้อนน้อย จัดวางวัสดุฉนวนหลังคาในทิศเหนือเหมือนกันทั้งหมด เพื่อให้ได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมเท่ากันทั้งหมด และในทิศเหนือเป็นทิศทางที่ได้รับอิทธิพลการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุด ทำการทดลองเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาที่ต่างกัน 4 ระบบ แสดงผลการทดลองในรูปแบบของแผนภูมิ

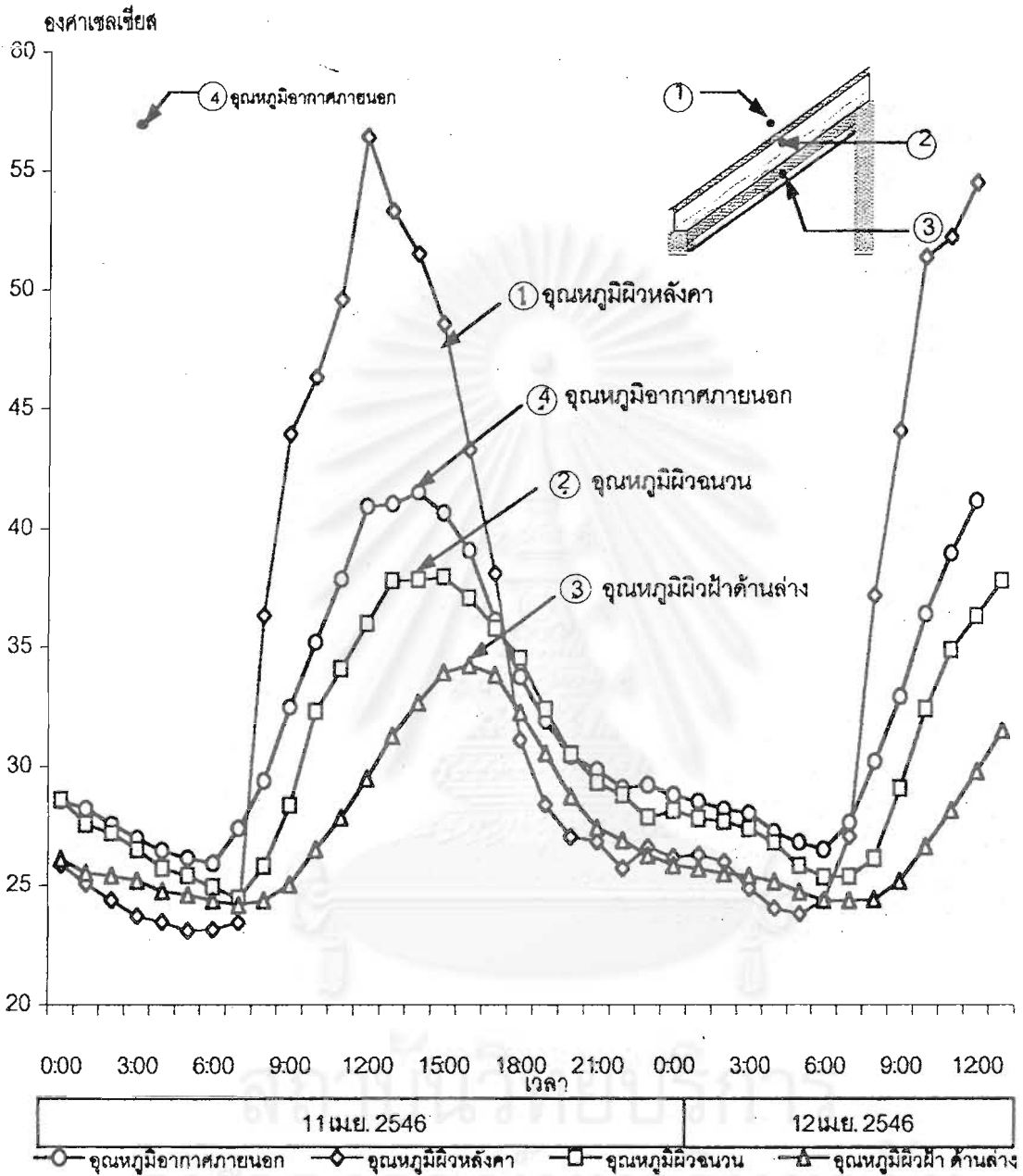


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



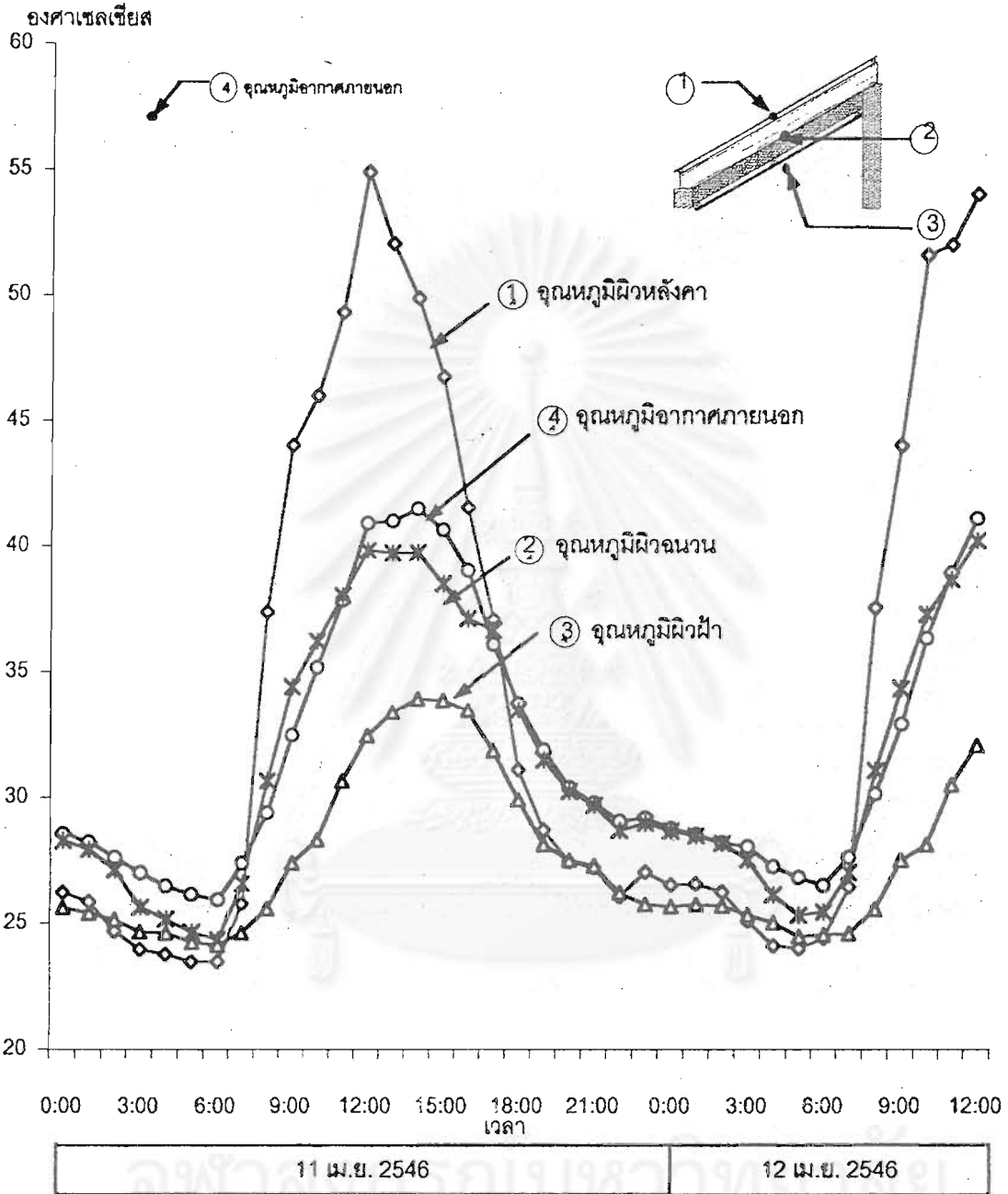
แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กกริดลอนที่ไม่มีฉนวนโฟมโพลีสไตรีน

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 11 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 12 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.



แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบจุดอุณหภูมิอากาศภายนอกกับจุดอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กกริดลอนที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 2 ชั้น เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 11 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 12 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

หมายเหตุ: ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ $12 \text{ hr}\cdot\text{sq}\cdot\text{ft}\cdot^{\circ}\text{F}/\text{Btu}$ และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน



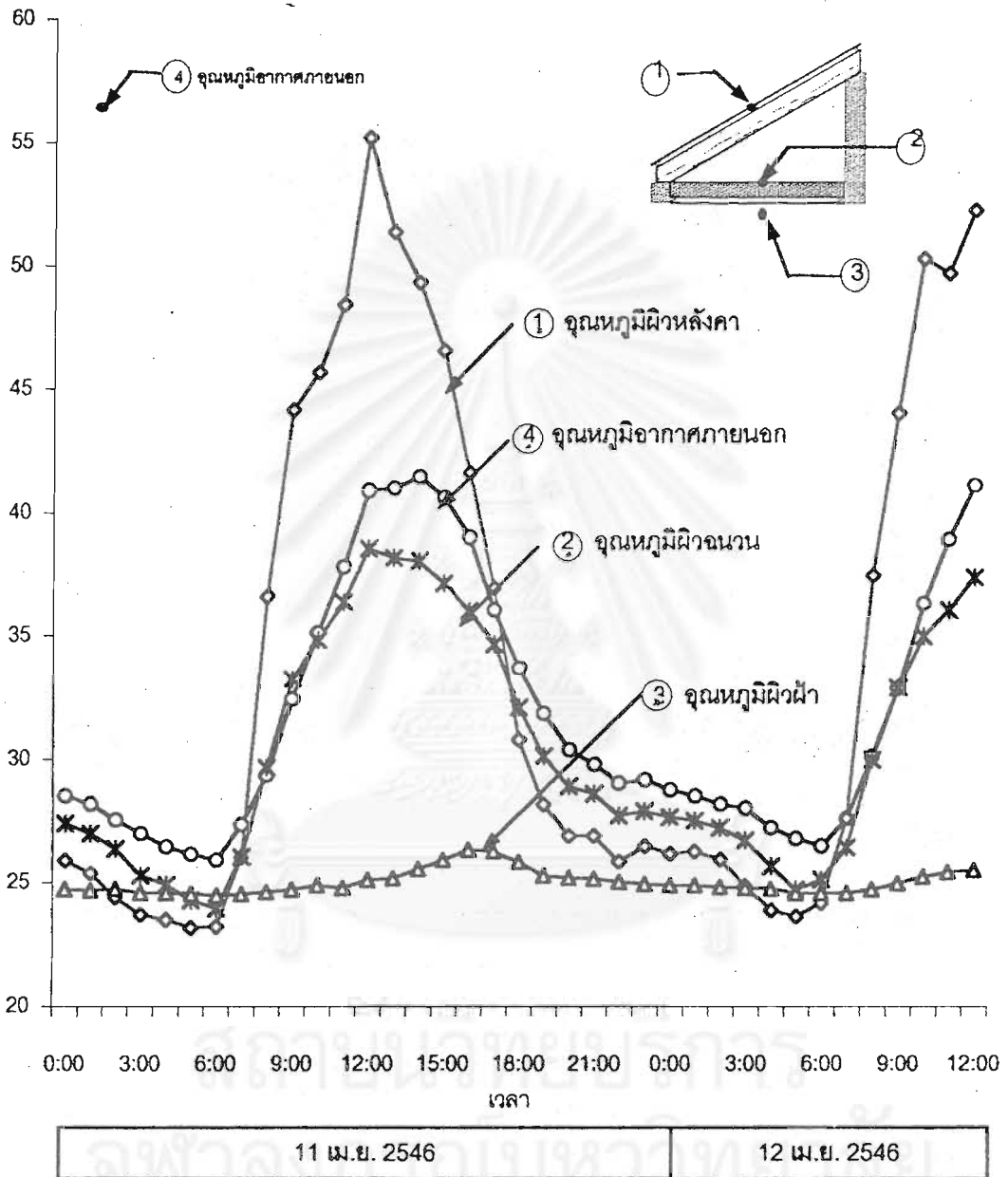
—○— อุณหภูมิอากาศภายนอก —◇— อุณหภูมิผิวหลังคา —*— อุณหภูมิฝ้าฉนวน —△— อุณหภูมิฝ้าผ้า

แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กกริดลอนที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวจันทัน

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 11 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 12 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f./Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

องศาเซลเซียส

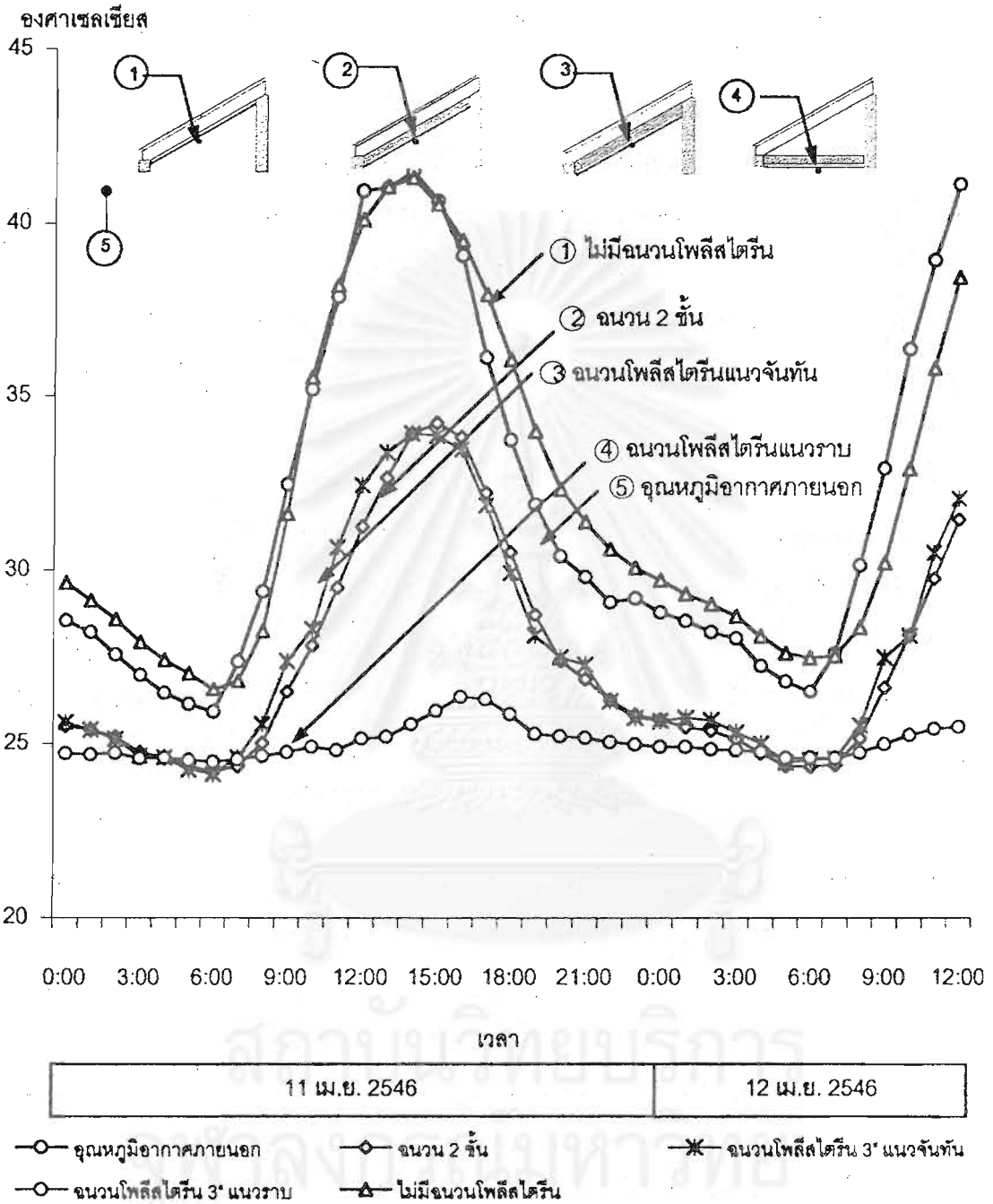


○ จุดอุณหภูมิอากาศภายนอก ◊ จุดอุณหภูมิหลังคา * จุดอุณหภูมิฉนวน ▲ จุดอุณหภูมิฝ้า

แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กที่ติดตั้งที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 11 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 12 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f./Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน



แผนภูมิที่ 4.19 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานของระบบหลังคาเหล็กที่ติดตั้งต่างกัน

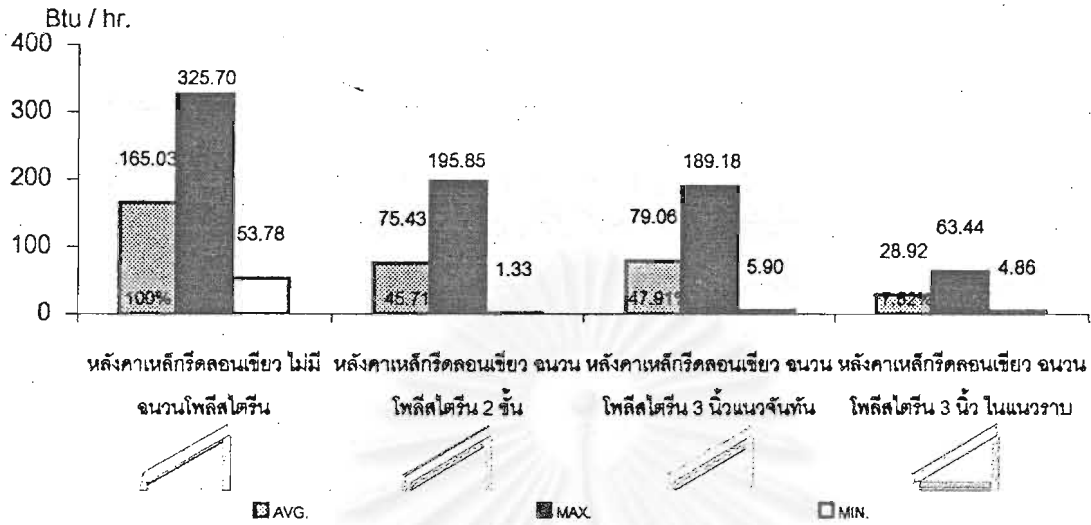
เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 11 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 12 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

จากการทดลองเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านระบบหลังคาที่ต่างกันระหว่างวันที่ 11 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึงวันที่ 12 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น. สามารถวิเคราะห์ ได้ดังนี้

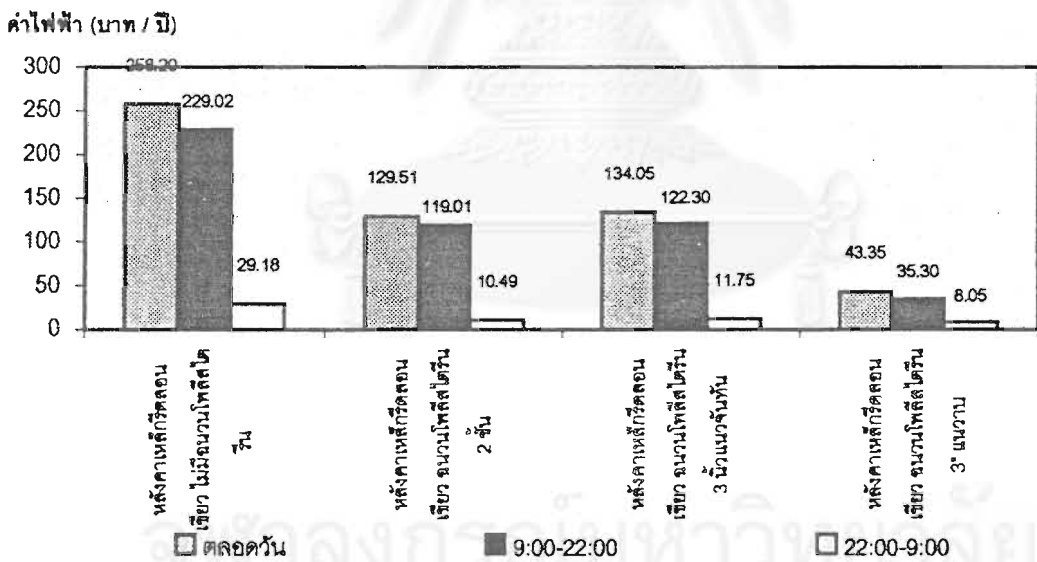
เมื่อวัดอุณหภูมิหลังคาได้รับพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิผิววัสดุหลังคาก็จะเริ่มสูงขึ้น และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิโซลแอร์ (SOL-AIR TEMPERATURE) และเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่างผิววัสดุกับพื้นที่ใต้หลังคา ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ช่องระบายอากาศใต้หลังคา จนวน และฝ้าเพดาน ตามลำดับ จากแผนภูมิที่ 4.10 – 4.14 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวฝ้าดานของระบบหลังคาที่ต่างกัน พบว่า เวลา 14:00 น. เป็นเวลาที่อุณหภูมิอากาศมีระดับสูงที่สุดคือ มีค่า 41.50 องศาเซลเซียส ระบบหลังคาที่ไม่มีฉนวนโพลีสไตรีน มีระดับอุณหภูมิที่ผิวฝ้าดานสูงที่สุดคือ มีค่า 41.33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิวฝ้าดานของระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน 2 ชั้น และอุณหภูมิที่ผิวฝ้าดานของระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวจันทัน มีค่า 33.94 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิวฝ้าดานของระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ มีค่า 25.58 องศาเซลเซียส เนื่องจากฉนวนโพลีสไตรีนเป็นวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง เมื่อระบบหลังคามีการติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีนก็จะเป็นการช่วยเพิ่มการต้านทานความร้อนจากภายนอก จึงทำให้ระบบหลังคาที่ไม่มีการติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีนมีอุณหภูมิที่ผิวฝ้าดานสูงที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนเฉลี่ยจากภายนอกที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารทดลองผ่านระบบหลังคาที่ต่างกัน พบว่า ระบบหลังคาที่ไม่มีฉนวนโพลีสไตรีนมีปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านเข้ามามากที่สุดคือ มีค่า 165.03 บีทียูต่อชั่วโมง ปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่าน ระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวจันทัน มีค่า 79.06 บีทียูต่อชั่วโมง ระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน 2 ชั้น มีค่า 74.43 บีทียูต่อชั่วโมง และระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ มีค่า 28.92 บีทียูต่อชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าระบบหลังคาทั่วไปที่ไม่มีฉนวนโพลีสไตรีน 82.84% เนื่องจากหลังคาที่มีฉนวนโพลีสไตรีน มีค่าการต้านทานความร้อนมากกว่าระบบหลังคาที่ไม่มีฉนวนโพลีสไตรีน และระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบมีค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายใน (AIR FILM RESISTANCE) มากกว่าระบบหลังคาที่ติดตั้งฉนวนและฝ้าเพดานตามแนวจันทัน และมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของพื้นผิววัสดุ (Surface Conductance) น้อยกว่าระบบหลังคาที่ติดตั้งฉนวนและฝ้าเพดานตามแนวจันทัน จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของระบบหลังคาที่มีการใช้ฉนวนในแนวราบมีระดับอุณหภูมิต่ำที่สุด



แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่อาคารผ่านระบบหลังคาที่ต่างกัน

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 11 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึงวันที่ 12 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.



แผนภูมิที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อปีที่ใช้ในการปรับอากาศของระบบหลังคาที่ต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 11 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึงวันที่ 12 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

หมายเหตุ: ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.°F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีस्टไทรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

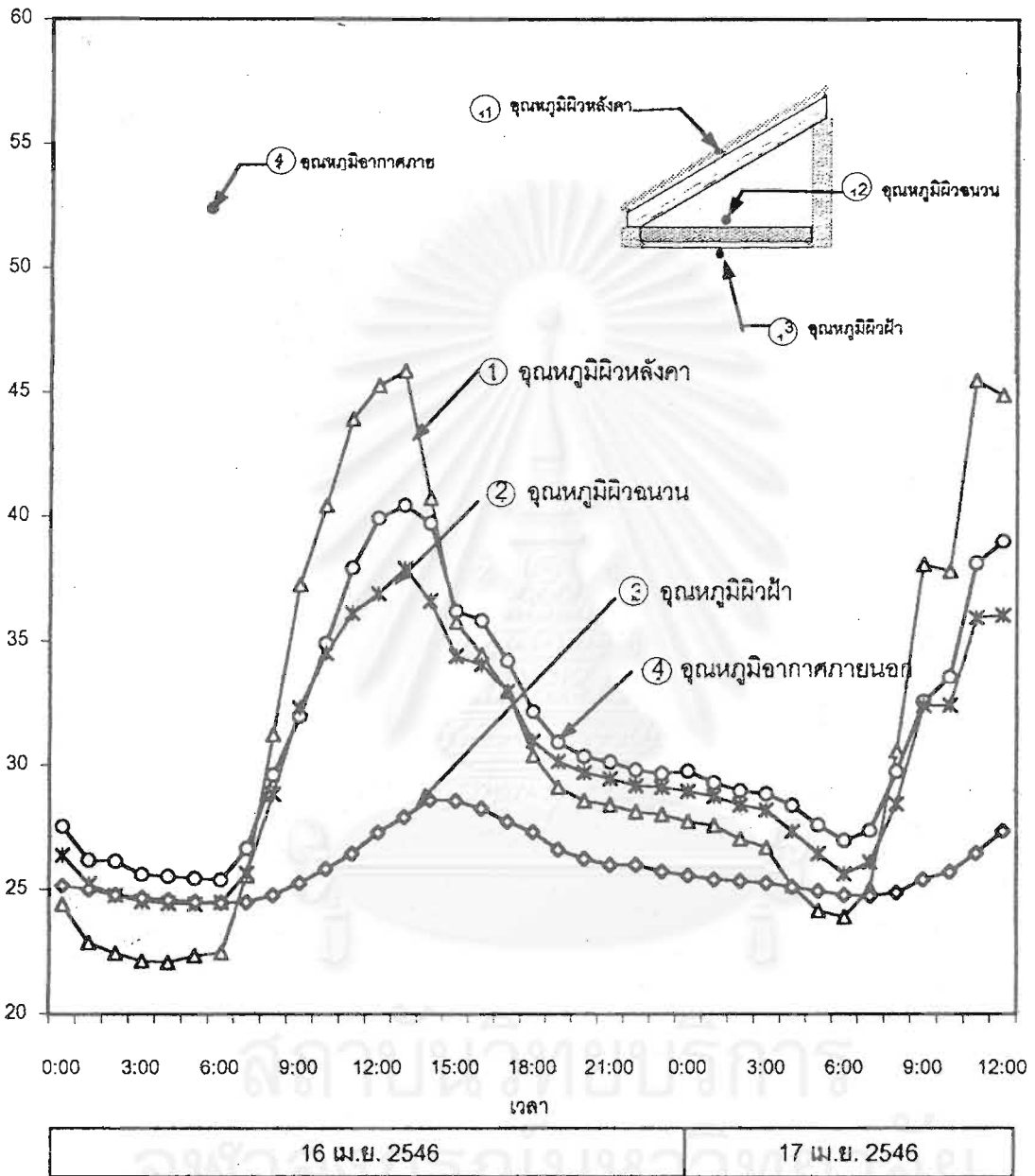
เมื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อปีที่ใช้ในการปรับอากาศพบว่า หลังคาเหล็กกรีดลอนที่มีการระบายอากาศใต้หลังคาและฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวราบใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ 43.35 บาท หลังคาเหล็กกรีดลอนที่มีการระบายอากาศใต้หลังคาและฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวจันทันใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ 134.05 บาท หลังคาเหล็กกรีดลอนที่มีการระบายอากาศใต้หลังคาและฉนวนโพลีสไตรีน 2 ชั้น ใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ 129.51 บาท และหลังคาเหล็กกรีดลอนไม่มีฉนวนโพลีสไตรีนหนาใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ 250.20 บาท

ดังนั้นหลังคาเหล็กกรีดลอนที่มีการระบายอากาศใต้หลังคาและฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวราบ เป็นหลังคาที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและทำการศึกษาค่าต่อไป

4.5 การศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนและการระบายอากาศของระบบหลังคา

เก็บข้อมูลโดยควบคุมตัวแปรในการทดลอง ดังนี้ วัสดุผนังหลังคา ความหนา และชนิดของฉนวนกันความร้อน รวมถึงการติดตั้งฉนวนกันความร้อนและฝ้าเพดานชนิดเดียวกัน แต่ใช้สีของวัสดุผนังหลังคาที่ต่างกันเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการระบายอากาศของช่องว่างระบายอากาศใต้หลังคา มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ลมเข้า และพื้นที่ลมออก คือ 1:1 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีการระบายอากาศดีที่สุด

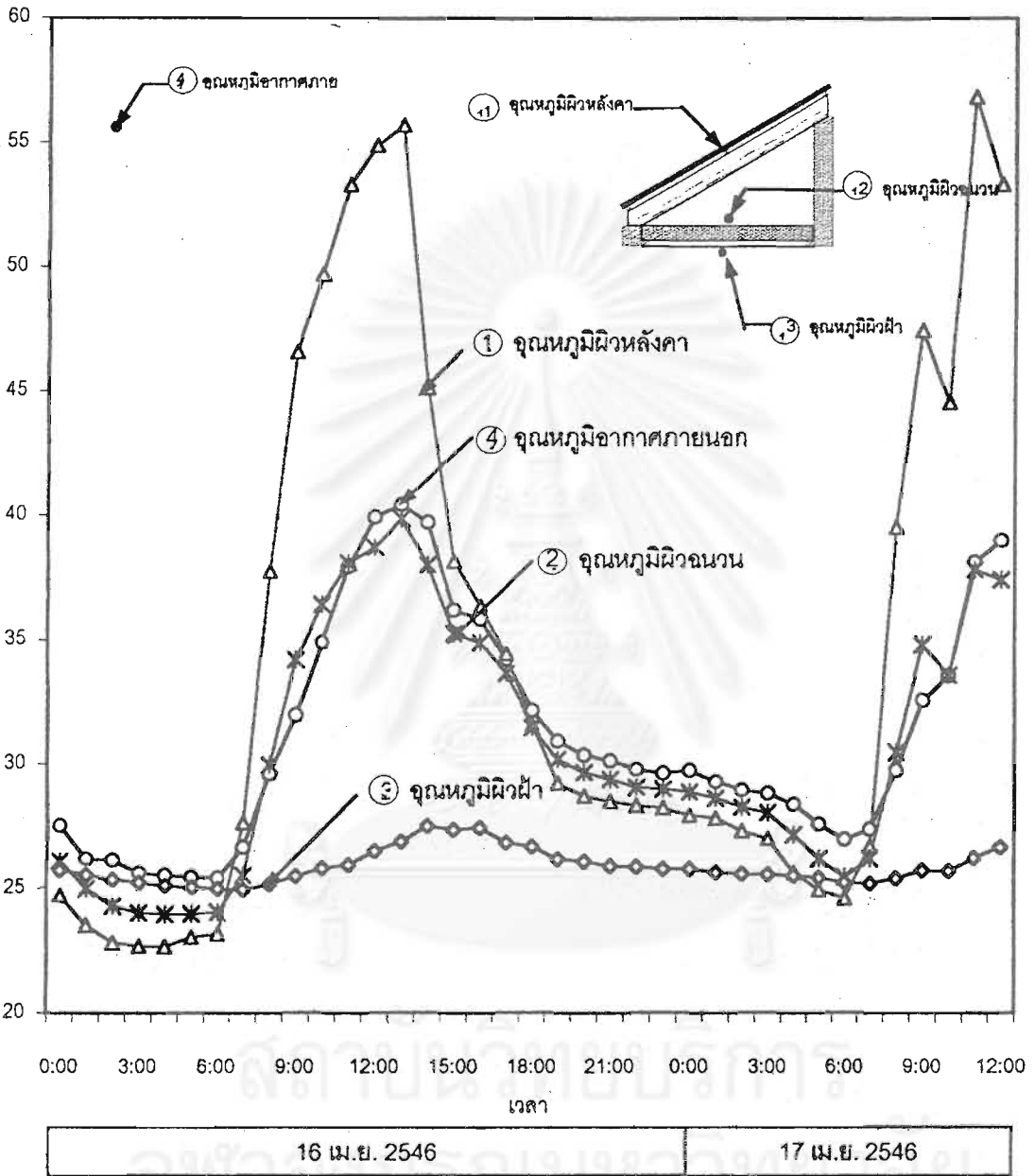
องศาเซลเซียส



○ จุดอุณหภูมิอากาศภายนอก △ จุดอุณหภูมิหลังคา * จุดอุณหภูมิฉนวน ◇ จุดอุณหภูมิฝ้า

แผนภูมิที่ 4.22 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กกริดลอนสี่ขาที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น. หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.ft.F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

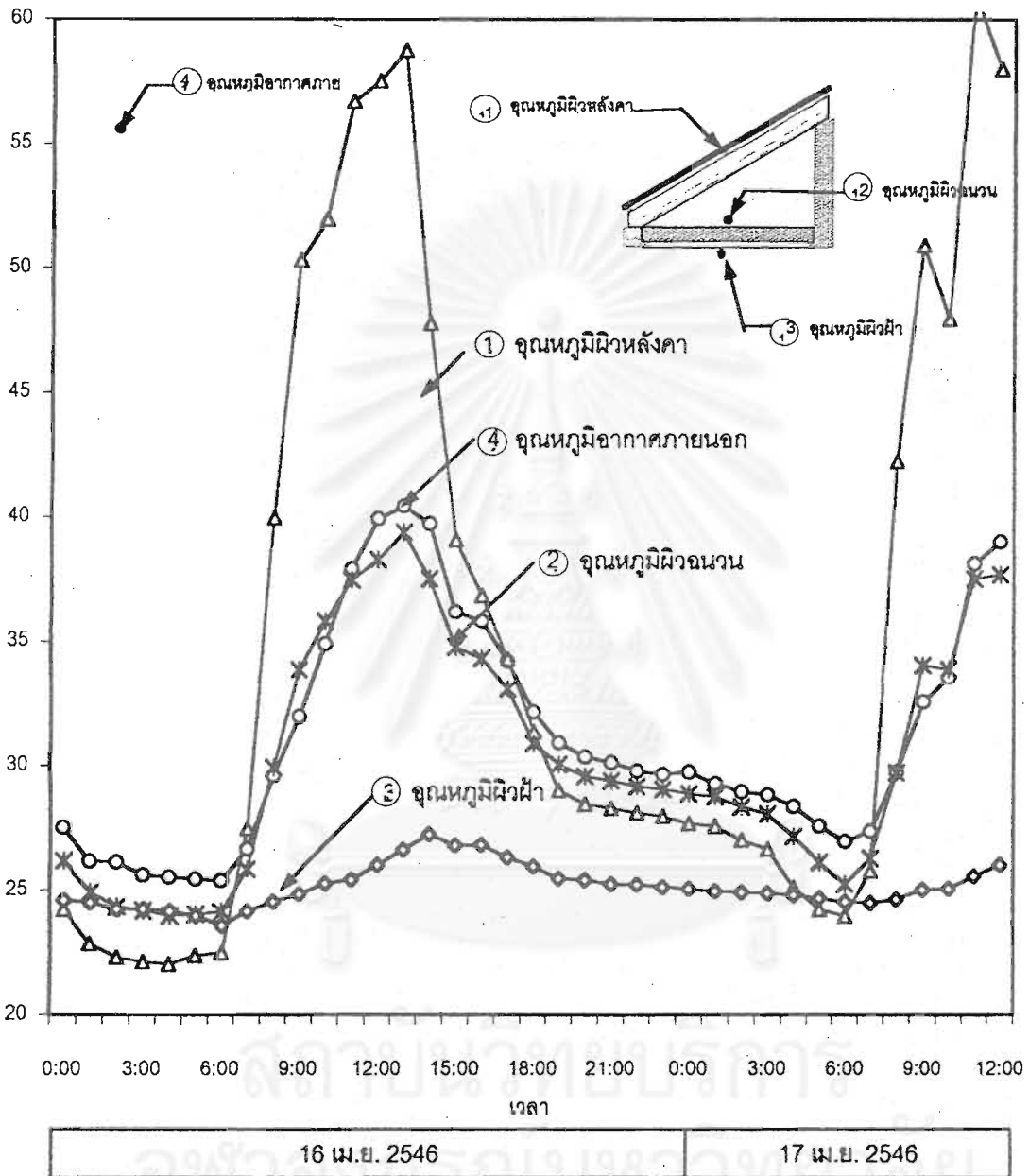
องศาเซลเซียส



—○— อุณหภูมิอากาศภายนอก —△— อุณหภูมิผิวหลังคา —*— อุณหภูมิผิวฉนวน —◇— อุณหภูมิผิวฝ้า

แผนภูมิที่ 4.23 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กรีดลอนสี่เหลี่ยมที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.
 หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

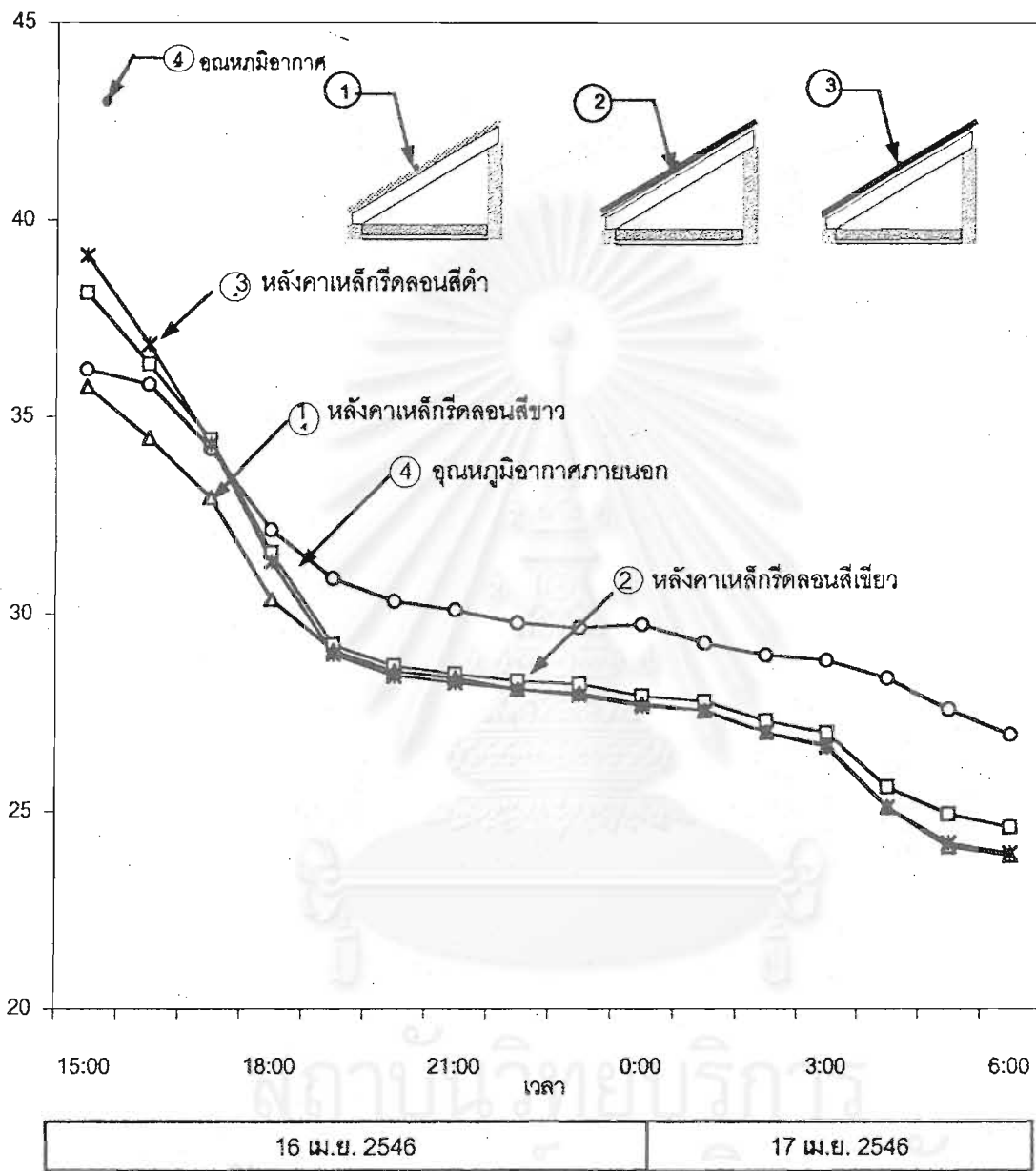
องค์การเซลเซียส



—○— จุดอุณหภูมิอากาศภายนอก —△— จุดอุณหภูมิผิวหลังคา —*— จุดอุณหภูมิผิวฉนวน —◇— จุดอุณหภูมิผิวฝ้า

แผนภูมิที่ 4.24 เปรียบเทียบจุดอุณหภูมิอากาศภายนอกกับจุดอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กกริดลอนสีดำที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ
เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.
หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

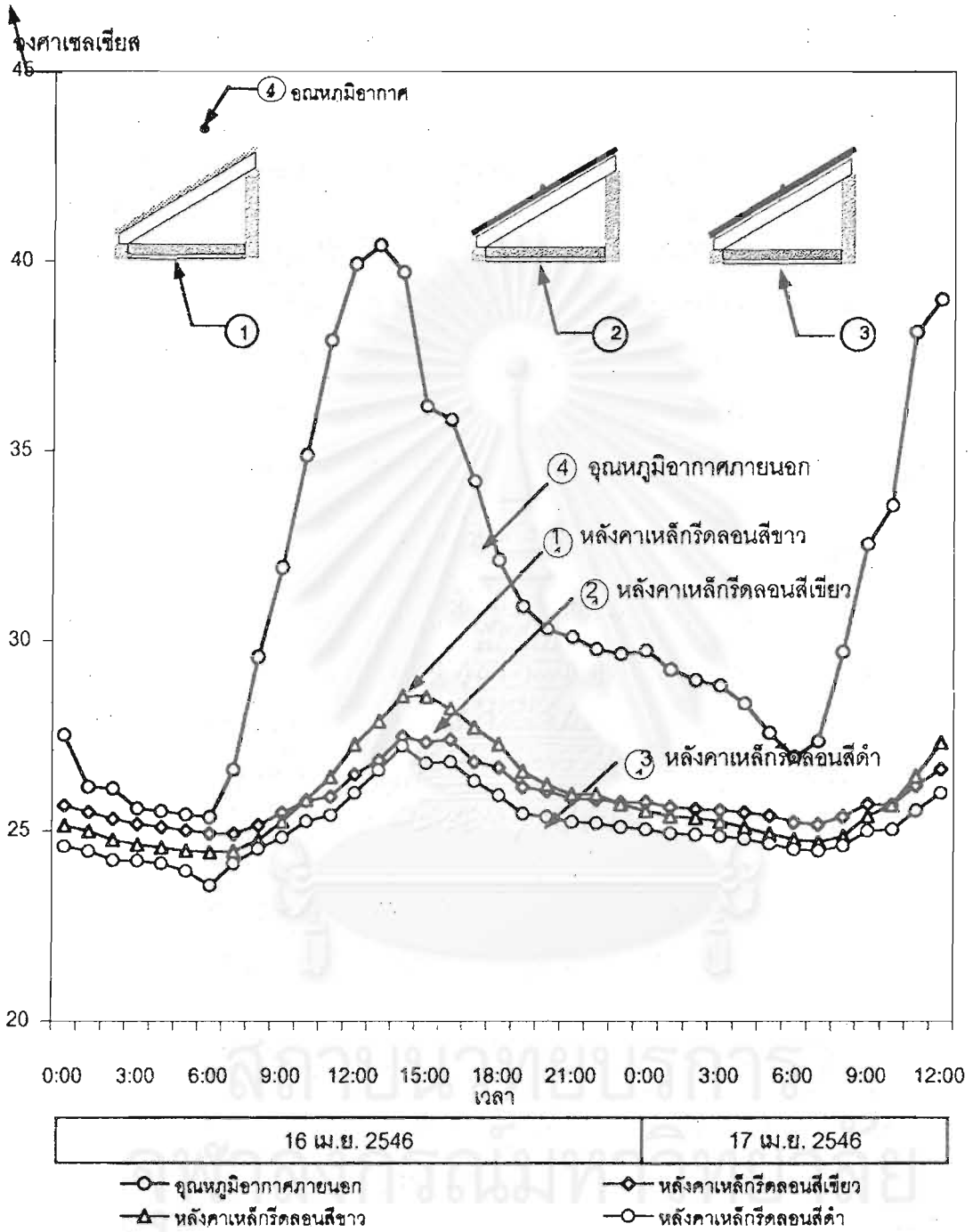
องศาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 4.26 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิที่ผิวหลังคาของระบบหลังคาเหล็กรีดลอนที่ใช้วัสดุฉนวนหลังคาต่างกัน (ในช่วงเวลา 15:00 น. ถึง 6:00 น.)

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f./Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน



แผนภูมิที่ 4.27 เปรียบเทียบจุดหมุมอากาศภายนอกกับจุดหมุมที่ผิวฝ้าของระบบหลังคาเหล็กรีดลอนที่ใช้สีวัสดุหมุมหลังคาต่างกัน

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

จากการทดลองเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านระบบหลังคาที่ต่างกันระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึงวันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น. สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

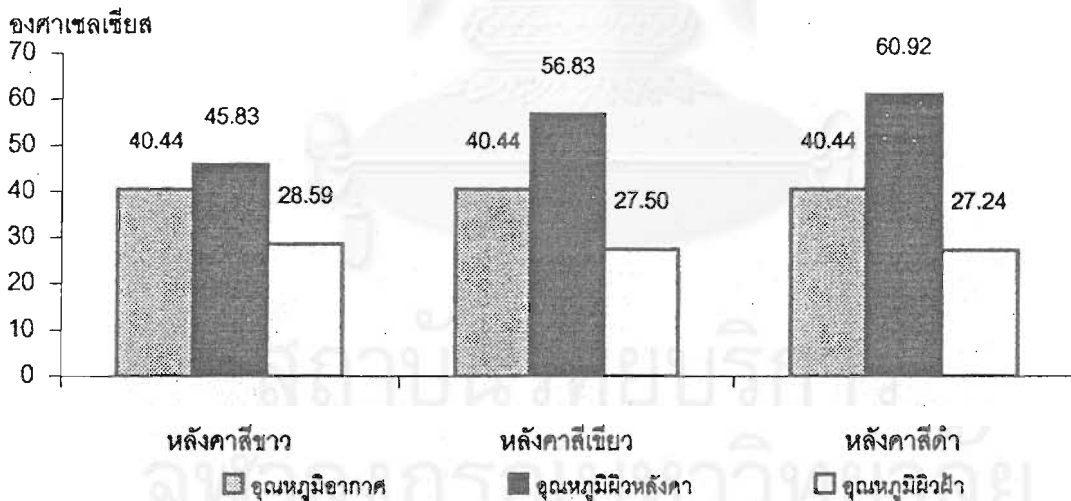
1.) ช่วงเวลากลางวัน (6.30 น. – 18.00 น.)

เมื่อแผ่นเหล็กรีดลอนได้รับพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่ผิววัสดุหลังคาก็จะมีระดับที่สูงขึ้น จึงนำความร้อนเข้าสู่เนื้อวัสดุหลังคา และแผ่รังสีเข้าสู่อากาศใต้หลังคา ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารทดลองสูงขึ้น ในช่วงเวลา 13:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีระดับสูงที่สุดตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลคือ มีค่า 40.44 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิววัสดุหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำคือ 58.77 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิววัสดุหลังคาเหล็กรีดลอนสีเขียว มีค่า 55.67 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิววัสดุหลังคาเหล็กรีดลอนสีขาว มีค่า 45.83 องศาเซลเซียส เนื่องจากหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำเป็นวัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้น (Short Wave Solar Absorption) มากที่สุดจึงทำให้มีอุณหภูมิที่ผิววัสดุหลังคาที่มีระดับสูงที่สุดและเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของหลังคาที่มีพื้นที่สีดำจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดคือ 26.61 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของหลังคาที่มีพื้นที่ผิวสีเขียวเท่ากับ 26.88 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของหลังคาที่มีพื้นที่ผิวสีขาวเท่ากับ 27.90 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4.26 – 4.27 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าในเวลากลางวันการพาความร้อนโดยอาศัยอากาศเป็นตัวกลาง เมื่ออากาศสัมผัสวัสดุหลังคาที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานขึ้นจากการคำนวณโดยใช้สมการ $Q_{conv} = h * A * (T_s - T_f)$ ปริมาณความร้อนจากการพาความร้อนสูงสุดของหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำมีค่า 31.19 บีทียูต่อชั่วโมง ปริมาณความร้อนจากการพาความร้อนสูงสุดของหลังคาเหล็กรีดลอนสีเขียว มีค่า 25.53 บีทียูต่อชั่วโมง ปริมาณความร้อนจากการพาความร้อนสูงสุดของหลังคาเหล็กรีดลอนสีขาว มีค่า 9.95 บีทียูต่อชั่วโมง จึงทำให้อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำมีอุณหภูมิต่ำที่สุด รองลงมาคือ สีเขียวและสีขาวตามลำดับ แสดงจากแผนภูมิ 4.24 – 4.25 ดังนั้นในเวลากลางวัน เมื่ออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิที่ผิววัสดุหลังคา มีความแตกต่างกันมาก ประสิทธิภาพการระบายอากาศในช่วงว่างจะมีอัตราส่วนระหว่างช่องลมเข้าเท่ากับช่องลมออกดีที่สุดในที่สุด

2.) ช่วงเวลากลางคืน (18.30 – 6.00 น.)

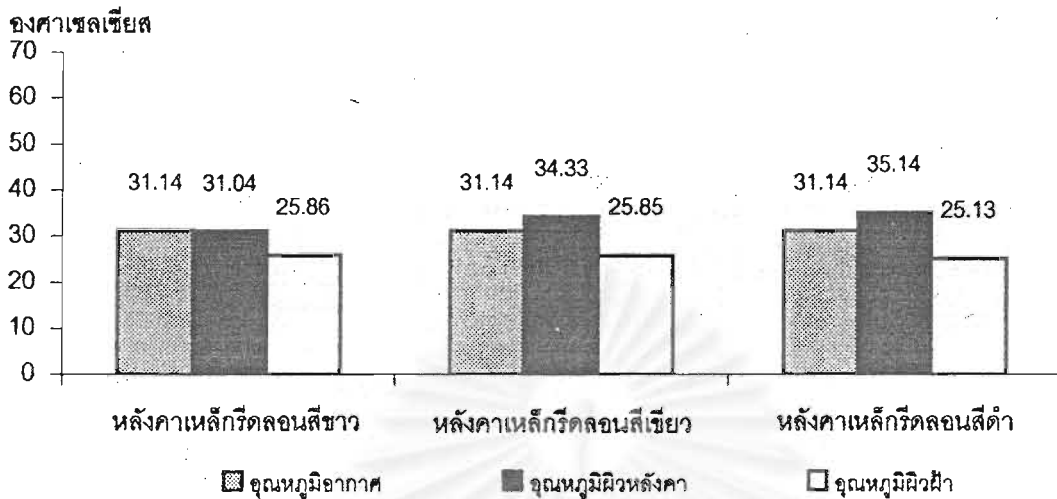
วัสดุผนังหลังคาเริ่มจะคายรังสีคืนสู่ห้องทำให้อุณหภูมิหลังคาต่ำลง เวลา 6.00 น. อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ในระดับต่ำที่สุด คือมีค่า 26.96 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิวหลังคาเหล็กกริดลอนซีเซียจะมีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ มีค่า 24.06 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิวหลังคาเหล็กกริดลอนซีเซียคือมีค่า 23.95 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิที่ผิวหลังคาเหล็กกริดลอนซีเซีย มีค่า 23.89 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างที่ผิววัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 สี และอุณหภูมิอากาศภายนอก พบว่า หลังคาเหล็กกริดลอนซีเซียมีความแตกต่างมากที่สุด เป็นผลให้อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานมีระดับต่ำที่สุดคือ มีค่า 23.56 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานหลังคาเหล็กกริดลอนซีเซีย มีค่า 24.44 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานหลังคาเหล็กกริดลอนซีเซียมีค่า 24.94 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาและอุณหภูมิอากาศภายนอกแล้ว พบว่ามีความแตกต่างกันไม่มากเมื่อเทียบกับช่วงเวลากลางคืนจึงทำให้ประสิทธิภาพการระบายอากาศในช่วงเวลากลางคืนสามารถระบายความร้อนได้น้อยกว่าช่วงเวลากลางวัน



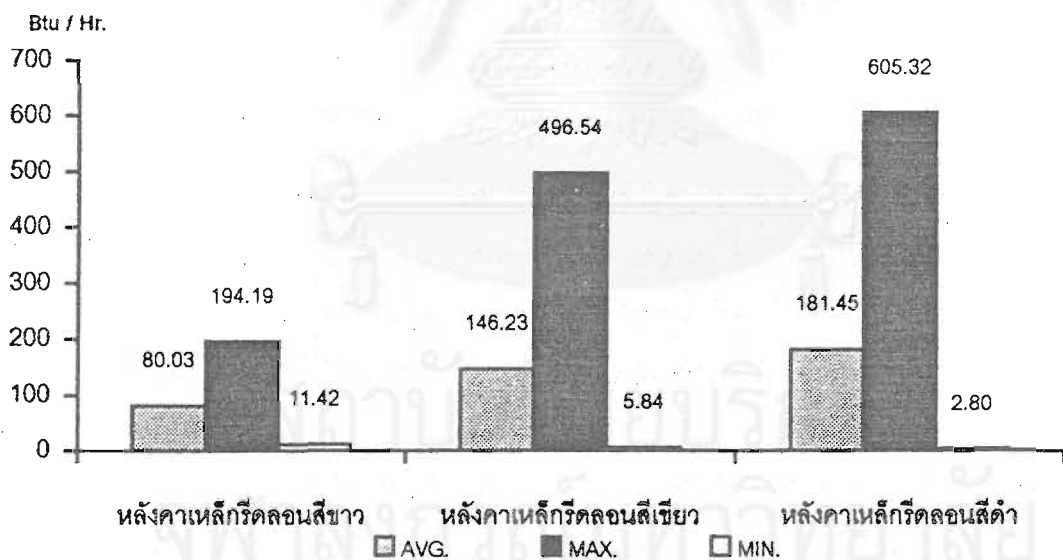
แผนภูมิที่ 4.28 เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงระหว่างอุณหภูมิอากาศอุณหภูมิผิวหลังคา และอุณหภูมิที่ผิวฝ้าของระบบหลังคาที่ใช้วัสดุผนังหลังคาที่ต่างกัน

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

หมายเหตุ: ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.°F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโฟลีสไตรีนโพลีเมทิลในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน



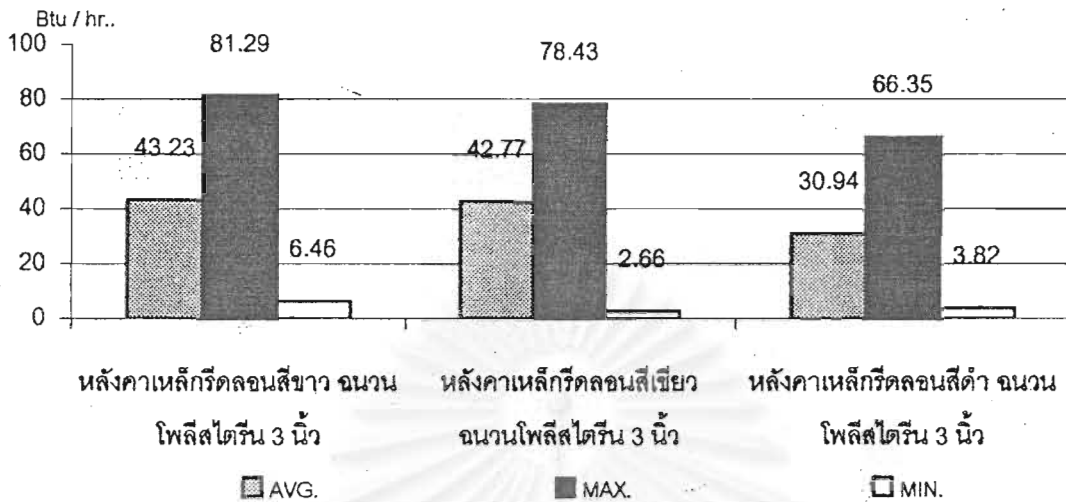
แผนภูมิที่ 4.29 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ระหว่างอุดหนุมิอากาศอุดหนุมิผิวหลังคา และอุดหนุมิที่ฝ้าของระบบหลังคาที่ใช้วัสดุคูดมุงหลังคาที่ต่างกัน เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.



แผนภูมิที่ 4.30 เปรียบเทียบปริมาณการพาความร้อนของอากาศในช่องว่างใต้หลังคา เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงที่ของระบบหลังคาที่ใช้วัสดุคูดมุงหลังคาที่ต่างกัน

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

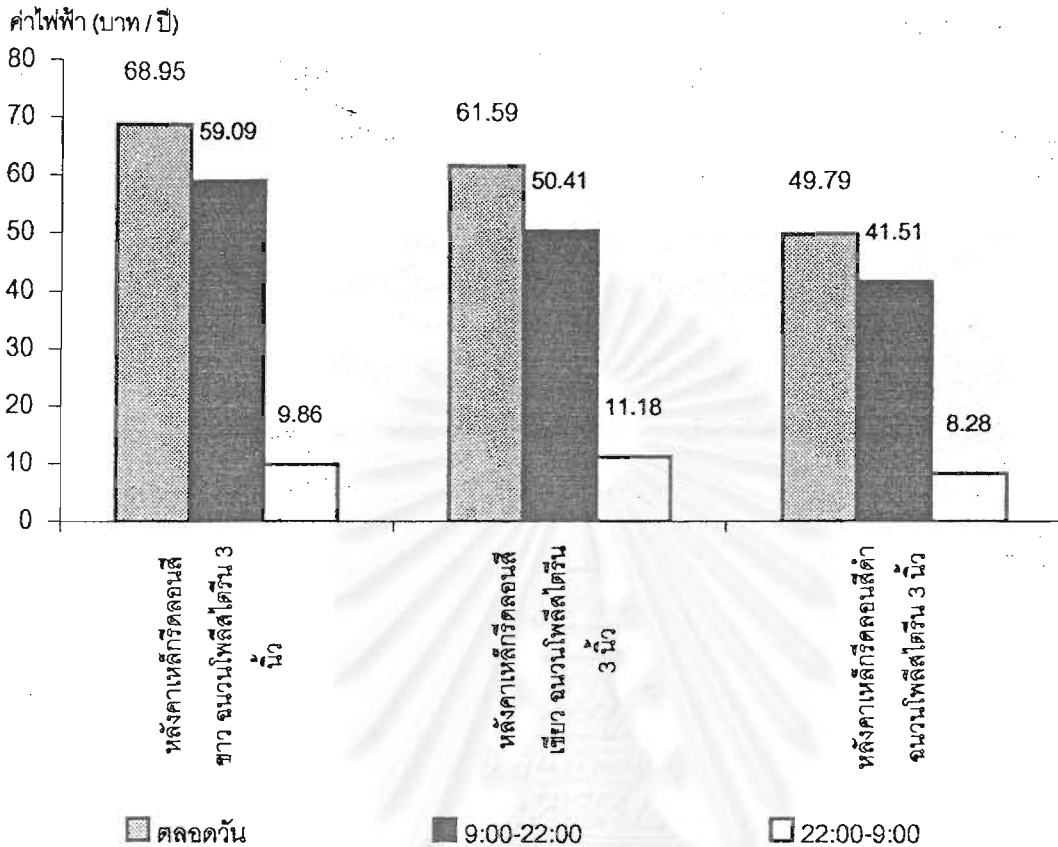
หมายเหตุ: ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.^oF/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโฟลีสไตรีนโพรโมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน



แผนภูมิที่ 4.31 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ผ่านระบบหลังคาที่ใช้วัสดุฉนวนหลังคาที่ต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

หมายเหตุ: ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.°F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

จากแผนภูมิ พบว่าในช่วงเวลาที่ปริมาณความร้อนจากภายนอกถ่ายเทเข้ามามากที่สุด หลังคาเหล็กรีดลอนสีขาวย่นที่มีการระบายอากาศได้หลังคาและฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวราบมีปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านเข้ามามากที่สุด มีค่า 81.29 บีทียูต่อชั่วโมง หลังคาเหล็กรีดลอนสีเขียวที่มีการระบายอากาศได้หลังคาและฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวราบมีปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านเข้ามา มีค่า 78.43 บีทียูต่อชั่วโมง และหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำที่มีการระบายอากาศได้หลังคาและฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวราบมีปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านเข้ามา มีค่า 66.35 บีทียูต่อชั่วโมง



แผนภูมิที่ 4.32 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อปีจากการปรับอากาศแบ่งตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ของระบบหลังคาที่ใช้วัสดุฉนวนหลังคาต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 16 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 17 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น.

หมายเหตุ: ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f. °F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตร์โฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

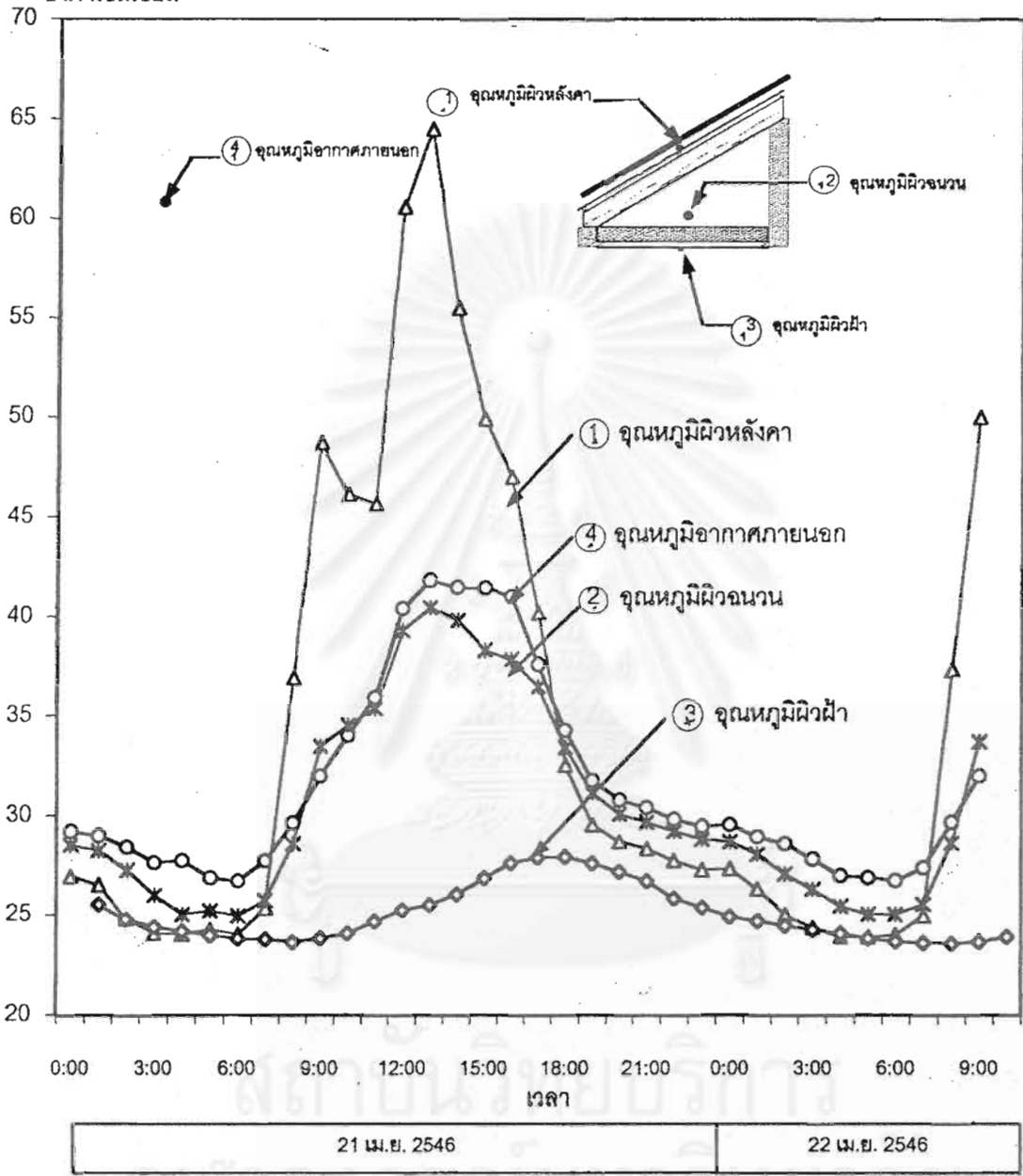
เมื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อปีจากการปรับอากาศของระบบหลังคาเหล็กิริตลอนที่มีการระบายอากาศใต้หลังคาและฉนวนโพลีสไตร์หนา 3 นิ้วในแนวราบที่ใช้วัสดุฉนวนหลังคาต่างกัน ค่าหลังคาเหล็กิริตลอนสีดำเสียค่าไฟฟ้า 49.79 บาท หลังคาเหล็กิริตลอนสีเขียวเสียค่าไฟฟ้า 61.59 บาท และหลังคาเหล็กิริตลอนสีขาวเสียค่าไฟฟ้า 68.95 บาท

ดังนั้นการระบบหลังคาเหล็กกริดลอนสีดํา หรือสีเข้ม ควบคู่กับการใช้ช่องว่างระบายอากาศใต้หลังคาและฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้ว ความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต จึงเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารปรับอากาศในเขตร้อนชื้นได้อีกทางหนึ่ง

4.6 การศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของฉนวนที่มีความหนาต่างกัน

ทำการเก็บข้อมูล โดยทำการคัดเลือกระบบหลังคาที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 5 ที่มีค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนแตกต่างกันและมีความหนาต่างกัน คือ ฉนวนโพลีสไตรีนความหนาแน่น 1 ปอนด์ / ลบ.ฟุต. หนา 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว ซึ่งจะมีค่าการกันความร้อนต่างกัน คือ $12 \text{ hr. sq. f. }^{\circ}\text{F/Btu}$ และ $24 \text{ hr. sq. f. }^{\circ}\text{F/Btu}$ ควบคุมการติดตั้งระบบหลังคาและฉนวนในลักษณะเดียวกัน

องศาเซลเซียส



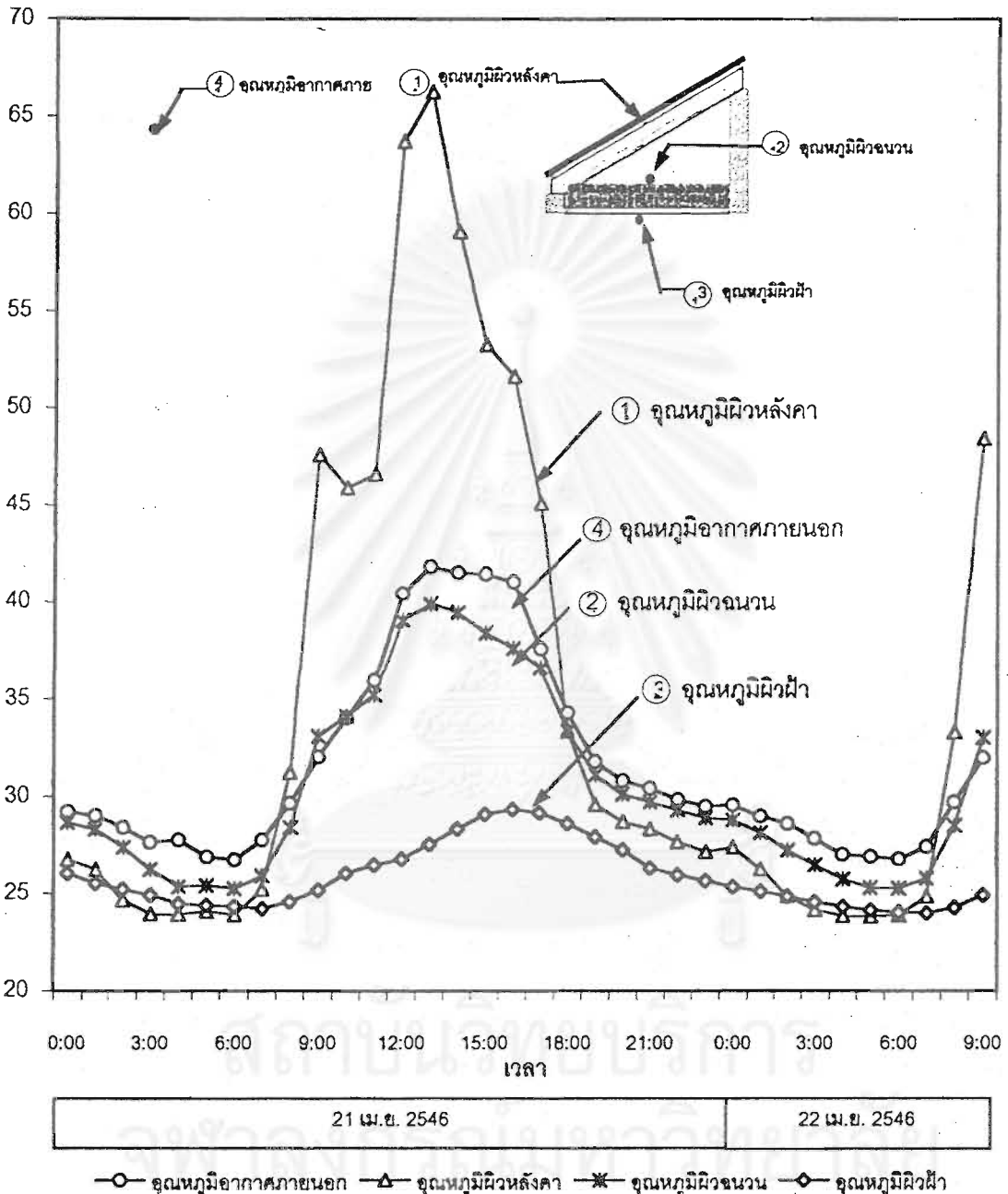
○ จุดอุณหภูมิอากาศภายนอก △ จุดอุณหภูมิผิวด้านหลังคา * จุดอุณหภูมิผิวด้านบน ◇ จุดอุณหภูมิผิวฝ้า

แผนภูมิที่ 4.33 เปรียบเทียบจุดอุณหภูมิอากาศภายนอก กับจุดอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กกริดลอนสี่ด้านที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว ในแนวราบ

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 22 เม.ย. 2546 เวลา 9:00 น.

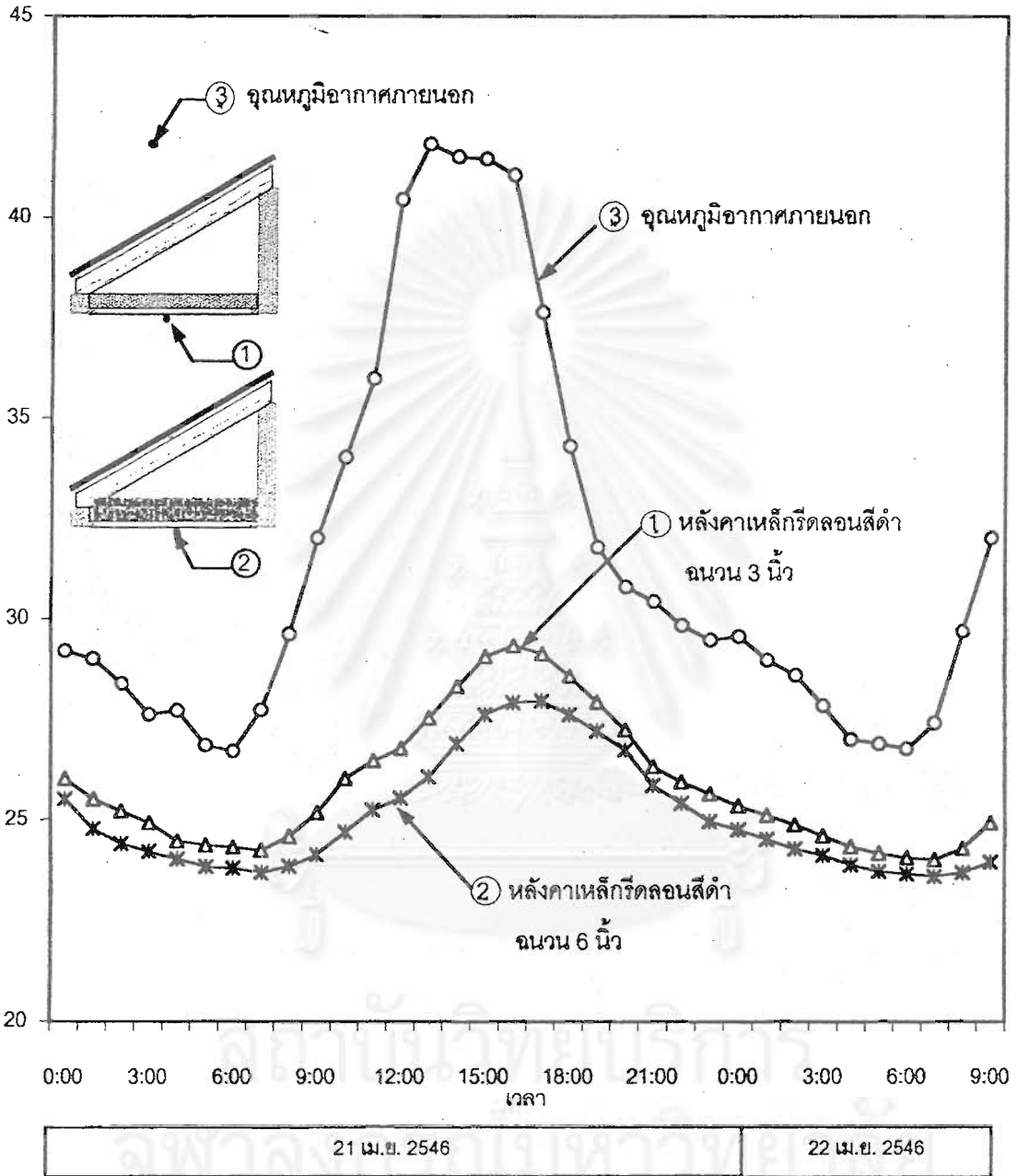
หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f./Btu 24 hr.sq.f./Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

องค์การเซลล์เซียส



แผนภูมิที่ 4.34 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต่างกันของระบบหลังคาเหล็กกรัดลอนสีด้าที่ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 6 นิ้ว ในแนวราบ เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 22 เม.ย. 2546 เวลา 9:00 น. หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ $12 \text{ hr}\cdot\text{sq}\cdot\text{f}\cdot\text{F}/\text{Btu}$ $24 \text{ hr}\cdot\text{sq}\cdot\text{f}\cdot\text{F}/\text{Btu}$ และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

องศาเซลเซียส

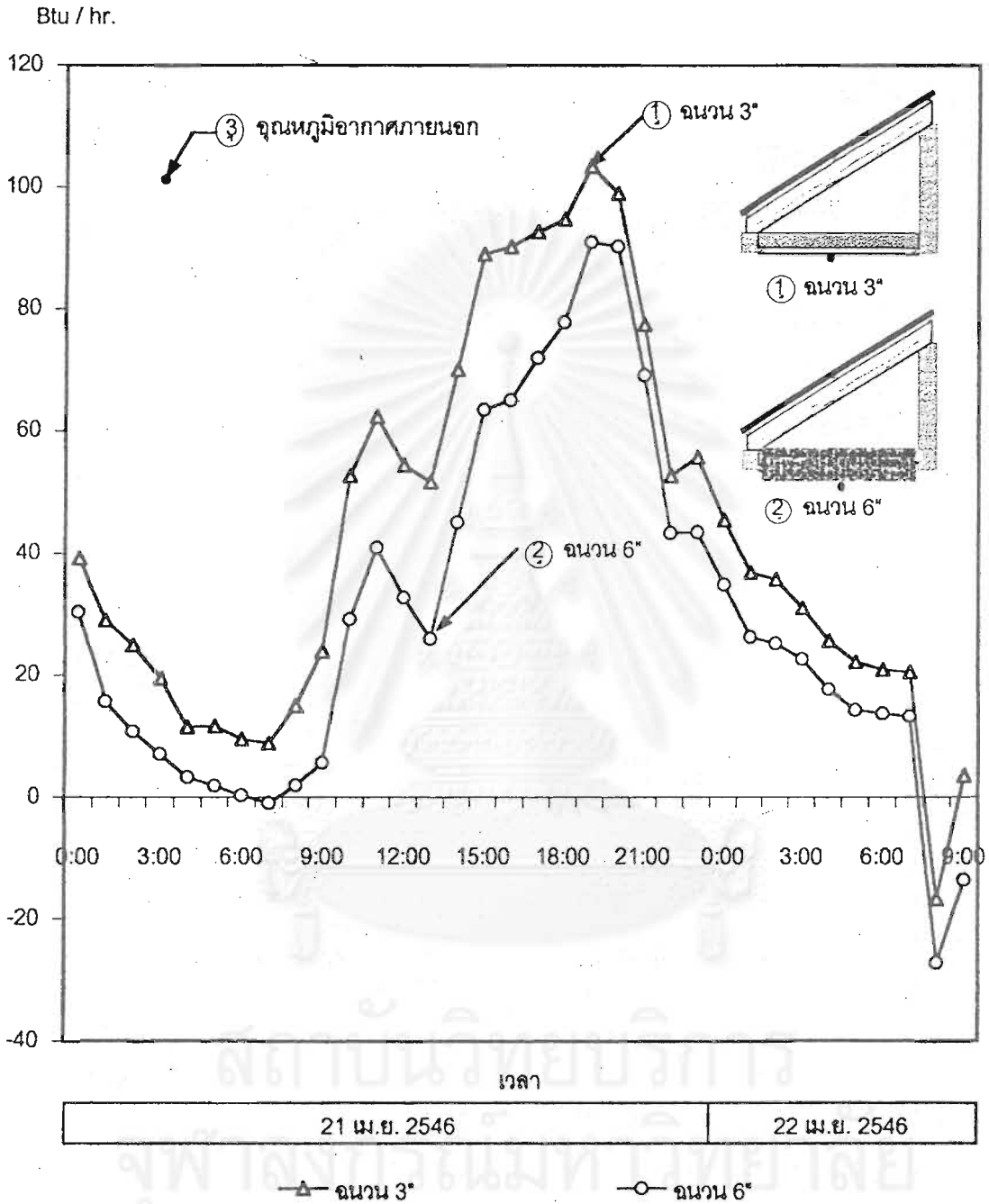


—○— อุณหภูมิอากาศภายนอก —△— หลังคาเหล็กรีดลอนสีดำ จำนวน 3 นิ้ว —*— หลังคาเหล็กรีดลอนสีดำ จำนวน 6 นิ้ว

แผนภูมิที่ 4.35 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของระบบหลังคาเหล็กรีดลอนที่ใช้จำนวนหนาต่างกัน

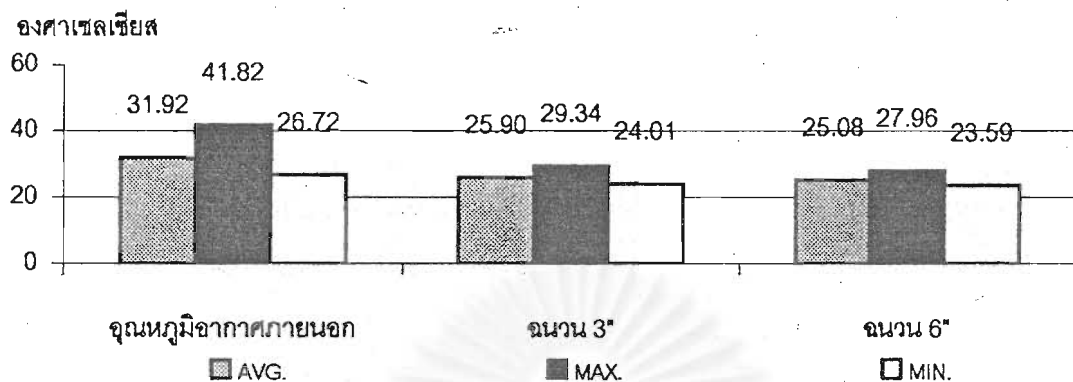
เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 22 เม.ย. 2546 เวลา 9:00 น.

หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.F/Btu 24 hr.sq.f.F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

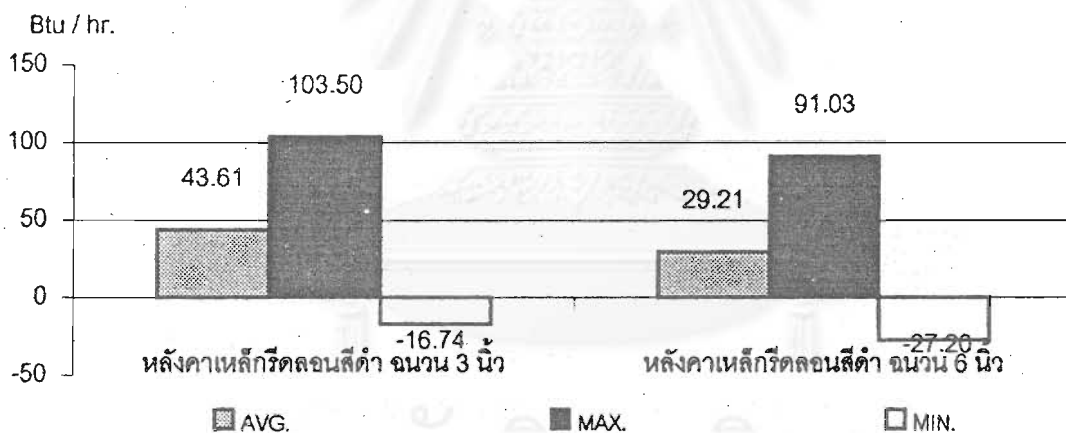


แผนภูมิที่ 4.36 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาเหล็กกริดลอนสีดําที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนาต่างกัน

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึง วันที่ 22 เม.ย. 2546 เวลา 9:00 น.
 หมายเหตุ : ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f./Btu 24 hr.sq.f./Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน



แผนภูมิที่ 4.37 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุดระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของระบบหลังคาเหล็กกริดลอนสี่ดำที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนที่มีความหนาต่างกัน เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึงวันที่ 22 เม.ย. เวลา 9:00 น.



แผนภูมิที่ 4.38 เปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านของระบบหลังคาเหล็กกริดลอนสี่ดำที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนที่มีความหนาต่างกัน เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึงวันที่ 22 เม.ย. เวลา 9:00 น.

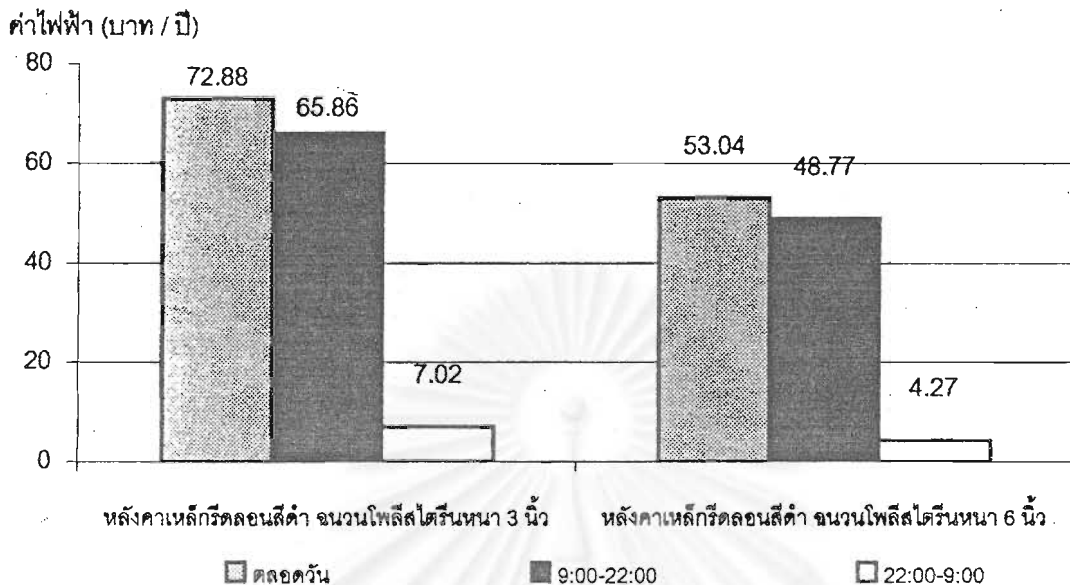
หมายเหตุ: ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.°F/Btu 24 hr.sq.f.°F/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

จากการทดลองเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนที่มีความหนาต่างกันระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึงวันที่ 22 เม.ย. 2546 เวลา 12:00 น. สามารถวิเคราะห์ได้ ดังนี้

ในช่วงเวลากลางวันเมื่อวัสดุผนังหลังคาได้รับอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผิววัสดุผนังหลังคาก็จะมีระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น และจะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่พื้นที่ใต้หลังคาที่มีระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า คือ ช่องว่างระบายอากาศใต้หลังคา จนวนกันความร้อน และฝ้าเพดานตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคา มีความแตกต่างกัน จะทำให้เกิดการระบายความร้อนในช่องระบายอากาศใต้หลังคาโดยการพาความร้อนของอากาศทำให้อุณหภูมิที่ผิวผนังกันความร้อนอยู่ในระดับใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ และคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนและความจุความร้อนเฉพาะของวัสดุที่ต่ำ จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ

ช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศเริ่มลดต่ำลง วัสดุผนังหลังคาเริ่มแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าทำให้อุณหภูมิที่ผิวหลังคาอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิที่ผิวหลังคาจะทำให้เกิดการพาความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ช่องว่างระบายอากาศ การติดตั้งฉนวนจึงช่วยลดอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนจากอากาศภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารทดลองได้ทำให้อุณหภูมิที่ผิวฝ้าอยู่ในระดับต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ

ประเภทของฉนวนกันความร้อนและค่าการต้านทานความร้อนของฉนวนที่ต่างกัน ทำให้อิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคา และสภาพแวดล้อมภายนอกแตกต่างกันด้วย เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดาน พบว่าเวลา 13:00 น. ซึ่งอุณหภูมิอากาศภายนอกมีระดับสูงที่สุด คือ 41.82 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนหนา 3 นิ้ว จะเท่ากับ 27.53 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของระบบหลังคาที่ใช้ฉนวนหนา 6 นิ้ว จะเท่ากับ 26.06 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่ถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่อาคารพบว่า การใช้ฉนวนหนา 6 นิ้วสามารถลดปริมาณความร้อนลงได้ 29.34% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนหนา 3 นิ้ว

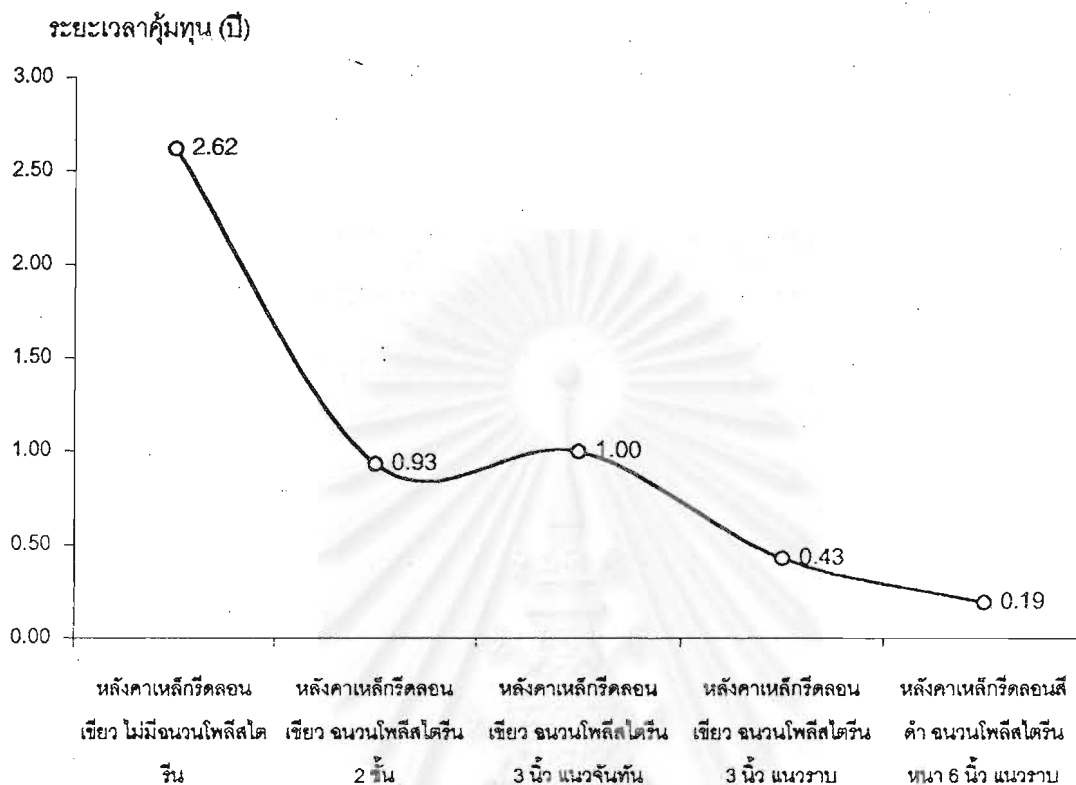


แผนภูมิที่ 4.39 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจากการปรับอากาศของระบบหลังคาเหล็กรีดลอนสีด้าที่ใช้จำนวนโพลีสไตรีนที่มีความหนาต่างกัน แบ่งตามช่วงเวลาต่างๆ

เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 21 เม.ย. 2546 เวลา 24:00 น. ถึงวันที่ 22 เม.ย. เวลา 9:00 น.

หมายเหตุ: ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ $12 \text{ hr}\cdot\text{sq}\cdot\text{ft}^{\circ}\text{F}/\text{Btu}$ $24 \text{ hr}\cdot\text{sq}\cdot\text{ft}^{\circ}\text{F}/\text{Btu}$ และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้จำนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

เมื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศระหว่างหลังคาเหล็กรีดลอนสีด้าที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนาต่างกัน พบว่าหลังคาเหล็กรีดลอนสีด้าที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้ว ต้องเสียค่าไฟฟ้าต่อปี 72.88 บาท และหลังคาเหล็กรีดลอนสีด้าที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 6 นิ้ว ต้องเสียค่าไฟฟ้าต่อปี 53.04 บาท ซึ่งการใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 6 นิ้ว ในระบบหลังคาเหล็กรีดลอนสีด้าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ถึง 72.77 %



แผนภูมิที่ 4.40 เปรียบเทียบระยะเวลาคุ้มทุนของระบบหลังคาต่างๆ

หมายเหตุ: ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ $12 \text{ hr}\cdot\text{sq}\cdot\text{ft}^{\circ}\text{F}/\text{Btu}$ และ $24 \text{ hr}\cdot\text{sq}\cdot\text{ft}^{\circ}\text{F}/\text{Btu}$ และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาคุ้มทุนของระบบหลังคาที่ต่างกัน พบว่าหลังคาเหล็กรีดลอนสีดำที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 6 นิ้วในแนวราบมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 0.19 ปี หลังคาเหล็กรีดลอนสีเขียวที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวราบมีระยะเวลาคืนทุน 0.43 ปี หลังคาเหล็กรีดลอนสีเขียวที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวจันทันมีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี หลังคาเหล็กรีดลอนสีเขียวที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวราบมีระยะเวลาคืนทุน 0.43 ปี และหลังคาเหล็กรีดลอนสีเขียวไม่มีฉนวนโพลีสไตรีนมีระยะเวลาคืนทุน 2.62 ปี

ดังนั้น การใช้ฉนวนหนา 6 นิ้วร่วมกับแผ่นเหล็กรีดลอนสีดำ และการระบายอากาศด้วยช่องว่างอากาศจึงเป็นแนวทางในการลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารปรับอากาศในเขตร้อนชื้นได้อีกทางหนึ่ง

บทที่ 5

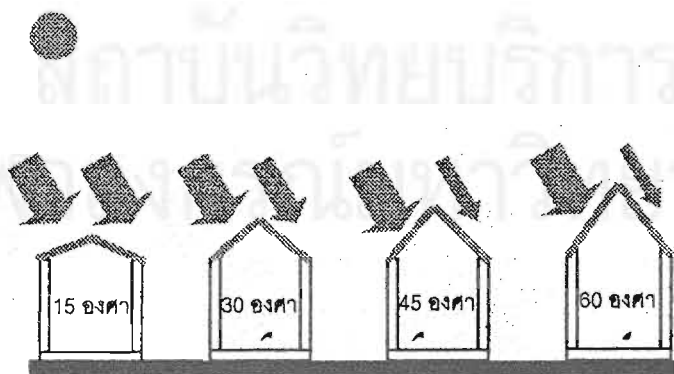
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยเรื่องการศึกษาเพื่อแสวงหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น พบว่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ และการถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อม เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้อุณหภูมิใต้หลังคา และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมีระดับสูงขึ้น ดังนั้นแนวทางเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านหลังคาสามารถสรุปได้ดังนี้

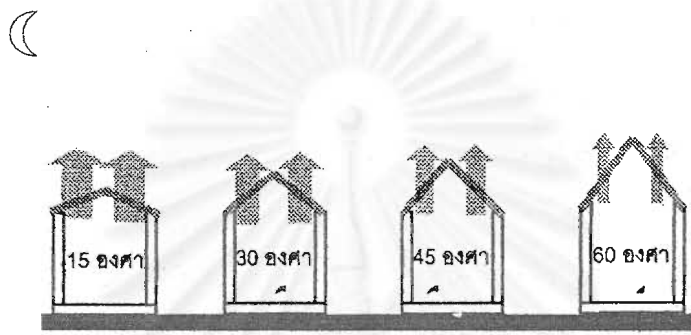
1) มุมองศาหลังคาที่แตกต่างกันจะส่งผลต่ออุณหภูมิภายในอาคาร และปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านหลังคาแตกต่างกัน

- ในช่วงเวลากลางวันหลังคา 60 องศา เป็นหลังคาที่มีความลาดชันและมีพื้นที่ผิวหลังคามากที่สุด แต่การแผ่รังสีตรงของดวงอาทิตย์ทำมุมตกกระทบกับพื้นที่ผิวหลังคา 60 องศา น้อยกว่า หลังคา 45 องศา หลังคา 30 องศา และหลังคา 15 องศา ตามลำดับ เป็นผลให้ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ต่อตารางเมตรน้อยกว่า ประกอบกับการแผ่รังสีความร้อนของผิวหลังคาภายในสู่พื้นที่ใช้งานมีมุมน้อยกว่า ดังนั้นอิทธิพลความร้อนจากหลังคา 60 องศา จึงน้อยกว่าหลังคามุมอื่นๆ



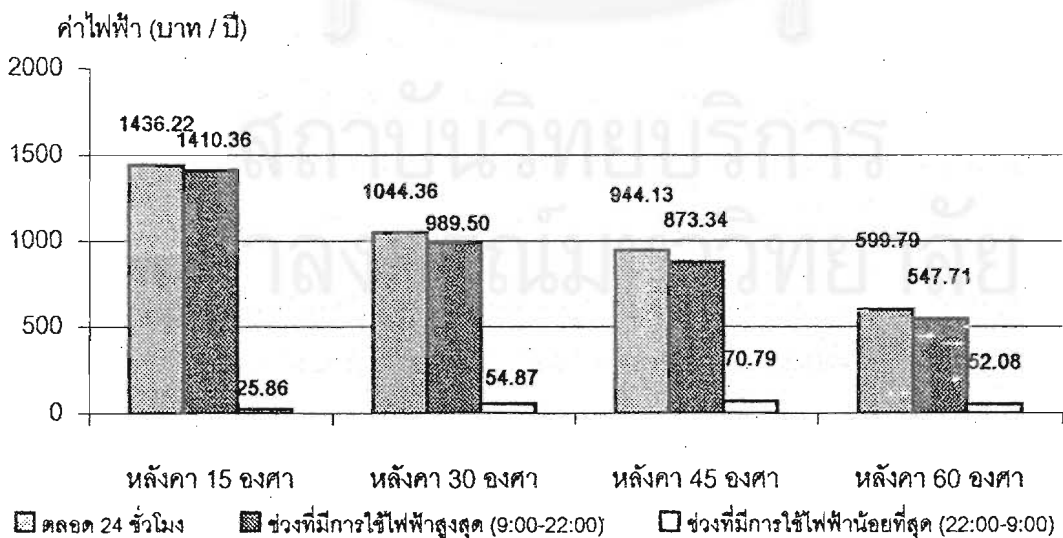
ภาพที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่กระทบหลังคาที่มีมุมองศาต่างกัน

- ในช่วงเวลากลางคืน หลังคา 15 องศา เป็นหลังคาที่มีความลาดชันน้อยกว่า หลังคา 30 องศา หลังคา 45 องศา และหลังคา 60 องศา ตามลำดับ และมีมุมเปิดสู่ท้องฟ้าเพื่อแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับท้องฟ้ามากที่สุด จึงสามารถคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าได้มากกว่า เป็นผลให้อุณหภูมิที่ผิวหลังคา และอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาต่ำที่สุด



ภาพที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบการคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าของหลังคาที่มีมุมองศาต่างกัน

- เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านหลังคาเหล็กกริดลอนที่มีองศาต่างกัน (แต่มีพื้นที่ใช้งานใต้หลังคาเท่ากัน) ตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง หลังคา 60 องศา จะมีปริมาณความร้อนส่งผ่านน้อยกว่า ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศน้อยกว่า



แผนภูมิที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจากการปรับอากาศของหลังคาที่มีองศาต่างกัน

2) เนื่องจากการโคจรของดวงอาทิตย์ส่งผลให้หลังคาที่วางหันไปในทิศทางต่างกันคือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศใต้ ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ต่างกัน ในช่วงเวลา 6:00 น. - 12:00 น. หลังคาที่วัสดุผนังหลังคาหันไปในทิศตะวันออกจะมีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาสูงที่สุด ในช่วงเวลา 13:00 น. - 18:00 น. หลังคาที่วัสดุผนังหลังคาหันไปในทิศตะวันตกจะมีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาสูง หลังคาที่วัสดุผนังหลังคาหันไปด้านทิศใต้จะมีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคาสูง (เฉพาะเดือนเมษายน 2546 เท่านั้น)

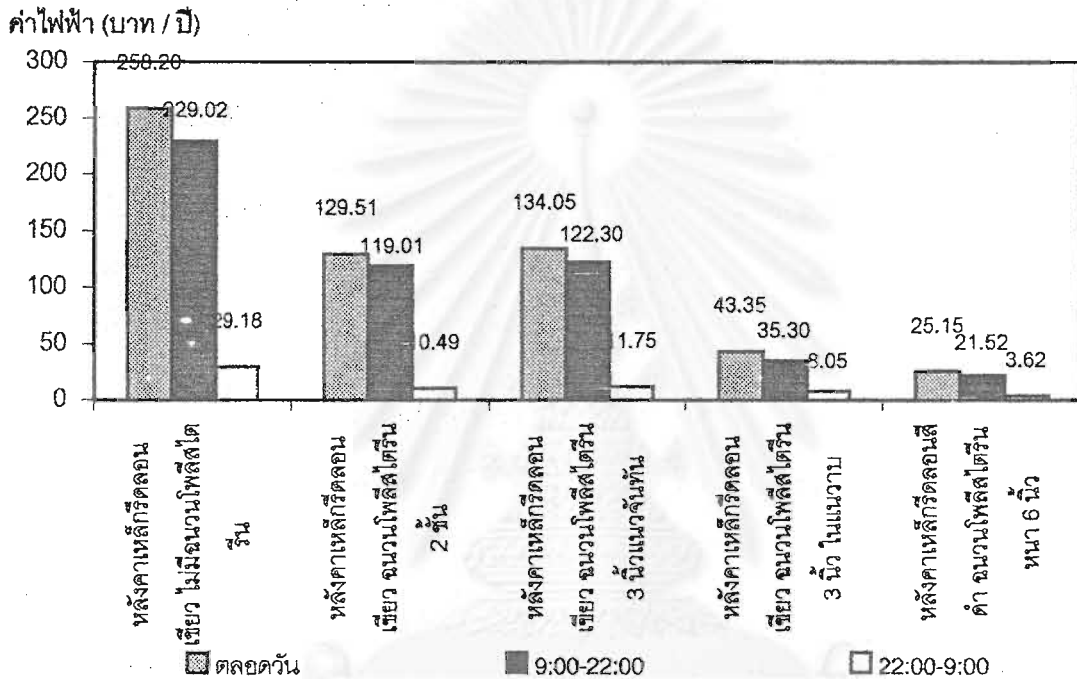
3) แผ่นเหล็กกริดลอนเป็นวัสดุมวลเบาที่มีค่าในการนำความร้อนสูงดังนั้นในช่วงเวลากลางวันจึงมีอุณหภูมิที่ผิววัสดุสูงกว่า กระเบื้องดินเผา และคอนกรีต และมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ดังนั้นการให้ประโยชน์จากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิววัสดุและอุณหภูมิอากาศมาประยุกต์ใช้ในการลดความร้อนที่สะสมที่ผิววัสดุผนังหลังคาและช่องว่างอากาศใต้หลังคา โดยอาศัยการพาความร้อนที่สะสมออกผ่านช่องเปิดใต้หลังคาสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบ ช่วงเวลากลางคืนแผ่นเหล็กกริดลอนมีอุณหภูมิที่ผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ กระเบื้องดินเผา และคอนกรีต เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีค่าในการคายรังสีความร้อนมากกว่า จึงอาศัยคุณสมบัติของวัสดุในเรื่องการคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้ามาช่วยทำความเย็นให้กับพื้นที่ใช้สอยในอาคารได้

4) อัตราการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในช่องว่างอากาศใต้หลังคาจะมีประสิทธิภาพดีกว่าหลังคาที่ไม่มีการระบายอากาศในช่องว่างอากาศใต้หลังคา

5) หลังคาเหล็กกริดลอนเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง เมื่อได้รับอิทธิพลการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคามีระดับที่สูงมาก ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศใต้หลังคา และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมีระดับที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นการติดตั้งฉนวนกันความร้อน จะช่วยลดการถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่อาคารได้ดังนี้

** การใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโดยกำหนดค่าความต้านทานความร้อนในการวิจัยนี้เป็นเพียงการจำลองค่าฉนวนให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามที่กำหนดแต่ไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ เนื่องจากไม่สามารถป้องกันเพลิงไหม้ หรืออาจเป็นเชื้อเพลิง วัสดุโฟมมีจุดหลอมเหลวต่ำจะเสียคุณสมบัติเมื่อความร้อนใต้หลังคาสูงเกินจุดหลอมเหลว วัสดุไม่สามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) และเกิดความเสียหายได้ ทำให้อายุการใช้งานลดลง และอื่นๆ

- การติดตั้งฉนวนที่มีค่าในการต้านทานความร้อน 12 hr.sq.F/Btu (จำลองโดยใช้โฟมหนา 3 นิ้ว) ในแนวราบร่วมกับการระบายอากาศใต้หลังคาจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารมากกว่าหลังคาที่ไม่มีการติดตั้งฉนวน และหลังคาติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว ตามแนวเอียงของหลังคา ร่วมกับการระบายอากาศใต้หลังคา



แผนภูมิที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจากการปรับอากาศของระบบหลังคาต่างๆ

หมายเหตุ: ข้อมูลในแผนภูมิเป็นการจำลองสภาพปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อใช้ฉนวนมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12 hr.sq.f.^oF/Btu 24 hr.sq.f.^oF/Btu และความหนาแน่น เท่ากับ 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต โดยเลือกใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมในการทดลอง เป็นตัวแทนค่าฉนวน

- เมื่อเพิ่มความหนาของฉนวนเป็น 6 นิ้ว (ค่าความต้านทานความร้อน 24 hr.sq.f.F/Btu) ในช่วงเวลาที่มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด สามารถลดค่าไฟฟ้าจากการปรับอากาศ 258.28 - 25.15 = 225.05 บาท ต่อปี (จากแผนภูมิที่ 5.2) เมื่อเปรียบเทียบหลังคาที่ไม่มีการติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีน

6) หลังคาที่มีความเข้มสีมากมีอุณหภูมิผิวหลังคาสูง หลังคาที่มีความเข้มสีน้อยมีอุณหภูมิผิวหลังคาต่ำกว่า ดังนั้นการใช้ฉนวนร่วมกับการระบายอากาศใต้ช่องหลังคาจะช่วยลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารได้บางส่วน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลา อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และบันทึกข้อมูล ทำให้ขอบเขตการวิจัยที่ยังไม่สามารถครอบคลุมในทุกตัวแปร จึงได้เสนอแนะแนวทางในการวิจัยต่อไปดังนี้

1. การศึกษาให้ครอบคลุมทุกช่วงฤดู เนื่องจากสภาพท้องฟ้ามีอิทธิพลต่อการรับและคายความร้อน ลักษณะมุมของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากสภาพท้องฟ้าในแต่ละฤดูกาลจะมีความแตกต่างกัน ควรขยายผลการทดลองให้ครบทุกช่วง
2. การประยุกต์ใช้การระบายอากาศในช่องอากาศใต้หลังคา มาใช้ในการระบายความร้อนออกสู่ภายนอกควรศึกษาอัตราการระบายอากาศและอัตราการพาปริมาณความร้อนจากการระบายอากาศ
3. การศึกษาการนำความร้อน และการเก็บกักความร้อนของหลังคาในช่วงเวลากลางคืน มาใช้
4. ศึกษาการใช้ฉนวนที่เหมาะสม คุณสมบัติทางกายภาพ การป้องกันความร้อนที่ต่างกัน และความเหมาะสมต่อการใช้งานจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2543. การใช้
ฉนวน: เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์
คอมฟอร์ม
- จัญาดา บุญเกียรติ. 2537. การลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคา. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลง
กรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิวพร ตุมพสุวรรณ. 2540. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัย. วิทยา
นิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิต
วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล. 2539. การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น: กรณีศึกษาอาคาร
ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนิศ จินดาวงศ์. 2532. ระบบป้องกันรังสีความร้อนในเปลือกอาคาร. สถาปัตยกรรม: วารสารวิชา
การ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 2: 32-49.
- ฤทัย ใจจงรัก. 2518. โครงการค้นคว้าวิจัย เรื่องเรือนไทยเดิม. กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรม
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สมภาพ ภิรมย์ และคณะ. (ม.ป.พ.) บ้านไทย. กรุงเทพมหานคร: แอ็ดว็ानซ์ อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล พรีนติ้ง
เซอร์วิสเซส์ จำกัด.
- สมภาพ ภิรมย์. (ม.ป.พ.) ปกิณกะคดีหมายเลข 13: บ้านไทยภาคกลาง. (ม.ป.ท.)
- สุนทร บุญญาธิการ. 2542. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า.
กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุนทร บุญญาธิการ. 2539. แนวความคิดในการเลือกวัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน. อาษา: วารสาร
สถาปัตยกรรมของสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ 7 (กรกฎาคม): 105-109.

สุภาวดี บุญถนอม. 2541. แนวทางการเพิ่มการนำความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุด. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรศิริ ปาณินท์. 2539. บ้านและหมู่บ้านพื้นถิ่น. กรุงเทพมหานคร: สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรม
ราชูปถัมภ์

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. 2541. การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อน. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

- American Society of Heating, Refrigerating and Conditioning Engineerings. 1989. 1989 ASHRAE Handbook Fundamental. I-P Edition. Atlanta Georgia.
- Aronin, Jeffrey Ellis. 1953. Climate and Architecture. New York: Reinhold Publishing Corporation.
- Duffie, John A. and Beckman, William A. 1991. Solar Engineering of Thermal Process. Second Edition. USA. John Wiley & Sons.
- Etheridge, David and Snadberg, Mats. 1996. Building Ventilation: Theory and Measurement. England: West Sussex PO19 IUD.
- Givoni, Baruch. 1994. Passive and Low Energy Cooling of Building. USA: Van Nostrand Rienhold.
- Hauser, Gerd and Minke, Gernot. 1994. Passive Building Design. Amsterdam: The Netherlands.
- Kinzey, Bertram Y. Jr. and Sharp, Howard M. 1936. Environment Technology in Architecture. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Lecture: Air Movement and Natural Ventilation [Online]. (n.d.).
<http://courses.arch.hku.hk/IntgBuildTech/lectures/airvent/sect02.htm>
- Olgay, V. 1963. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Archotectural Regionism. New Jersey: Princeton University Press.
- Stein, B., and Reynolds, J. S. 1992. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. 8th Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Sun Angle Basics. [Online]. (n.d.). Available: <http://aurora.crest.org/basics/solar/angle/4.htm>
- Sun-Earth Interaction. [Online]. (n.d.). Available: <http://aurora.crest.org/basics/solar/earth/2.htm>
- Unsteady Effects in the Design of Naturally Ventilated Buildings[Online]. (n.d.). Available: http://www.nottingham.ac.uk/sbe/research/unsteady_effects/index.htm



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ค่าความต้านทานความร้อนของระบบหลังคาในงานวิจัย

ค่าวัสดุหลังคาเหล็กรีดลอน เมื่อไม่มีฉนวนโพลีสไตรีน

ชนิดวัสดุ	ความหนา (in)	1/k	ค่า R (MEEB) heat flow down (h*ft ² *F)/Btu
1ฟิล์มอากาศด้านนอก			0.250
2หลังคาเหล็กรีดลอน	0.400		0.440
3ช่องว่างอากาศ (E = 0.05)			2.960
4ยิปซัมบอร์ด	0.236	0.25	0.300
5ฟิล์มอากาศด้านใน			0.814
		รวม	4.770
		ค่า U	0.209

ค่าวัสดุหลังคาเหล็กรีดลอน เมื่อมีฉนวนโพลีสไตรีน 2 ชั้น

ชนิดวัสดุ	ความหนา (in)	1/k	ค่า R (MEEB) heat flow down (h*ft ² *F)/Btu
1ฟิล์มอากาศด้านนอก			0.250
2หลังคาเหล็กรีดลอน	0.400		0.440
3ช่องว่างอากาศ (E = 0.05)			2.960
4ฉนวนโพลีสไตรีน	3.000	4.00	12.000
5ยิปซัมบอร์ด	0.236	0.25	0.300
6ฟิล์มอากาศด้านใน			0.814
		รวม	16.764
		ค่า U	0.059

ค่าวัสดุหลังคาเหล็กกรีดลอน เมื่อมีฉนวนโฟลีสไตรีนหนา 3 นิ้ว ในแนวจันทัน

ชนิดวัสดุ	ความหนา (in)	1/k	ค่า R (MEEB) heat flow down (h*ft ² *F)/Btu
1ฟิล์มอากาศด้านนอก			0.250
2หลังคาเหล็กกรีดลอน	0.400		0.440
3ช่องว่างอากาศ (E = 0.05)			2.960
4ฉนวนโฟลีสไตรีน	3.000	4.00	12.000
5ยิปซัมบอร์ด	0.236	0.25	0.300
6ฟิล์มอากาศด้านใน			0.814
รวม			16.764
ค่าU			0.060

ค่าวัสดุหลังคาเหล็กกรีดลอน เมื่อมีฉนวนโฟลีสไตรีนหนา 3 นิ้ว ในแนวราบ

ชนิดวัสดุ	ความหนา (in)	1/k	ค่า R (MEEB) heat flow down (h*ft ² *F)/Btu
1ฟิล์มอากาศด้านนอก			0.250
2หลังคาเหล็กกรีดลอน	0.400		0.440
3ช่องว่างอากาศ (E = 0.05)			2.960
4ฉนวนโฟลีสไตรีน	3.000	4.00	12.000
5ยิปซัมบอร์ด	0.236	0.25	0.300
6ฟิล์มอากาศด้านใน			0.920
รวม			16.870
ค่าU			0.059

ค่าวัสดุหุ้มฉนวนความร้อน เมื่อมีฉนวนโฟลีสไทรินหนา 6 นิ้ว ในแนวราบ

ชนิดวัสดุ	ความหนา (in)	1/k	ค่า R (MEEB) heat flow down (h*ft ² *F)/Btu
1ฟิล์มอากาศด้านนอก			0.250
2หุ้มฉนวนความร้อน	0.400		0.440
3ช่องว่างอากาศ (E = 0.05)			2.960
4ฉนวนโฟลีสไทริน	6.000	4.00	24.000
5ยิปซัมบอร์ด	0.236	0.25	0.300
6ฟิล์มอากาศด้านใน			0.920
		รวม	28.870
		ค่าบ	0.035

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

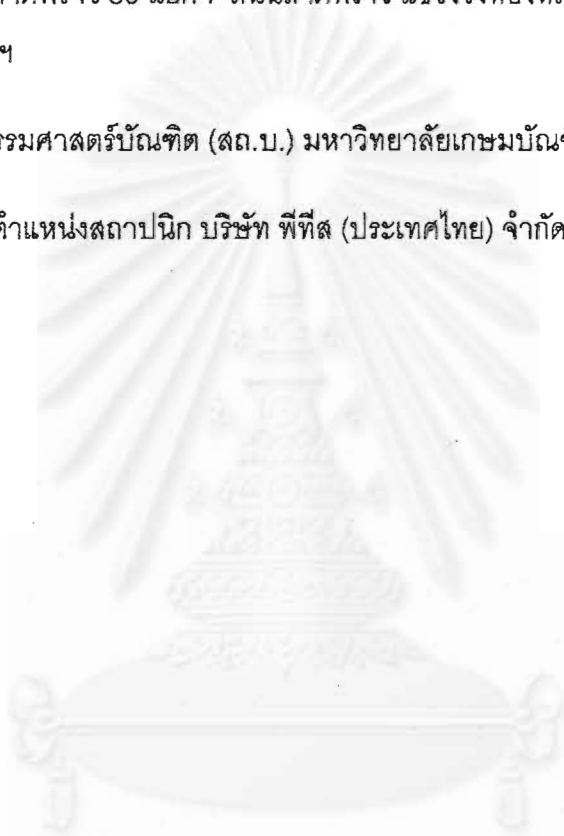
ชื่อ: นาย พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า

วัน / เดือน / ปี เกิด: 10 มกราคม 2520 สถานที่เกิด: กรุงเทพฯ

ที่อยู่ปัจจุบัน: 85 ซอยลาดพร้าว 80 แยก 7 ถนนลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง
กรุงเทพฯ

การศึกษา: สถาบันธรรมศาสตร์บัณฑิต (สถ.บ.) มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต พ.ศ. 2542

ประสบการณ์ทำงาน: ตำแหน่งสถาปนิก บริษัท พีทีเอส (ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ. 2542 - 2544



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย