พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุมุงหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น

นางสาวจุไรพร ตุมพสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-639-203-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

30 ก.ค. 2546

I18208253

THE BEHAVIORS OF HEAT TRANSFER THROUGH RESIDENTIAL ROOF MATERIALS IN HOT HUMID CLIMATE

Miss Juraiporn Tumpasuwan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partail Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology
Department of Architecture
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997

ISBN 974-639-203-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุมุงหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น
โดย	นางสาวจุไรพร ตุมพสุวรรณ
ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ

.....

บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ
(อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

จุไรพร ดุมพสุวรรณ : พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุมุงหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น (THE BEHAVIORS OF HEAT TRANSFER THROUGH RESIDENTIAL ROOF MATERIALS IN HOT HUMID CLIMATE) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ชนิต จันดาฉนิด, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ 130 หน้า ISBN 974-639-203-4

หลังคาเป็นส่วนประกอบของอาคารพักอาศัย ที่รับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ซึ่งหากไม่มีการป้องกันความร้อนในส่วนนี้แล้ว ความร้อนดังกล่าวย่อมส่งผลกระทบโดยตรงต่อสภาวะน่าสบาย ของผู้ใช้อาคารเป็นอย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ผ่านวัสดุมุงหลังคาพักอาศัยในเขตร้อนชื้น กรณีศึกษาประเทศไทย

วิธีการศึกษาขั้นแรกของงานวิจัย เป็นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลของรูปแบบวัสดุมุงหลังคาไทยโบราณ และวัสดุมุงหลังคาไทยในปัจจุบัน เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา ได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุมุงหลังคา มุมเอียงของหลังคา และการใช้ฉนวนกันความร้อนและการระบายอากาศบริเวณชายคา

วิธีการศึกษาขั้นสุดท้ายคือ การทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยใช้วิธีจำลองสภาพแวดล้อมจากการทดลอง เนื่องจากผู้วิจัยสามารถควบคุมตัวแปรรวมทั้งวิธีการทดลองได้ง่ายกว่าการเก็บข้อมูลจากอาคารจริง ซึ่งการศึกษานี้อาศัยการประเมินผลการถ่ายเทความร้อนโดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุด ชุดที่ 1 คือทดสอบวัสดุมุงหลังคาที่มีคุณสมบัติในการลดการถ่ายเทความร้อน โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบนและผิวล่างของวัสดุมุงหลังคา ชุดที่ 2 คือทดสอบมุมเอียงของหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน และชุดที่ 3 คือทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของหลังคาโดยการใช้ฉนวนกันความร้อนและการระบายอากาศบริเวณชายคา ตามลำดับ โดยเลือกใช้กล่องทดลอง ขนาด 1.20*1.20*1.20 ม. ผนังทำด้วยโฟมโพลีสไตรีน ด้านบนเปิดโล่งเพื่อวางหลังคาที่จะนำมาทดสอบ และทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ ภายในกล่องทดลองทุก ๆ 30 นาที

ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่า การทดลองชุดที่ 1 วัสดุมุงหลังคาที่มีคุณสมบัติในการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด จากการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ หญ้าคา เนื่องจากในช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวัน อุณหภูมิผิวล่างของหลังคาหญ้าคาต่ำกว่าอุณหภูมิของวัสดุมุงอื่น ๆ ส่วนผลการทดลองชุดที่ 2 การทดสอบมุมเอียงของหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน พบว่าในช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวัน กล่องทดลองที่มีมุมหลังคา 60 องศา จะมีอุณหภูมิใต้ผ้าเพดานต่ำที่สุดกล่าวคือต่ำกว่ากล่องทดลองที่มีมุมหลังคา 45 องศา ประมาณ 2 C° และต่ำกว่ากล่องทดลองที่มีมุมหลังคา 30 องศา, 0 องศา ประมาณ 2.5 C° และ 3 C° ตามลำดับ และการทดลองชุดที่ 3 การทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของหลังคา โดยการใช้ฉนวนกันความร้อนและการระบายอากาศบริเวณชายคา พบว่าตำแหน่งการติดตั้งฉนวนที่ดีในการทดลองนี้คือ ตำแหน่งแนวราบเหนือฝ้าเพดานที่มีการระบายอากาศบริเวณชายคา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งฉนวนแนวเอียงใต้หลังคาที่มีการระบายอากาศบริเวณชายคา ในช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวัน พบว่าอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของกล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนแนวราบ จะต่ำกว่าประมาณ 1.5 C° และในช่วงเวลาเดียวกัน อุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของกล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนแนวราบที่มีการระบายอากาศบริเวณชายคา จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของกล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนแนวราบไม่มีการระบายอากาศบริเวณชายคา ประมาณ 8 C° ซึ่งเป็นการแสดงว่า การลดการถ่ายเทความร้อนโดยการใช้ฉนวนในตำแหน่งที่ถูกต้องและการระบายอากาศบริเวณชายคา จะช่วยลดความร้อนในช่วงเวลาที่สูงที่สุดของวันได้

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา ๒๕๔๐ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

3970320025 : MAJOR BUILDING TECHNOLOGY
KEY WORD : ROOF IMPROVEMENT
JURAIPORN TUMPASUWAN : THE BEHEAVIORS OF HEAT TRANSFER THROUGH RESIDENTIAL ROOF MATERIALS IN HOT HUMID CLIMATE : THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. THANIT CHINDAVANIC, THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. SOONTORN BOONYATIKARN , Ph.D. 130 pp .
ISBN 974-639-203-4

The objective of this research is to study behaviors of heat transfer through roofing materials of residence in hot humid climate, such as Thailand. This is beacuse the roof mostly receives direct solar radiation. If heat protection is not available in this part, heat will largely affect the thermal comfort condition inside the building.

In the first part of the research, roof materials and styles of both traditional Thai house and contemporary house were studied form experiments and related research literature. This was aimed to analyze factor affecting heat transfer though roofing materials. such factors included thermal properties of roofing materials, slope of roofing, application of roof insulation and ventilation at eaves.

The last step of studying process was analyzing all factor with experimential method. By this means, all variables could be controlled and, unlike in the fieldwork, the research outcome could easily be collected. Three sets of the experiment were launched and heat transferring efficiency were evaluated in each set. The first is to test roofing which is possesses heat transfer by comparing the surface temperatures of upper and underneath surfaces. The second experiment was to find out how sloping of roof affecting heat transfer characteristic. The last was to explore the way to enhance efficiency of roof with application of roof insulation and the eaves ventilation, consecutively. The model study was a topless polystyrene foam box of 1.20*1.20*1.20 m. inside which allowing model roof with alternate materials and slope to be placed. The temperature at a given points of the box were recorded every 30 minutes for comparison's sake.

The first set of experiment showed that thatch was the most qualified roofing materials in terms of heat transferring. The second experiment indicated that the roof with 60 c angle had the lowest temperature under ceiling during the highest temperature of the day. In other words, 2 c lower than that of the 45 slope angle, and 2.5 c and 3 c lower than those of the 30 and o , respectively. The last experiment suggested that the best position of insulation placement was above the ceiling allow ventilation at eaves. When comparing with placing the insulation pararelling under the roof, during the highest temperature of the day, the study found that the temperature under the roof with flated insulation was lower 1.5 c, And during the same period, the temperature under the roof with the insulation flated placement had 8 c lower than the other without the air flow space. This study indicated that the reduction of heat transfer using insulation with proper placement of insulation and ventilation at eaves would help decrese the heat during the highest temperature of the day.

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา ๒๕๔๐ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงอย่างดีด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจาก ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค และท่านรองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ซึ่งท่านทั้งสองได้กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างมาก ขอขอบพระคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน ที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ ขอขอบพระคุณ ท่านอธิการบดีสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ที่อนุเคราะห์ทุนวิจัยในครั้งนี้และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เนื่องจากทุนวิจัยบางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย และขอขอบพระคุณ

อาจารย์มนตรี สีหาวงษ์ ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตสกลนคร ในการให้คำแนะนำเรื่องทุนวิจัย

คุณพงษ์พัฒน์ มั่งคั่ง หัวหน้าฝ่ายบริการอนุรักษ์พลังงาน สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงานแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัดและคุณอัชฌา อมรศักดิ์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายขาย ที่ให้ความอนุเคราะห์หลังคาแผ่นโลหะ BSI ในการทำวิจัยครั้งนี้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย

คุณโชติวิทย์ พงษ์เสริมผล ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และคำแนะนำต่าง ๆที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลในครอบครัวโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณทศพร นามเทพ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด และขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ ร่วมรุ่นทุกคนได้แก่ คุณคมกฤช คุณอุษณีย์ คุณกรินทร์ คุณวีระศักดิ์ คุณอามาล คุณพรสวัสดิ์ และคุณวชิระ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด ขอขอบคุณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
สารบัญแผนภูมิ ..... ฏ
คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของการศึกษา 1
1.2 ที่มาของปัญหา 2
1.3 วัตถุประสงค์ 3
1.4 ขอบเขตการศึกษา 3
1.5 วิธีการศึกษา 4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา 4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 การถ่ายเทพลังงานรังสีความร้อน 6
2.2 อิทธิพลจากการแผ่รังสีของพื้นผิว 6
2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร 9
2.4 การพิจาณาค่า Incident of Angle 11
2.5 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน 12
2.6 แนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13
2.7 ฉนวนกันความร้อน 15

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 การวิเคราะห์รูปแบบหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น....18

3.1 วัสดุมุงหลังคาไทยโบราณ....18

3.2 วัสดุมุงหลังคาไทยปัจจุบัน....25

3.3 สรุปปัญหาของบ้านพักอาศัยในปัจจุบัน....29

บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย....30

4.1 แนวทางการวิจัย....30

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย....30

4.3 ขั้นตอนการทดลอง....40

4.4 แบบ (Model) ที่ใช้ในการทดลอง....46

บทที่ 5 การวิเคราะห์และประเมินผล....50

5.1 ผลการทดลองชุดที่ 1
การทดสอบคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ....50

5.2 ผลการทดลองชุดที่ 2
การทดสอบมุมเอียงของหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน....59

5.3 ผลการทดลองชุดที่ 3
การทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพหลังคาโดยการใช้ฉนวนและการระบายอากาศ....88

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....104

6.1 ข้อสรุป....104

6.2 พิจารณาและข้อเสนอแนะ....105

6.3 ข้อจำกัดในงานวิจัย....108

รายการอ้างอิง....109

ภาคผนวก ก....111

ประวัติผู้เขียน....130

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบวัสดุฉนวน....17

ตารางที่ 4-1 แสดงช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลในแต่ละชุดการทดลอง....39

ตารางที่ 5-1 แสดง solar orientation and Azimuths Measured from south....71

ตารางที่ 5-2 แสดงค่า incident angle จากการคำนวน....80

ตารางที่ 5-3 แสดงค่า solar incident angle จากการคำนวน....85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่	1-1	แสดงการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี การส่งผ่านรังสี และการคายรังสีในวัสดุทึบตัน	9
รูปที่	3-1	แสดงรูปแบบเรือนไทยโบราณ (เรือนเครื่องผูก)	20
รูปที่	3-2	แสดงรูปแบบเรือนไทยโบราณ (เรือนเครื่องสับ)	23
รูปที่	4-1	แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิ data logger	31
รูปที่	4-2	แสดงสายวัดอุณหภูมิ	31
รูปที่	4-3	แสดงเครื่องวัดความชื้น hygro-thermometer	31
รูปที่	4-4	แสดงสภาพอากาศ ณ. สถานที่ทำการทดลอง	32
รูปที่	4-5	แสดงการเตรียมกล่องทดลอง	32
รูปที่	4-6	แสดงการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมุงหลังคา	32
รูปที่	4-7	แสดงการเตรียมการทดลองชุดที่ 2	33
รูปที่	4-8	แสดงการติดตั้งหลังคาของการทดลองชุดที่ 2	33
รูปที่	4-9	แสดงการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ	33
รูปที่	4-10	แสดงรายละเอียดกล่องทดลองชุดที่ 3 ทดสอบฉนวนและการระบายอากาศ	34
รูปที่	4-11	แสดงรายละเอียดการทดลองชุดที่ 3	34
รูปที่	4-12	แสดงรายละเอียดการทดลองชุดที่ 3	34
รูปที่	4-13	แสดงรายละเอียดกล่องทดลองชุดที่ 3 ทดสอบฉนวนและการระบายอากาศ	35
รูปที่	4-14	แสดงชายคาของกล่องทดลองที่มีการระบายอากาศ	35
รูปที่	4-15	แสดงชายคาของกล่องทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศ	35
รูปที่	4-16	แสดงสภาพอากาศวันที่ทำการทดลองชุดที่ 3	36
รูปที่	4-17	แสดงการอุดรอยต่อต่าง ๆ ของหลังคาด้วยซิลิโคน	36
รูปที่	4-18	แสดงสถานที่ทำการทดลอง	37

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-19 แสดงการตำแหน่งกล่องทดลอง....38
รูปที่ 4-20 แสดงการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมุงหลังคา....42
รูปที่ 4-21 แสดงการทดสอบฝ้าเพดานแนวราบ....43
รูปที่ 4-22 แสดงการทดสอบฝ้าเพดานแนวเอียง....43
รูปที่ 4-23 แสดงการทดสอบตำแหน่งการวางฉนวนและการระบายอากาศ....44
รูปที่ 4-24 แสดงการทดสอบการระบายอากาศ....45
รูปที่ 4-25 แสดงแบบขยายกล่องทดลอง ชุดที่ 2....47
รูปที่ 4-26 แสดงแบบขยายกล่องทดลอง ชุดที่ 2....48
รูปที่ 4-27 แสดงแบบขยายกล่องทดลอง ชุดที่ 3....49

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 5-1 แสดงอุณหภูมิผิวบนของวัสดุมุงหลังคา ช่วงเวลา 10.00-18.00 น.....51
แผนภูมิที่ 5-2 แสดงอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุมุงหลังคา ช่วงเวลา 6.00-6.00 น.....53
แผนภูมิที่ 5-2 ก. แสดงอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุมุงหลังคา ช่วงเวลา 10.00-18.00 น.....54
แผนภูมิที่ 5-3 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุมุงหลังคา ช่วงเวลา 10.00-18.00 น.....55
แผนภูมิที่ 5-4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุมุงหลังคา แผ่นโลหะและหญ้าคา.....56
แผนภูมิที่ 5-5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุมุงหลังคา หญ้าคาและกระเบื้องดินเผา...57
แผนภูมิที่ 5-6 แสดงอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 2.....60
แผนภูมิที่ 5-7 แสดงอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 2.....61
แผนภูมิที่ 5-7 ก. แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองชุดที่ 2.....63
แผนภูมิที่ 5-8 แสดงอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่.....64
แผนภูมิที่ 5-9 แสดงอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 2 ช่วงเวลา 18.00-6.00 น.....65
แผนภูมิที่ 5-10 แสดงอุณหภูมิผิวบนด้านทิศใต้ของการทดลองชุดที่ 2.....68
แผนภูมิที่ 5-11 แสดงอุณหภูมิผิวบนด้านทิศเหนือและทิศใต้ของการทดลองชุดที่ 2.....69
แผนภูมิที่ 5-12 แสดง solsr incident angle ช่วงเวลาต่าง ๆ 87
แผนภูมิที่ 5-12 แสดงอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 3.....89
แผนภูมิที่ 5-13 แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 3.....90
แผนภูมิที่ 5-14 แสดงอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 18.00-6.00 น.....91
แผนภูมิที่ 5-15 แสดงอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 3.....92
แผนภูมิที่ 5-16 แสดงอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 11.00-18.00 น.....93
แผนภูมิที่ 5-17 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องของการทดลองชุดที่ 3.....94
แผนภูมิที่ 5-18 แสดงอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 3.....96
แผนภูมิที่ 5-19 แสดงอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 10.00-18.00 น.....97
แผนภูมิที่ 5-20 แสดงอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 3.....98
แผนภูมิที่ 5-21 แสดงอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 80.00-6.00 น..... 99
แผนภูมิที่ 5-22 แสดงอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 10.00-18.00 น.....100
แผนภูมิที่ 5-23 แสดงอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 18.00-6.00 น.....101

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ

k	ค่าการนำความร้อนของวัตถุ
α	การดูดซึมรังสีโดยพื้นผิว
ρ	การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว
ε	ค่าความสามารถในการกระจายพลังงานความร้อนของวัตถุ
τ	การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ
U - Value	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร (BTU / Hr. ft^2 $^\circ F$
A	พื้นที่ของผนังที่ถ่ายเทความร้อน (SF.)
ΔT	ความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกและภายใน ($^\circ F$)
CLTD	ภาระความแตกต่างความร้อนเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Differance ($^\circ F$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย