

การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคา

นางสาวจัญดา บุญเกียรติ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๓๗

ISBN 974-584-709-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I1๕03๖040

A REDUCTION OF HEAT GAIN IN BUILDINGS THROUGH ROOFS

Miss Jayada Boonyakiat



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Architecture

Department of Architecture

Graduate School

Chulalongkorn University


1994

ISBN 974-584-709-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคา
โดย นางสาวจัญดา บุญยเกียรติ
ภาควิชา สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ

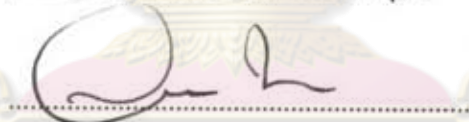


บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วิมลสิทธิ์ หรยางกูร)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพุดติ)

ศูนย์วิทยานิพนธ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



พิมพ์ต้นฉบับทลดย่อกวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

จรรยา บุญเกียรติ : การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา (A REDUCTION OF HEAT GAIN IN BUILDINGS THROUGH ROOFS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ, 171 หน้า,
ISBN 974-584-709-7

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิจัยเพื่อหาแนวทางในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารที่ผ่านทางหลังคา โดยเหตุผลที่ว่า ประเทศไทยเป็นประเทศร้อนชื้น และมีแดดจัด ส่วนหลังคาก็เป็นส่วนหนึ่งของสถาปัตยกรรม ที่รับความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ดังนั้น หากไม่มีวิธีลดความร้อนที่จะถ่ายเทสู่พื้นที่ใช้สอยแล้ว ความร้อนส่วนนี้ย่อมจะส่งผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร และหากอาคารนี้มีระบบปรับอากาศ ความร้อนส่วนนี้ก็จะไปเพิ่มภาระการทำความเย็นอย่างมหาศาลให้กับเครื่องปรับอากาศ

ในช่วงต้นของงานวิจัย เน้นไปที่การศึกษาปัจจัยที่จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยผ่านทางหลังคา เพื่อคัดเลือกบางส่วนมาทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะช่องเปิดเพื่อการระบายอากาศให้ช่องใต้หลังคา, การใช้วัสดุกันความร้อนและตำแหน่งที่ติดตั้ง, การเลือกใช้วัสดุผนังหลังคา การศึกษานี้อาศัยการประเมินประสิทธิภาพในการกันความร้อนโดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดสอบทุก ๑๕ นาที

การศึกษาขั้นสุดท้าย คือ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบหลังคา ที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่ โดยประยุกต์มาจากผลการทดลอง กับระบบหลังคาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป (Conventional) ผลการศึกษาเปรียบเทียบปรากฏว่า หลังคาที่ประยุกต์ขึ้นมาใหม่นี้ ให้อุณหภูมิที่สูงที่สุดของวันภายในกล่องทดสอบ ต่ำกว่าระบบหลังคาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ประมาณ ๕.๕°C โดยทำการทดลองในช่วงที่ร้อนที่สุดของปี ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่า เราสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยการออกแบบระบบหลังคาที่เหมาะสมได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา สถาปัตยกรรม
สาขาวิชา ...ส.อ.ว.บ.ศ.น.ร.ม.....
ปีการศึกษา2.5.3.6.....

ลายมือชื่อนิติกร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม

C535034: MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: ROOF / HEAT GAIN / THERMAL INSULATION / ROOF VENTILATION
JAYADA BOONYAKIAT : A REDUCTION OF HEAT GAIN IN BUILDING
THROUGH ROOFS. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SOONTORN
BOONYATIKARN, D.Arch. 171 pp. ISBN 974-584-709-7

This thesis is a research which would be able to find a method of Reduction of Heat Gain in Buildings through Roofs. This arises from the fact that Thailand is located in a hot humid climate with strong sunshine through out the year. Since Roof is a major component of a building that exposed to the direct sun, reduction of heat gain from this component will significantly reduce the amount of heat gain into the building. This heat gain reduction will surely improved the user's thermal comfort. In the Air-Conditioned Building, it will cut down the cooling load through the roof system.

At the beginning of the research, factors which effect the transferring of heat into building through roofs have been concentrated. Then only some important factors were chosen to be studied. These factors include-; Attic space ventilation, Material installation, Positioning of thermal insulation and roofing material selection. The prevent effectiveness of the above studies were used to develop a new roof system for the final investigation.

In the final stage, the new roof was constructed and compared with the conventional style. The performance of the two roofs were evaluated by comparing the inside temperature of the test-cells. It was found that the temperature profile of the new roof is much better than the conventional one. The maximum temperature of the test-cell with the new roof during the typical hottest day in April is about 5.5 c. lower than the conventional roofing system. This finding will be very useful for Architects and Designers to use as a design guideline for future roofing design development.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรม.....

สาขาวิชา.....สถาปัตยกรรม.....

ปีการศึกษา.....2536.....

ลายมือชื่อนิสิต.....*Sum Upadorn*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Soont Boonyat*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือ อย่างดียิ่งของ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำ
แนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆที่มีประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจจุกุล อาจารย์หัวหน้าภาควิชาสถาปัตยกรรม ศาสตราจารย์
ดร.วิมลสิทธิ์ หรยางกูร รองศาสตราจารย์สมสิทธิ์ นิตยะ อาจารย์ธนิต จินดาวณิก
อาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ
อาจารย์ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำ
แนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย ขอขอบคุณการพลังงานแห่งชาติสำหรับ
เครื่องมือวัดความเร็วลม คุณกิตติพงษ์ เพชรวราภา กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ
และเนื่องจากทุนวิจัยครั้งนี้ บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย
จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่กราบขอบพระคุณ มารดา บิดา และบุคคลในครอบครัว
ผู้ให้การสนับสนุนทางการเงิน การพิมพ์ ตลอดจนขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือ
และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ



	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง.
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ.
กิตติกรรมประกาศ	ฉ.
สารบัญ	ช.
สารบัญตาราง	ซ.
สารบัญภาพ	ฅ.
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ด.
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน เข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา	6
3. สมมุติฐานงานวิจัย และการดำเนินการวิจัย	15
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง และรายงานผล	64
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	123
รายการอ้างอิง.....	129
ภาคผนวก	131
ประวัติผู้เขียน	171

ศูนย์วิทยุทั่วยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุก่อสร้าง	9
3.ก	แสดงช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล	21
3.1	ประเภท และจุดเด่นของวัสดุฉนวน	42
3.2	แสดงค่า Thermal Resistance ของวัสดุฉนวนประเภทต่างๆ	44



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การสะท้อน ดูดซึม ส่งผ่าน และคายรังสี ในวัสดุทึบตัน	8
2.2	แสดงตำแหน่งที่สามารถติดตั้งวัสดุสกัดกันรังสีความร้อน	11
2.3	แสดงลักษณะการติดตั้งวัสดุสกัดกันความร้อนในช่องใต้หลังคา	12
3.ก	แสดงส่วนประกอบของกล่องทดสอบ	16
3.ข	แผนที่แสดงการเข้าถึงบ้านที่ตั้งกล่องทดสอบ	20
3.2.ก	แสดงรายละเอียดของการทดลองทั้ง 4 ชุด	22
3.2.ข	แสดงแผนผังการตั้งกล่องทดสอบ	23
3.1.1	แสดงตำแหน่งพัดลมที่ใช้วัดความเร็วลม	24
3.1.2	แสดงเครื่องอ่านค่าความเร็วลม	24
3.1.3	แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิ	25
3.2.1	แสดงพื้นที่ที่เตรียมจะตั้งกล่องทดสอบ	26
3.2.2	แสดงพื้นที่ที่เตรียมจะตั้งกล่องทดสอบ	26
3.2.3	แสดงพื้นที่ที่เตรียมจะตั้งกล่องทดสอบ	26
3.2.4	แสดงการกรูโฟมลงในกล่องทดสอบ	27
3.2.5	แสดงกล่องทดสอบที่กรูโฟมแล้ว	27
3.2.6	การทำสีขาวบนกล่องทดสอบ	27

ภาพที่	หน้า
3.2.7 การขึ้นโครงหลังคาความชัน 26 องศา	28
3.2.8 การทดลองวางกระเบื้องบนโครงหลังคาก่อนมุงจริง	29
3.2.9 การตีเชิงชายตามแบบการมุงหลังคากระเบื้อง	29
3.2.10 การมุงกระเบื้อง	29
3.2.11 การประกอบโครงหลังคาสำหรับชุดทดสอบวัสดุมุง	30
3.2.12 การประกอบโครงหลังคาสำหรับชุดทดสอบวัสดุมุง	30
3.2.13 แสดงฐานวางกล่องทดสอบ	30
3.3.ก รูปตัดแสดงรายละเอียดทั่วไปของกล่องทดสอบสำหรับการทดลอง ชุดที่ 1 และ 2	32
3.3.ข แสดงรูปแบบช่องทางระบายอากาศให้กับช่องใต้หลังคา	33
3.3.1 การกรูโฟมที่หน้าจั่ว	34
3.3.2 แสดงหน้าจั่วที่กรูโฟมเรียบร้อยแล้ว	34
3.3.3 แสดงช่องเปิดชนิดเจาะเกล็ดที่หน้าจั่ว	35
3.3.4 แสดงช่องเปิดชนิดไม้ตีฝ้าชายคา	35
3.3.5 แสดงช่องเปิดแบบตีระแนงไม้ตามยาว	36
3.3.6 แสดงช่องเปิดแบบตีระแนงไม้ตามขวาง	36
3.3.7 แสดงการตั้งกล่องทดสอบและเพิงเก็บเครื่องมือ	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

๘

ภาพที่	หน้า
3.3.8	แสดงการโยงสาย INTERFACE 37
3.3.9	การติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ายังจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ 38
3.3.10	การวัดความเร็วลมในการทดสอบชุดช่องเปิดโครงหลังคา 38
3.4.ก	แสดงรายละเอียดการติดตั้งฉนวนในการทดลองชุดที่ 4 45
3.4.1	การใช้โฟมกรุด้านหน้าจั่ว 46
3.4.2	การอุดรูรั่วด้วยซิลิโคน 46
3.4.3	การอุดรูรั่วด้วยซิลิโคน 46
3.4.4	การติดตั้งฉนวนในการทดลองชุดที่ 2 46
3.4.5	การวางฉนวนในแนวราบ แบบเดียวกันทั้ง R-7 และ R-10 47
3.4.6	การติดตั้งอลูมิเนียมซีท โดยวางไว้ได้แนวจันทัน 48
3.4.7	การติดตั้งอลูมิเนียมซีท โดยวางไว้ได้แนวจันทัน 48
3.4.8	การติดตั้งฉนวน Fiberglass R-7 โดยคว่ำด้านที่เป็นฟอล์ยลง 49
3.4.9	การติดตั้งฉนวน Fiberglass R-7 49
3.4.10	การวางกล่องทดสอบทั้ง 5 กล่อง และเพิงเก็บเครื่องมือ 50
3.5.ก	รายละเอียดทั่วไปของกล่องทดสอบชุดที่ 3 52
3.5.1	การติดตั้งหลังคากระจก 53
3.5.2	การอุดรูรั่วที่อื่นๆใน Test-Cell เพื่อทำการทดลองในระบบปิด 53

ภาพที่	หน้า
3.5.3 การมุงกระเบื้องหลังคาสำหรับทดสอบวัสดุมุง	54
3.5.4 การทำสี่ขาบนหลังคาทุก Test-Cell ในการทดลองชุดที่ 3	54
3.5.5 การอุดโพนที่สันหลังคา	55
3.5.6 การอุดซิลิโคนเพื่อไม่ให้มีรูรั่ว	55
3.5.7 การอุดโพนที่สันหลังคาช่วงหน้าจั่ว	55
3.5.8 การปิดรูรั่วของหลังคากระเบื้องลอนคู่	56
3.5.9 แสดงกล่องทดสอบมุงหลังคากระจก	57
3.5.10 แสดงกล่องทดสอบมุงจาก	57
3.5.11 แสดงกล่องทดสอบมุงแผ่นเหล็ก	58
3.5.12 แสดงกล่องทดสอบมุงกระเบื้องลอนคู่	58
3.5.13 การตั้งกล่องทดสอบสำหรับการทดลองชุดที่ 3	59
3.5.14 การตั้งกล่องทดสอบสำหรับการทดลองชุดที่ 3	59
3.6.ก รายละเอียดทั่วไปของกล่องทดสอบสำหรับการทดลองชุดที่ 4	61
3.6.1 ลักษณะของชุดทดสอบชุดที่ 4	62
3.6.2 แสดงตำแหน่งการวางที่พยายามวางให้กล่องทั้งสองได้รับแดด และลมเหมือนกัน	62
3.6.3 การตีฝ้าชายคาด้วยไม้ระแนงตามแนวขวาง	63

ภาพที่	หน้า
3.6.4	ลักษณะผ้าชายคาเปิดด้านที่ติดกับตัวอาคารเพื่อการ ไหลเวียนที่ดีของอากาศในช่องหลังคา 63
4.1	จุดที่ทำการวัดอุณหภูมิภายใน Test-Cell สำหรับการทดลองชุดที่ 1. 68
4.1.1	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้หลังคา สำหรับการทดลองชุดที่ 1 69
4.1.2	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้หลังคา(ส่วนขยาย) สำหรับการทดลองชุดที่ 2 70
4.1.3	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้หลังคา(ส่วนขยาย) สำหรับการทดลองชุดที่ 2 71
4.1.4	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้หลังคา(ส่วนขยาย) สำหรับการทดลองชุดที่ 2 72
4.1.5	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิฝ้าเพดานด้านล่าง สำหรับการทดลองชุดที่ 1 73
4.1.6	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิฝ้าเพดานด้านล่าง(ส่วนขยาย) สำหรับการทดลองชุดที่ 1 74
4.1.7	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิฝ้าเพดานด้านล่าง(ส่วนขยาย) สำหรับการทดลองชุดที่ 1 75

ภาพที่	หน้า
4.1.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิฝ้าเพดานด้านล่าง(ส่วนขยาย) สำหรับการทดลองชุดที่ 1	76
4.1.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิกึ่งกลางกล่องทดลอง สำหรับการทดลองชุดที่ 1	77
4.1.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิกึ่งกลางกล่องทดลอง (ส่วนขยาย)สำหรับการทดลองชุดที่ 1	78
4.1.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิกึ่งกลางกล่องทดลอง (ส่วนขยาย)สำหรับการทดลองชุดที่ 1	79
4.1.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิกึ่งกลางกล่องทดลอง (ส่วนขยาย)สำหรับการทดลองชุดที่ 1	80
4.1.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆภายในกล่องทดสอบ ไม่มีการระบายอากาศ	81
4.1.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆภายในกล่องทดสอบ ตีระแนงตามยาว	82
4.1.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆภายในกล่องทดสอบ ตีระแนงตามขวาง	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆภายในกล่องทดสอบ บานเกล็ดที่หน้าจั่ว	84
4.1.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆภายในกล่องทดสอบ บานเกล็ดที่หน้าจั่ว(ส่วนขยาย)	85
4.1.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆภายในกล่องทดสอบ เปิดโล่งที่ฝ้าชายคา	86
4.1.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆภายในกล่องทดสอบ เปิดโล่งที่ฝ้าชายคา(ส่วนขยาย)	87
4.1.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆภายในกล่องทดสอบ เปิดโล่งที่ฝ้าชายคา(ส่วนขยาย)	88
4.1.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆภายในกล่องทดสอบ เปิดโล่งที่ฝ้าชายคา(ส่วนขยาย)	89
4.2 แสดงจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิภายใน Test-Cell การทดลองชุดที่ 2 ..	92
4.2.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้หลังคา สำหรับการทดลองชุดที่ 2	93

ภาพที่	หน้า
4.2.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิฝ้าเพดานด้านล่าง สำหรับการทดลองชุดที่ 2	94
4.2.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิกึ่งกลางกล่องทดลอง สำหรับการทดลองชุดที่ 2	95
4.2.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆภายในกล่องทดสอบ ฉนวนใยแก้ว R-10 วางในแนวราบ	96
4.2.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบฉนวนใยแก้ว R-7 วางในแนวราบ	97
4.2.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบฉนวนใยแก้ว R-7 วางในแนวลาดเอียง	98
4.2.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบอลูมิเนียมฟอล์ย	99
4.2.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบไม่มีฉนวน	100
4.3 แสดงจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิภายใน Test-Cell การทดลองชุดที่ 3 ..	104
4.3.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านล่าง	105
4.3.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านล่าง ยกเว้นกระจกใส	106

ภาพที่	หน้า
4.3.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลอง . . .	107
4.3.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลอง ยกเว้นกระจกใส	108
4.3.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต	109
4.3.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต(ส่วนขยาย)	110
4.3.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต(ส่วนขยาย)	111
4.3.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบแผ่นเหล็กลอน	112
4.3.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	113
4.3.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบจาก	114
4.3.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบกระจกใส	115

ภาพที่	หน้า
4.3.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบกระจกใส(ส่วนขยาย)	116
4.4 แสดงจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิภายใน Test-Cell การทดลองชุดที่ 4 .	118
4.4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย ภายในกล่องทดสอบ ระหว่างระบบหลังคา 2 แบบ	120
4.4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบ ของระบบหลังคาแบบปัจจุบันนิยม	121
4.4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดสอบ ของระบบหลังคาที่ได้ออกแบบขึ้นใหม่	122
5.1 แสดงระยะห่างของห้องที่เก็บเครื่องมือทดสอบกับกล่องทดสอบ . .	126
5.2 แสดงภาพอากาศในวันเริ่มต้นของการเก็บข้อมูล ทดสอบฉนวน ในโครงหลังคา	127
5.3 แสดงการสร้างห้องเก็บเครื่องมือวัด	127
5.4 แสดงการเก็บเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	128
5.5 แสดงส่วนประกอบของโครงการทดลองอื่น ซึ่งอาจมีผลกระทบ ต่อผลการทดลองของงานวิจัยชิ้นนี้	128

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

k	ค่าการนำความร้อนของวัตถุ
α	ค่าการดูดกลืน
ρ	ค่าความสามารถในการสะท้อนกลับของวัตถุ
ϵ	ค่าความสามารถในการกระจายพลังงานความร้อนของวัตถุ
τ	ค่าการส่งผ่านความร้อนของวัตถุ
Q	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (BTU/Hr.)
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หลังคา (BTU/Hr.SF.F)
A	พื้นที่ที่ความร้อนถ่ายเท (SF.)
ΔT	ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกับภายนอก (F)
ho	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีคลื่นยาวและการพาของอากาศที่ผิวภายนอก
ΔR	ค่าแตกต่างระหว่างพลังงานรังสีคลื่นยาวที่ตกกระทบบนผิวจากท้องฟ้าและสิ่งแวดล้อมกับพลังงานรังสีที่ปล่อยจากวัตถุดำที่อุณหภูมิอากาศภายนอก
I	รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solar Radiation Incident on The Surface) BTU/Hr.SF
te	อุณหภูมิซิลแลร์
to	อุณหภูมิอากาศภายนอก
CLTD	Cooling Load Temperature Difference
M	มวลของวัตถุ
Cp	ค่าความร้อนจำเพาะของวัตถุ
T	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง
N	ทิศเหนือ
S	ทิศใต้
E	ทิศตะวันออก

W	ทิศตะวันตก
NE	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
SE	ทิศตะวันออกเฉียงใต้
NW	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
SW	ทิศตะวันตกเฉียงใต้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย