การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น
:กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายโชติวิทย์ พงษ์เสริมผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-754-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17104312

ROOF IMPROVEMENT TO REDUCE COOLING LOAD
:A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY BUILDINGS

Mr. Chotewit Pongsermpol

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partail Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Architecture

Department of Architecture

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-754-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น :กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย	นายโชติวิทย์ พงษ์เสริมผล
ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ

บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

..... กรรมการ

(อาจารย์ พิรั ' เหล่าไพศาลศักดิ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล : การปรับปรุงหลังคา เพื่อลดภาระการทำความเย็น :กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ROOF IMPROVEMENT TO REDUCE COOLING LOAD : A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY BUILDINGS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.สมสิทธิ์ นิตยะ,อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ 249 หน้า. ISBN 974-636-754-4

งานวิจัยนี้เป็นการหาแนวทางการปรับปรุงหลังคาภายในอาคาร ทำการศึกษารูปแบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไปในประเทศไทย จากการเลือกตัวอย่างศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อหาวิธีการป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางหลังคาในการลดภาระการทำความเย็นให้แก่อาคาร หลังคากรณีศึกษา 4 ประเภท ได้แก่ หลังคากระเบื้องลอนคู่ หลังคากระเบื้องซีเมนต์ หลังคาแผ่นโลหะ และหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก จากกรณีศึกษา 6 กรณี

ในช่วงต้นของงานวิจัย เป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนทางหลังคา ศึกษาค่าการถ่ายเทพลังงานความร้อนรวมทางหลังคา (RTTV) และค่าประเมินสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรสำคัญหนึ่งในการประเมินค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางหลังคา คือ อุณหภูมิอากาศ ภายในห้อง ค่า RTTV จากการวัดจริงของหลังคาระบบปิดส่วนใหญ่ จะมีค่าเกินข้อกำหนดมาตรฐาน (25 วัตต์ ต่อตารางเมตร.) และการประเมินหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน จากอาคารจริง พบว่า เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ตามอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ จะแตกต่างจาก ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ตามทฤษฎีซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะที่ถูกควบคุมไว้ หลังคาที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน จากการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ หลังคา คอนกรีตเสริมเหล็กฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดบุฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว วางแนวระนาบ, หลังคาแผ่นโลหะผสม พร้อมช่องระบายอากาศ ฝ้าเพดานไม้อัดยาง วางแนวระนาบ, หลังคากระเบื้องลอนคู่ ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ด วางเอียงตามหลังคา,หลังคากระเบื้องลอนคู่ ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ด วางแนวระนาบ, หลังคากระเบื้องซีเมนต์ ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ด วางแนวระนาบ, และหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดไม่มีฝ้าเพดาน ตามลำดับ

อีกส่วนหนึ่งของงานวิจัยเป็นการเปรียบเทียบการใส่ฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภทเหนือฝ้าเพดาน การใส่ฉนวนใยแก้วหรือใยหิน ที่ความหนาหนึ่งนิ้วแรก จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับนิ้วถัดไป สำหรับการ ปรับปรุงหลังคาที่ต้องการระยะเวลาคืนทุน 3 ปี สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าเดิม ฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมจากการศึกษาคือฉนวนเส้นใยเซลลูโลสชนิดอัดกาวหนา 1 นิ้ว, ฉนวนใยหินหนา 2 นิ้ว และฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารได้ถึงร้อยละ 22.9, 25.9 และ 26.1 ตามลำดับ ส่วนอัตราค่าไฟฟ้าใหม่ ฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมจากการศึกษา คือ ฉนวนใยหินหนา 6 นิ้ว และฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้ว จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารได้ถึงร้อยละ 30.2 และ 30.3 ตามลำดับ

ดังนั้น การปรับปรุงหลังคาภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อย่างเหมาะสม จะช่วยประหยัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และมีระยะเวลาคืนทุนที่เหมาะสมได้

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C835078 MAJOR ARCHITECTURE
KEY WORD: ROOF IMPROVEMENT / HEAT GAIN / CEILING THERMAL INSULATION
CHOTEWIT PONGSERMPOL : ROOF IMPROVEMENT TO REDUCE COOLING LOAD : A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY BUILDINGS. THESIS ADVISOR:ASSO.PROF.SOMSIT NITTAYA THESIS CO-ADVISOR. ASSO.PROF.SOONTORN BOONYATIKARN,Ph.D.249pp.ISBN 974-636-754-4

This research is to seek a method to improve the design of roof system of typical building in Thailand. In this study, the building of Chulalongkorn University was selected. The aims of this study are to prevent heat being absorbed by roof and therefore reducing the cooling load of the buildings. Four types of roof system were studied :- Asbestos tile roof, cement tile roof, metal sheet roof and reinforced concrete roof from 6 cases.

The research studies the transferring effect factor of heat into the building, the roof thermal transfer value (RTTV) and the evaluation of heat transmission coefficient. Initially, the significant factor for evaluating of RTTV was the indoor air temperature. Then, most of the RTTV measurement were taken from closed-system roof which exceeded the standard value (25 watt/sq.m). Afterwards, the evaluation of the heat transmission coefficient of the different roofs varied at different times of the day from varying factors which differs from theoretical U-Value under controlled conditions. Following is the descendent evaluation of heat transmission coefficient on 6 cases in preventing heat transferring through the roof which are reinforced concrete roof / gypsumboard ceiling with 2-inch fibreglass horizontally; metal sheet roof with ventilated space beneath / plywood ceiling horizontally; asbestos tile roof / sloped gypsumboard ceiling; cement tile roof, gypsumboard ceiling horizontally ;asbestos tile roof / gypsumboard ceiling horizontally and reinforced concrete roof /without ceiling respectively.

Furthermore, the research studies the comparisons between using different types of insulation materials above the ceiling. Considering the roof improvements on three-year period, the first inch of the thickness of fibreglass or rockwool will reduce the energy consumption the most when compared with the next inch. In case of the current electricity rate, the most suitable materials to use are 1-inch cellulose fibre, 2-inch rockwool and 2-inch fibreglass which can reduce cooling load in the building to 22.9%, 25.9% and 26.1% respectively. However with the up and coming electricity rate, the most suitable materials to be used are 6-inch rockwool or 6-inch fibreglass which can reduce cooling load in building to 30.2% and 30.3% accordingly.

The conclusion, with the proper roof improvements to the buildings at Chulalongkorn University, energy consumption with be dramatically reduced and therefore a short term pay-back period as a result.

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ รองศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆที่มีประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์ อาจารย์หัวหน้าภาควิชาสถาปัตยกรรม อาจารย์ ดร.ทิพย์สุดา ปทุมานนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชนิต จินดาวณิต อาจารย์ พิรัช เหล่าไพศาลศักดิ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย เนื่องจากทุนวิจัยครั้งนี้ บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย และขอขอบพระคุณ

คุณเพชรา ภูริวัฒน์ ผู้อำนวยการกองกลาง สำนักงานอธิการบดี และคุณฉุงชงชัย เจ้าหน้าที่ประจำกองกลาง สำนักงานอธิการบดี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณพงษ์พัฒน์ มั่งคั่ง สำนักงานกำกับและอนุรักษ์พลังงานแห่งชาติ สำหรับอุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูล

คุณวิชัย เพชรอัดขาว และคุณอนุรักษ์ เหล่าพานิช และเจ้าหน้าที่ฝ่ายขาย บริษัท เนเชอรัล อินซูเลชั่น จำกัด

หัวหน้าฝ่ายขาย ,คุณชุมพล เหลืองบรรเจิด และเจ้าหน้าที่ฝ่ายขาย บริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด

พี่นุช พี่จอยและน้องๆเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาสถาปัตยกรรมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

พี่วิศิษฐ์ และเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

แผนกสารบรรณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมพงศ์ และเจ้าหน้าที่ประจำอาคารชั้น ๓ อาคารอักษรศาสตร์ ๔

แผนกกองแบบ กองอาคารและสถานที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณป้า และบุคคลในครอบครัว ผู้ให้การสนับสนุนทางด้านการเงินและกำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณ สุวรรณ ศิวดำรงพงศ์และน้องปูการะเกด เอสุจินต์ ผู้จากไปอย่างไม่มีวันหวนกลับมา ตลอดจนขอขอบคุณน้องกู้ศักดิ์ คุณเซอิชิโร่ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล น้องป้วย น้องหนูสำหรับการพิมพ์ข้อมูล คุณเย็นตา คุณกาญจนา น้องต่อ คุณคมกฤษณ์ คุณสมชายและเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ ..... ท

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 3

1.3 ขอบเขตการวิจัย 3

1.4 สมมุติฐานการวิจัย 4

1.5 กรรมวิธีการวิจัย 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

บทที่ 2 การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 9

2.1.1 การใช้พลังงานโดยรวม 9

2.1.2 การใช้พลังงานของกลุ่มอาคารที่ศึกษา 14

2.1.3 ประเภทหลังคาอาคาร 23

2.2 อิทธิพลของตัวแปรต่อการถ่ายเทความร้อน 31

2.2.1 อิทธิพลของมวลสาร 31

2.2.2 อิทธิพลจากแสงแดด 33

2.2.3 คุณสมบัติของฉนวน 37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 เทคนิคการวิเคราะห์และการประเมิน 44
2.3.1 ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร 44
2.3.2 การประเมินสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากอาคารจริง 46
2.3.3 พลังงานที่ใช้ในภาระการทำความเย็น 50
2.3.4 มูลค่าของพลังงานที่ใช้ของอาคารในแต่ละปี 50
2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 51
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัยอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 53
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 53
3.2 การศึกษาจากอาคาร 57
3.2.1 หลังคากระเบื้องลอนคู่ 59
3.2.2 หลังคากระเบื้องซีเมนต์ 73
3.2.3 หลังคาแผ่นโลหะ 79
3.2.4 หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก 86
3.3 การวิเคราะห์ผลและประเมินผล 100
3.3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร 100
3.3.2 การประเมินการถ่ายเทความร้อนของหลังคา 121
บทที่ 4 การปรับปรุงหลังคาและแนวทางแก้ไข 127
4.1 การศึกษาอาคารจำลอง หลังคากระเบื้องคอนกรีต 127
4.1.1 รูปแบบอาคารจำลอง 127
4.1.2 การดำเนินการวิจัย 133
4.2 การวิเคราะห์ผลและประเมินผล 144
4.2.1 การศึกษาการใช้แผ่นอลูมินั่มฟอยล์ 144
4.2.2 การศึกษาวัสดุฝ้าเพดาน 147
4.2.3 การศึกษาการระบายอากาศใต้หลังคา 150
4.2.4 การศึกษาการเกิด Startification 153
4.2.5 การศึกษาการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อน 155

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 174
5.1 ข้อสรุป 174
5.2 ข้อเสนอแนะ 176
รายการอ้างอิง 177
ภาคผนวก ก. 179
ภาคผนวก ข. 192
ภาคผนวก ค 217
ภาคผนวก ง 228
ประวัติผู้เขียน 249

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ผ/1-1 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผิววัสดุ(h) และค่าความต้านทานความร้อนของอากาศที่ผิววัสดุ(R) 180
ตารางที่ ผ/1-2 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของช่องอากาศ 181
ตารางที่ ผ/1-3 แสดงคุณสมบัติด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารและวัสดุกันความร้อน.... 183

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2-1 แผนที่แสดงตำแหน่งอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยรวม.....10

รูปที่ 2-2 แผนที่แสดงตำแหน่งอาคารต่างๆภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝั่งหอประชุมจุฬาฯ.....11

รูปที่ 2-3 แผนที่แสดงตำแหน่งอาคารต่างๆภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝั่งสำนักงานอธิการบดี.....12

รูปที่ 2-4 แผนที่แสดงตำแหน่งอาคารของกลุ่มอาคารที่ศึกษา.....15

รูปที่ 2-5 แผนภูมิแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของกลุ่มอาคารที่ศึกษา (KWH./ปี).....17

รูปที่ 2-6 แผนภูมิแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ของกลุ่มอาตารที่ศึกษา (KWH./ตร.ม./ปี).....19

รูปที่ 2-7 แผนที่แสดงประเภทหลังคาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝั่งหอประชุมจุฬาฯ.....25

รูปที่ 2-8 แผนที่แสดงประเภทหลังคาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝั่งสำนักงานอธิการบดี.....26

รูปที่ 2-9 แสดงสภาพหลังคาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทั่วไป (ภาพประกอบ 1-22).....27

รูปที่ 2-10 แสดงการสะท้อนรังสี,การดูดซึมรังสี,การส่งผ่านรังสี,การคายรังสีในวัสดุทึบตันและในวัสดุโปร่งแสงหรือโปร่งใส.....34

รูปที่ 2-11 แสดงคุณสมบัติในการดูดซึมและคายรังสีจากดวงอาทิตย์ และ Far-Infrared ของวัสดุทึบตันต่างๆที่ใช้ในอาคาร.....35

รูปที่ 2-12 ฉนวนใยแก้ว (Glass Fiber).....40

รูปที่ 2-13 ฉนวนใยหิน (Rock Fiber).....40

รูปที่ 2-14 ฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose Fiber).....40

รูปที่ 2-15 เยื่อกระดาษชนิด Short Fiber และ Long Fiber 40

รูปที่ 2-16 ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม (Polystyrene Foam / PS.).....40

รูปที่ 2-17 แสดงรายละเอียดผนัง Armour Wall.....41

รูปที่ 2-18 ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม (Polyurethane Foam / PU.).....41

รูปที่ 2-19 ฉนวนโพลีเอทธีรีนโฟม(Polyetherene Foam /PS.)ยึดติดกับหลังคาแผ่นโลหะ 41

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2-20 แผ่นบางผิวสะท้อนรังสี 41

รูปที่ 2-21 แผนภูมิแสดงค่าเปรียบเทียบ R-Valueของฉนวนกันความร้อนและวัสดุต่างๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว.....42

รูปที่ 2-22 แสดง Thermal Gradient ของผนัง.....46

รูปที่ 2-23 แสดงการวิเคราะห์อุณหภูมิของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก..... 47

รูปที่ 3-1 เครื่องวัดอุณหภูมิประเภท Switcher.....55

รูปที่ 3-2 สายวัดอุณหภูมิ Thermo Couple Type J.....55

รูปที่ 3-3 เครื่องวัดพลังงานการแผ่รังสีความร้อน.....55

รูปที่ 3-4 เครื่องวัดความชื้น Hygro-Thermometer.....56

รูปที่ 3-5 เครื่องวัดอุณหภูมิ Thermometer.....56

รูปที่ 3-6 เครื่องวัดอุณหภูมิประเภท Data Locker.....56

รูปที่ 3-7 แผนที่แสดงตำแหน่งอาคารที่ดำเนินการเก็บข้อมูลห้องใต้หลังคา ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....58

รูปที่ 3-8 ภาพแสดงการหาค่า U-Value ของหลังคากระเบื้องลอนคู่ กรณีศึกษาที่ 1.....59

รูปที่ 3-9 ผังแสดงตำแแหน่งของห้องประชุมเล็ก ชั้น 2 อาคารจามจุรี 1.....60

รูปที่ 3-10 ผังและรูปตัดทั่วไปของห้องประชุมเล็ก ชั้น 2 อาคารจามจุรี 1 แสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิ.....61

รูปที่ 3-11 ภาพแสดงการเก็บข้อมูลหลังคากระเบื้องลอนคู่ 1 / ฝ้าเพดานแผ่นยิบซั่มบอร์ด วางแนวระนาบ ของห้องประชุมเล็ก อาคารจามจุรี 1 (ภาพประกอบ 1-11).....62

รูปที่ 3-12 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน,ภายนอก,ผิวใต้ฝ้าเพดาน และผิวกระเบื้องภายนอก ของห้องประชุมเล็กอาคารจามจุรี 1 หลังคากระเบื้องลอนคู่ ฝ้าเพดานวางแนวระนาบ วันที่ 7กพ.2540.....64

รูปที่ 3-13 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของห้องประชุมเล็ก อาคาร จามจุรี1 หลังคากระเบื้องลอนคู่ ฝ้าเพดานแนวระนาบ วันที่7กพ.2540.....65

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-14 ภาพแสดงการหาค่า U-Value ของหลังคากระเบื้องลอนคู่ กรณีศึกษาที่ 2.....66

รูปที่ 3-15 ผังแสดงตำแแหน่งของห้องเรียน 327 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.....67

รูปที่ 3-16 ผังและรูปตัดทั่วไปของห้องเรียน 327 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ แสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิ.....68

รูปที่ 3-17 แสดงการเก็บข้อมูลหลังคากระเบื้องลอนคู่ 2/ ฝ้าเพดานแผ่นยิบซั่มบอร์ด วางเอียงตามโครงหลังคา ของห้องเรียน327 อาคารสถาปัตยกรรมศาสตร์ (ภาพประกอบ 1-12).....69

รูปที่ 3-18 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน,ภายนอก,ผิวใต้ฝ้าเพดาน และผิวกระเบื้องภายนอก ของห้องเรียน 327 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ หลังคากระเบื้องลอนคู่ฝ้าเพดานเอียงตามหลังคา วันที่ 8กพ.2540.....71

รูปที่ 3-19 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของ ห้องเรียน327 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ หลังคากระเบื้องลอนคู่ฝ้าเพดานเอียงตามหลังคา วันที่ 8กพ.2540 72

รูปที่ 3-20 ภาพแสดงการหาค่า U-Value ของหลังคากระเบื้องซีเมนต์ กรณีศึกษาที่ 3.....73

รูปที่ 3-21 ผังแสดงตำแแหน่งของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.....74

รูปที่ 3-22 ผังและรูปตัดทั่วไปของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ แสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิ.....75

รูปที่ 3-23 แสดงการเก็บข้อมูลหลังคากระเบื้องคอนกรีต / ฝ้าเพดานแผ่นยิบซั่มบอร์ด วางแนวระนาบ ของอาคารจำลอง อาคารคณะปัตยกรรมศาสตร์ (ภาพประกอบ 1-12).....76

รูปที่ 3-24 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน,ภายนอก,ผิวใต้ฝ้าเพดาน และผิวกระเบื้องภายนอก อาคารจำลอง ชั้น11 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ หลังคากระเบื้องคอนกรีต ฝ้าเพดานวางแนวระนาบ วันที่ 12เมย.2540.....77

รูปที่ 3-25 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของ อาคารจำลอง ชั้น11 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ หลังคากระเบื้องคอนกรีต ฝ้าเพดานวางแนวระนาบ วันที่ 12เมย.2540 78

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-26 ภาพแสดงการหาค่า U-Value ของหลังคาแผ่นโลหะ กรณีศึกษาที่ 4.....79

รูปที่ 3-27 ผังแสดงตำแหน่งของห้องแต่งตัวละคร อาคารอักษรศาสตร์ 4.....80

รูปที่ 3-28 ผังและรูปตัดทั่วไปของห้องแต่งตัวละคร อาคารอักษรศาสตร์ 4 แสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิ.....80

รูปที่ 3-29 แสดงการเก็บข้อมูลหลังคาแผ่นโลหะ / ฝ้าเพดานแผ่นไม้อัดยางทาสี วางแนวระนาบ ของห้องแต่งตัวละคร อาคารอักษรศาสตร์ 4 (ภาพประกอบ 1-12).....82

รูปที่ 3-30 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน,ภายนอก,ผิวใต้ฝ้าเพดาน และผิวกระเบื้องภายนอก ของห้องแต่งตัวละคร อาคารอักษรศาสตร์ 4 หลังคาแผ่นโลหะ ฝ้าเพดานวางแนวระนาบ วันที่ 14กพ.2540.....84

รูปที่ 3-31 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน ของห้องแต่งตัวละคร อาคารอักษรศาสตร์ 4 หลังคาแผ่นโลหะ ฝ้าเพดานวางแนวระนาบ วันที่ 14กพ.2540.....85

รูปที่ 3-32 ภาพแสดงการหาค่า U-Valueของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีศึกษาที่ 86

รูปที่ 3-33 ผังแสดงตำแหน่งของห้องเรียน 308 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร.....87

รูปที่ 3-34 ผังและรูปตัดทั่วไปของห้องเรียน 308 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ แสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิ.....88

รูปที่ 3-35 แสดงการเก็บข้อมูลหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก / ไม่มีฝ้าเพดาน ของห้องเรียน 308 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (ภาพประกอบ 1-12).....89

รูปที่ 3-36 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน,ภายนอก,ผิวใต้ฝ้า และผิวกระเบื้องภายนอก ของห้องเรียน308 อาคารคณะสถาปัตยกรรม-ศาสตร์ หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ไม่มีฝ้าเพดาน วันที่ 8กพ.2540.....91

รูปที่ 3-37 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน ของห้องเรียน308 อาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ไม่มีฝ้าเพดาน วันที่ 8กพ.2540.....92

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-38 ภาพแสดงการหาค่า U-Valueของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีศึกษาที่ 6.....93

รูปที่ 3-39 ผังแสดงตำแแหน่งของห้องรองผอ.ฝ่ายวิจัย สถาบันวิจัยพลังงานฯ.....94

รูปที่ 3-40 ผังและรูปตัดทั่วไปของห้องรองผอ.ฝ่ายวิจัย สถาบันวิจัยพลังงานฯ แสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิ.....95

รูปที่ 3-41 แสดงการเก็บข้อมูลหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก / ไม่มีฝ้าเพดาน ของห้องรองผอ.ฝ่ายวิจัย สถาบันวิจัยพลังงานฯ (ภาพประกอบ 1-12).....96

รูปที่ 3-42 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน,ภายนอก,ผิวใต้ฝ้า และผิวกระเบื้องภายนอก ของห้องรองผอ.ฝ่ายวิจัย สถาบันวิจัยพลังงานฯ หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดฉาบเรียบทาสี วันที่ 20 มีค.2540.....98

รูปที่ 3-43 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน ของห้องรองผอ.ฝ่ายวิจัย สถาบันวิจัยพลังงานฯ หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ด ฉาบเรียบทาสี วันที่ 20 มีค.2540.....99

รูปที่ 3-44 กราฟแสดงค่าพลังงานจากการประเมินที่ถ่ายเทเข้ามาในห้อง ของห้องประชุมเล็ก อาคารจามจุรี1 หลังคากระเบื้องลอนคู่ ฝ้าเพดานแนวระนาบ วันที่7กพ.2540..... 102

รูปที่ 3-45 กราฟแสดงค่าพลังงานจากการประเมินที่ถ่ายเทเข้ามาในห้องเรียน327 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ หลังคากระเบื้องลอนคู่ ฝ้าเพดานเอียงตามหลังคา วันที่ 8กพ.2540 103

รูปที่ 3-45 กราฟแสดงค่าพลังงานจากการประเมินที่ถ่ายเทเข้ามาในห้อง อาคารจำลองชั้น11 อาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ หลังคากระเบื้องคอนกรีต ฝ้าเพดานวางแนวระนาบ วันที่ 12เมย.2540 104

รูปที่ 3-47 กราฟแสดงค่าพลังงานจากการประเมินที่ถ่ายเทเข้ามาในห้อง ของห้องแต่งตัวละคร อาคารอักษรศาสตร์ 4 หลังคาแผ่นโลหะ ฝ้าเพดานวางแนวระนาบ วันที่ 14กพ.2540.....105

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-48 กราฟแสดงค่าพลังงานจากการประเมินที่ถ่ายเทเข้ามาในห้อง ของห้องเรียน 308 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ไม่มีฝ้าเพดาน วันที่ 8กพ.2540 106

รูปที่ 3-49 กราฟแสดงค่าพลังงานจากการประเมินที่ถ่ายเทเข้ามาในห้อง ของห้องรอง ผอ.ฝ่ายวิจัย สถาบันวิจัยพลังงานฯ หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดฉาบเรียบทาสี วันที่ 20 มีค.2540.....107

รูปที่ 3-50 แผนภูมิวงกลมแสดงค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในแต่ละด้าน ช่วงเวลาทำงาน ของหลังคากรณีศึกษาที่ 1 108

รูปที่ 3-51 แผนภูมิวงกลมแสดงค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในแต่ละด้าน ช่วงเวลาทำงาน ของหลังคากรณีศึกษาที่ 2 108

รูปที่ 3-52 แผนภูมิวงกลมแสดงค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในแต่ละด้าน ช่วงเวลาทำงาน ของหลังคากรณีศึกษาที่ 3 109

รูปที่ 3-53 แผนภูมิวงกลมแสดงค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในแต่ละด้าน ช่วงเวลาทำงาน ของหลังคากรณีศึกษาที่ 4 109

รูปที่ 3-54 แผนภูมิวงกลมแสดงค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในแต่ละด้าน ช่วงเวลาทำงาน ของหลังคากรณีศึกษาที่ 5 110

รูปที่ 3-55 แผนภูมิวงกลมแสดงค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในแต่ละด้าน ช่วงเวลาทำงาน ของหลังคากรณีศึกษาที่ 6 110

รูปที่ 3-56 กราฟแสดงค่า RTTV. ของหลังคากรณีศึกษาที่ 1,2,3 113

รูปที่ 3-57 กราฟแสดงค่า RTTV. ของหลังคากรณีศึกษาที่ 4.5.6 114

รูปที่ 3-58 แผนภูมิแสดงค่าประเมินความร้อนรวมที่ถ่ายเทเข้ามาทางหลังคา (RTTV.) ของหลังคากรณีศึกษา 6 กรณี จากการวัดจริง.....115

รูปที่ 3-59 แผนภูมิแสดงค่าประเมินความร้อนรวมที่ถ่ายเทเข้ามาทางหลังคา (RTTV.) ของหลังคากรณีศึกษา 6 กรณี จากการวัดจริงและเทียบอุณหภูมิห้อง 25°C....117

รูปที่ 3-60 แผนภูมิแสดงค่าประเมินสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคากรณีศึกษาทั้ง 6 กรณี.....126

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-1 ผังแสดงตำแหน่งของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.....128

รูปที่ 4-2 ผังและผังหลังคาของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.....129

รูปที่ 4-3 รูปตัด 1,2 ของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.....130

รูปที่ 4-4 รูปด้าน 1,2,3,4 ของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.....131

รูปที่ 4-5 ภาพแสดงขั้นตอนการก่อสร้างอาคารจำลอง 132

รูปที่ 4-6 Reflected Ceiling Plan ของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์..134

รูปที่ 4-7 ผังแสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิของอาคารจำลอง.....136

รูปที่ 4-8 รูปตัดแสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิของอาคารจำลอง.....136

รูปที่ 4-9 ภาพแสดงการเตรียมอาคารจำลอง สำหรับการเก็บข้อมูล (ภาพประกอบ 1-14) 137

รูปที่ 4-10 ภาพแสดงการเก็บข้อมูลอาคารจำลองชั้น11 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540 (ภาพประกอบ 1-17) 140

รูปที่ 4-11 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้กระเบื้องหลังคาแบบธรรมดา ,และแบบมีแผ่นอลูมินั่มฟอยล์ ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540 145

รูปที่ 4-12 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดแบบธรรมดา, แบบมีแผ่นฟอยล์ ,แบบมีฟอยล์/โรยแป้ง เทียบกับอุณหภูมิห้องระดับ+1.60ม. ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540.....146

รูปที่ 4-13 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดทาสี ,แผ่นไม้อัดยางทาสี ,แผ่นกระเบื้องกระดาษ แบบธรรมดา เทียบกับอุณหภูมิห้องระดับ +1.60ม. ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13เมษายน 2540 148

รูปที่ 4-14 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดทาสี ,แผ่นไม้อัดยางทาสี ,แผ่นกระเบื้องกระดาษ แบบวางฉนวนใยแก้วหนา2"หุ้มฟอยล์ เทียบกับอุณหภูมิห้องระดับ+1.60ม. ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13เมษายน 2540 149

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-15 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาระบบปิด วันที่ 12 เมษายน 2540 และหลังคาระบบระบายอากาศวันที่ 13เมษายน 2540 ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ 152

รูปที่ 4-16 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระดับ+0.80 ม. ,ระดับ+1.60 ม. ระดับ+2.40 ม. และอุณหภูมิผิวใต้กระเบื้องหลังคาภายใน (Startification) ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540.....154

รูปที่ 4-17 ภาพแสดงการหาอุณหภูมิที่ลดลง โดยหลักการ Thermal Gadient 155

รูปที่ 4-18 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานจากคำนวณของแผ่นยิบซั่มบอร์ดแบบธรรมดาวางฉนวนใยแก้วหนา 1", 2",4",6"และ8" เทียบกับอุณหภูมิห้องระดับ+1.60ม. ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540 157

รูปที่ 4-19 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานจากคำนวณของแผ่นยิบซั่มบอร์ดแบบธรรมดา วางฉนวนใยหินหนา 1",2",4",6"และ8" เทียบกับอุณหภูมิห้อง ระดับ+1.60ม. ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540.....159

รูปที่ 4-20 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าแผ่นยิบซั่มบอร์ดแบบธรรมดาวางฉนวนใยแก้วหนา 4",ฉนวนใยแก้วหนา 4"และพ่นฉนวนเส้นใยเซลลูโลสหนา1" เทียบกับอุณหภูมิห้องระดับ+1.60ม. ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540 161

รูปที่ 4-21 แผนภูมิแสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง ในการใส่ฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภท และของส่วนฝ้าเพดานเมื่อเทียบกับส่วนอื่นทั้งหมดของอาคารจำลอง.....168

รูปที่ 4-22 แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการคืนทุน ในการปรับปรุงหลังคาด้วยการวางฉนวนใยแก้วความหนาต่างๆ เหนือฝ้าเพดาน.....171

รูปที่ 4-23 แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการคืนทุน ในการปรับปรุงหลังคาด้วยการวางฉนวนใยหินความหนาต่างๆ เหนือฝ้าเพดาน.....172

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-24 แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการคืนทุน ในการปรับปรุงหลังคาด้วยการวางฉนวนใยแก้วหนา 4",ฉนวนใยหินหนา 4"และฉนวนเส้นใยเซลลูโลสชนิดอัดกาวหนา 1"เหนือฝ้าเพดาน.....173

รูปที่ ผ/1-1 Psychrometric Chart (Conventional Units.).....190

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ

k	ค่าการนำความร้อนของวัตถุ
α	ค่าการดูดกลืน
ρ	ค่าความสามารถในการสะท้อนกลับของวัตถุ
ε	ค่าความสามารถในการกระจายพลังงานความร้อนของวัตถุ
τ	ค่าการส่งผ่านความร้อนของวัตถุ
Q	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (BTU/Hr.)
U	สัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร (BTU/Hr.Sq.ft.F.)
A	พื้นที่ที่ความร้อนถ่ายเท (Sq.ft.)
ΔT	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในกับภายนอก (F)
ho	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีคลื่นยาวและการพาของอากาศที่ผิวภายนอก (BTU/Hr.Sq.ft.F.)
hi	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวภายใน (BTU/Hr.Sq.ft.F.)
I	รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solar Radiation Incident on The Surface)(BTU/Hr.)
CLTD	Cooling Load Temperature Difference
M	มวลของวัตถุ
Cp	ค่าความร้อนจำเพาะของวัตถุ
T	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง
N	ทิศเหนือ
S	ทิศใต้
E	ทิศตะวันออก
W	ทิศตะวันตก
Tsurfout	อุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก
Tsurfin/Tceil	อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานภายใน
Twn	อุณหภูมิผิวผนังทิศเหนือ
Tws	อุณหภูมิผิวผนังทิศใต้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Twe	อุณหภูมิผิวผนังทิศตะวันออก
Tww	อุณหภูมิผิวผนังทิศตะวันตก
Tfn	อุณหภูมิผิวผนังทิศเหนือ
Tfs	อุณหภูมิผิวผนังทิศใต้
Tfe	อุณหภูมิผิวผนังทิศตะวันออก
Tfw	อุณหภูมิผิวผนังทิศตะวันตก
Tfl	อุณหภูมิผิวพื้น
Qceil	ค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางฝ้าเพดาน
Qwn	ค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางผนังทิศเหนือ
Qws	ค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางผนังทิศใต้
Qwe	ค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางผนังทิศตะวันออก
Qww	ค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางผนังทิศตะวันตก
Qfl	ค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางพื้น
F.G.	ฉนวนใยแก้ว (Fiber Glass)
R.W.	ฉนวนใยหิน (Rock Wool)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย