การปรับปรุงผนังอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน
:กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย สิทธชัย วุฒิวรวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา2539

ISBN 974-636-755-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17095918

BUILDING ENVELOPE RETROFIT TO REDUCE HEAT TRANSMISSION
: A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY BUILDING

SITHACHAI WUTHIVORAWUNG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Education
Department of Architecture
Graduate School
Chulalongkorn University
Acadamic Year 1996

ISBN 974 - 636 - 755 - 2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	:	การปรับปรุงผนังอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย		นิสิต C 835162 สิทธชัย วุฒิวรวงศ์
ภาควิชา		สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา		ผศ. ธนิต จินดาวณิค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม		รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศ.น.พ. ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รศ. เลอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ธนิต จินดาวณิค)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ)

..... กรรมการ

(รศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิทธชัย วุฒิวรวงศ์ : การปรับปรุงผนังอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน : กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (BUILDING ENVELOPE RETROFIT TO REDUCE HEAT TRANSMISSION : A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY BUILDING) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ธนิต จินดาวณิค, อ.ที่ปรึกษาร่วม: รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ, 144 หน้า. ISBN 974 - 636 - 755 - 2

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะประเมินประสิทธิภาพและคุณสมบัติของฉนวนที่เหมาะสม เพื่อนำมาปรับปรุงกับผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ลดการถ่ายเทความร้อนของผนังก่ออิฐฉาบปูน เป็นการลดภาระการทำความเย็นในอาคาร ช่วยประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้

การศึกษาวิจัยแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก ศึกษาทางด้านกายภาพของผนังของอาคารจริง 4 อาคาร ได้แก่ อาคารจามจุรี1 , อาคารครุศาสตร์ทดแทน 3 , อาคารสถาบันวิทยบริการ และอาคารสำนักงานจัดการทรัพย์สิน ส่วนที่สอง เปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนที่ใช้กับผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 แบบ ซึ่งได้ทดสอบในห้องปฏิบัติ การจำลองที่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยติดตั้งฉนวนกับผนังภายนอกห้อง 3 แบบ ได้แก่ ผนังระบบ EIFS แบบโฟมหนา 1 นิ้ว, 2 นิ้ว และ 3 นิ้ว และติดตั้งฉนวนกับผนังภายในห้อง 5 แบบ ได้แก่ ผนังยิบซั่มบอร์ดติดตั้งโฟมหนา 1 นิ้ว, 2 นิ้ว และ3 นิ้ว, ผนังยิบซั่มบอร์ดชนิดบุฟอยล์มีช่องว่างอากาศ 1.5 นิ้วและผนังยิบซั่มบอร์ดติดตั้งไฟเบอร์กลาสหนา 1 นิ้วชนิดบุฟอยล์มีช่องว่างอากาศ 1.5 นิ้ว

ผลการวิจัยพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ที่วัดได้จริงจากอาคารมีค่ามากกว่าการคำนวณ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพฉนวน 8 แบบ กับผนังก่ออิฐฉาบปูน พบว่าสัดส่วนค่าความต้านทานความร้อนที่เพิ่มขึ้น ไม่ได้เป็นสัดส่วนเดียวกับปริมาณความร้อนที่ลดลง โดยที่ฉนวนโฟมที่หนา 1 นิ้ว ทำให้ปริมาณความร้อนลดลง 50% ฉนวนที่หนา 2 นิ้ว กับ 3 นิ้ว ปริมาณความร้อนลดลง 60% กับ 62% ตามลำดับ มีระยะเวลาในการคืนทุนใกล้เคียงกัน (ที่อัตราค่าไฟฟ้าแบบใหม่มีการคืนทุนที่เร็วขึ้น 70%) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนหนา 2 นิ้วกับ3 นิ้ว ในการปรับปรุงอาคารผนังก่ออิฐฉาบปูน เพื่ออนุรักษ์พลังงาน ค่าความต้านทานความร้อน 8 hr.Sq.ft °F/BTU ติดตั้งภายนอกอาคารจะเหมาะสมกว่า

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C 835162 : MAJOR ARCHITECTURE
KEY WORD: BRICK AND MORTAR WALL / HEAT TRANSMISSION / THERMAL INSULATION / RETROFIT

SITHACHAI WUTHIVORAWONG : BUILDING ENVELOPE RETROFIT TO REDUCE HEAT TRANSMISSION :A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY BUILDING. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. THANIT CHINDAVINIG, ASSOCIATE. PROF. SOMSIT NITAYA . 144 pp. ISBN 974 - 636-755-2

The objective of this research is to evaluate the efficiency and properties of proper thermal insulation used on a typical brick and mortar wall of Chulalongkorn University buildings. The retrofit of the building for energy conservation by utilizing thermal insulation on the wall in order to reduce heat transmission.

The Research was conducted in two parts. The first part is the investigation of the physical parts of the building envelope on the Charmchuree Building I , Replacement Educate Building III, Service of Educated Institute Building and The Office of Property Management Building. The second part is a comparative simulation study of thermal insulation installed on a typical brick and mortar wall on a test unit. There were eight types of installations ;three types on the outside and five types on the inside.The EIFS System are on the outside by three sizes of polystrene foam; 1 ,2 and 3 inch thick. The other five types are gypsum wall with 1 ,2 and 3 inch thick polystrene foam, Gypsum wall with aluminium foil and 1.5 inch air space, and gypsum wall with foil face glassfiber and 1.5 inch air space.

The result of the research indicates that the overall coefficient of heat transmission of 4 inch thick brick and mortar wall is higher than the value used by calculation method and the coefficient value is not constant.Thermal resistance is not proportional related to heat transmission. A 1 inch thick polystrene foam insulation could reduces heat transmission by 50% but 2 and 3 inch thick polystrene foam reduce heat transmission by 60% and 62% respectively. Also both of them has nearly the same payback period (TOU Rate cause faster payback period than TOD Rate by 70%). For the retrofit of building with brick wall, external thermal insulation with thermal resistance 8 hr.Sq.ft°F/BTU is prefered for energy conservation.

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ. ธนิต จินดาณิค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ และ รศ. ดร. สุนทร บุญญาธิการ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุก ๆท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดี มาโดยตลอด อนึ่งการวิจัยในครั้งนี้ต้องทำการศึกษาในสภาพจริงของอาคารที่เกิดขึ้นกรณีศึกษา 4 อาคารซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่ประจำหน่วยงานของอาคารเป็นอย่างดี ตลอดจนตัวอย่างวัสดุจากบริษัทผู้ผลิตในด้านผลิตภัณฑ์ฉนวน ระบบผนังเบา สีที่ใช้และอุปกรณ์เครื่องมือในการตรวจวัด สำหรับงานวิจัยของสำนักงานส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน จึงใคร่ขอขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้ เนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญตาราง .....ค

สารบัญรูปภาพ .....จ

สารบัญแผนภูมิ .....ฉ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 11

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 12

1.4 ขอบเขตการวิจัย 13

1.5 ระเบียบการทำวิจัย 15

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 20

บทที่ 2 หลักทฤษฎีกับแนวคิดที่นำมาใช้ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักทฤษฎี 21

2.2 แนวความคิดที่นำมาใช้ 25

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40

บทที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของผนังอาคาร และส่วนประกอบในการวิจัย

3.1 ลักษณะโดยทั่วไปของผนังอาคาร 43

3.2 การสำรวจศักยภาพผนังของอาคาร 45

3.3 ห้องทดสอบ 62

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 65

บทที่ 4 การทดสอบ และวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุที่เหมาะสมเพื่อการใช้งาน

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้งาน 67

4.2 การหาคุณสมบัติทางกายภาพการถ่ายเทความร้อน
ของวัสดุกับราคาต้นทุน 69

4.3 วิธีการติดตั้ง 80

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลที่สำรวจและผลที่เกิดขึ้น 92
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ
รายการอ้างอิง 143
ภาคผนวก ก. ประเภทผนังและฉนวนที่นำมาทดสอบ 145
ภาคผนวก ข. ผลการบันทึกข้อมูลในสภาพจริง 156
ประวัติผู้เขียน 165

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนหน่วยของยูนิต(KWH)และค่าไฟฟ้าในแต่ละปี(บาท).....6
ตารางที่ 1.2 แสดงค่าการใช้พลังงาน(kWh./sq.m.) ของกลุ่มอาคารที่มีการใช้ไฟฟ้ามาก.....7
ตารางที่ 1.3 แสดงค่าการใช้พลังงาน(kWh./sq.m.) ของกลุ่มอาคารที่ทำการวิจัย.....8
ตารางที่ 2.1 ก Heat Capacity of Materials by Volume.....22
ตารางที่ 2.2 ก แสดงรายการวัสดุและสีทาผนัง แยกตามระดับ
ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์.....30
ตารางที่ 2.2 ข ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าฯ (TDeq) ของผนังทึบ.....31
ตารางที่ 2.2 ค แสดงการเปรียบเทียบค่า "U" และ ΣR ของมวลผนัง เกินกว่า 195
กิโลกรัม/ ตารางเมตร (ภายใต้ OTTV = 45 วัตต์/ ตารางเมตร).....33
ตารางที่ 2.2 ง แสดงการเปรียบเทียบค่า "U" และ ΣR ของมวลผนัง เกินกว่า 195
กิโลกรัม/ ตารางเมตร (ภายใต้ OTTV = 55 วัตต์/ ตารางเมตร).....33
ตารางที่ 2.2 จ แสดงคุณสมบัติกระจกชนิดต่างๆ เทียบกันระหว่าง Daylighting กับ
Solar transmittance.....37
ตารางที่ 3.2.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายใน,ภายนอก,ค่าความชื้นสัมพัทธ์
(RH) ,พลังงานความร้อน ของห้องฝ่ายจัดงานประชุม ,ชั้นสอง
อาคารจามจุรี 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 29 เดือนมกราคม 2540.....48
ตารางที่ 3.2.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายใน,ภายนอก,ค่าความชื้น
สัมพัทธ์ (RH) ,พลังงานความร้อน ของห้อง 802 ,807 ชั้น 8
อาคารครุศาสตร์ทดแทน 3 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วันที่ 11 เดือนกุมภาพันธ์ 2540.....52

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน.....68
ตารางที่ 4.2.2 สรุปเปรียบเทียบด้านราคาต้นทุน และคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังวัสดุที่นำมาทดสอบ.....79
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเปรียบเทียบผลที่ได้จากการสำรวจ ข้อมูลจริงกับการคำนวณ.....113
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซนต์ของพื้นที่กระจก หรือช่องเปิดที่มีค่า OTTV ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด สำหรับกระจกชนิดต่างๆ กับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวน 8 แบบ.....114
ตารางที่ 4.4.1 แสดงค่าปริมาณความร้อนจริง ที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่ติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ด้านทิศเหนือ (W/m2).....118
ตารางที่ 4.4.2 แสดงค่าปริมาณความร้อนจริง ที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่ติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ด้านทิศใต้ (W/m2).....119
ตารางที่ 4.4.3 แสดงค่าปริมาณความร้อนจริง ที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่ติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ด้านทิศตะวันออก (W/m2).....120
ตารางที่ 4.4.4 แสดงค่าปริมาณความร้อนจริง ที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่ติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ด้านทิศตะวันตก (W/m2).....121
ตารางที่ 4.4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนจริง ที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่ติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบปูนรวม ทั้งสี่ด้าน (W/m2).....122
ตารางที่ 4.7 ค่าการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 8.00-16.00 น. กับการคืนทุน.....129
ตารางที่ 5.1 แสดงการประเมินความเหมาะสม ลักษณะการติดตั้งฉนวน ประเภทภายนอกและภายในอาคารกับผนังก่ออิฐฉาบปูน.....134

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1. ผังอาคารโดยรวมของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....5
รูปภาพที่ 3.1 ภาพประกอบอาคารจามจุรี 1.....47
รูปภาพที่ 3.2 ภาพประกอบอาคารครุศาสตร์ทดแทน 3.....51
รูปภาพที่ 3.3 ภาพประกอบอาคารสถาบันวิทยบริการ.....55
รูปภาพที่ 3.4 ภาพประกอบอาคารสำนักงานจัดการทรัพย์สิน.....59
รูปภาพที่ 3.5 ลำดับภาพขั้นตอนการทำห้องทดสอบ.....63
รูปภาพที่ 3.6 ภาพประกอบเครื่องมือที่ใช้วิจัย.....66
รูปภาพที่ 4.1 ภาพวิธีการติดตั้ง.....80
รูปภาพที่ 4.2 ภาพแสดงการทดสอบผนังที่ห้องทดสอบ.....89
รูปภาพที่ 4.3 แบบขยายการติดตั้งผนังยิบซั่มบอร์ดที่มีฉนวนภายในกับ
ด้านในผนังก่ออิฐฉาบปูน.....83
รูปภาพที่ 4.4(ก) แบบขยายการติดตั้งผนังEIFSกับภายนอกผนังก่ออิฐฉาบปูน.....84
รูปภาพที่ 4.4(ข) แบบขยายการติดตั้งผนังEIFSกับภายนอกผนังก่ออิฐฉาบปูน.....85
รูปภาพที่ 4.5 แบบขยายการติดตั้งผนังยิบซั่มบอร์ดที่มีฉนวนภายในกับ
ด้านในผนังก่ออิฐฉาบปูน.....85
รูปภาพที่ 4.6 รูปด้านห้องทดสอบผนังที่มีช่องTEST CELL 12 ช่อง บนอาคาร
ดาดฟ้าชั้นที่11 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหา
วิทยาลัย.....88

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1.1 ค่าไฟฟ้าของกลุ่มอาคารที่ใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่มาก (บาท/ตร.ม./ปี).....9
แผนภูมิที่ 1.2 ค่าไฟฟ้าของกลุ่มอาคารฝั่งอธิการบดี (บาท/ตร.ม./ปี).....10
แผนภูมิที่ 2.1ข แสดงการเปรียบเทียบความสามารถต้านทานความร้อน
ของวัสดุต่างๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว.....24
แผนภูมิที่ 2.2ก แสดงรายการวัสดุและสีทาผนัง แยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์
การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์.....30
แผนภูมิที่ 2.2ข ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเท่าๆ(TDeq) ของผนังทึบ.....31
แผนภูมิที่ 3.2.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อน ที่ผ่านเข้ามา
ภายในห้อง ฝ่ายจัดงานประชุม ชั้น 2 อาคารจามจุรี 1
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 29 เดือนมกราคม 2540.....49
แผนภูมิที่ 3.2.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายใน
ห้อง 802 , 807 ชั้น 8 อาคารครุศาสตร์ทดแทน 3
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 11 เดือนกุมภาพันธ์ 2540.....53
แผนภูมิที่ 3.2.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน
ห้องอาคารฝ่ายจัดซื้อ ชั้นล่าง อาคารสถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 11 เดือนกุมภาพันธ์ 2540.....57
แผนภูมิที่ 3.2.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน
ห้องหน่วยตรวจสอบภายใน ชั้นล่าง อาคารสำนักงานทรัพย์สิน
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 11 เดือนกุมภาพันธ์ 2540.....61
แผนภูมิที่ 4.2.1-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบ
ของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภท ด้านทิศเหนือ.....95
แผนภูมิที่ 4.2.1-2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบ
ของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภท ด้านทิศเหนือ.....96
แผนภูมิที่ 4.2.2-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบ
ของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภท ด้านทิศใต้.....97
แผนภูมิที่ 4.2.2-2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบ
ของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภท ด้านทิศใต้.....98

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.2.3-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบ
ของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภท ด้านทิศตะวันออก.....99
แผนภูมิที่ 4.2.3-2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบ
ของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภท ด้านทิศตะวันออก.....100
แผนภูมิที่ 4.2.4-1แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบ
ของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภท ด้านทิศตะวันตก.....101
แผนภูมิที่ 4.2.4-2แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบ
ของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภท ด้านทิศตะวันตก.....102
แผนภูมิที่ 4.3.1 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามาของระบบ EIFS
ที่ใช้โฟมหนา 1 ,2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ.....103
แผนภูมิที่ 4.3.2 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนัง ประเภทติดตั้งยิบซั่มบอร์ด
ที่มีโฟมภายในที่ความหนา 1 ,2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ
และผนังยิบซั่มบอร์ดบุฟอยล์ กับผนังยิบซั่มบอร์ดชนิด
บุฉนวน FIBER GLASS หนา 1 นิ้ว ชนิดมีฟอยล์ ด้านทิศเหนือ.....104
แผนภูมิที่ 4.3.3 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามาของระบบ EIFS
ที่ใช้โฟมหนา 1 ,2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ เทียบกับผนังก่ออิฐ
ฉาบปูน 4 นิ้ว ด้านทิศใต้.....105
แผนภูมิที่ 4.3.4 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนัง ประเภทติดตั้งยิบซั่มบอร์ด
ที่มีโฟมภายในที่ความหนา 1 ,2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ
และผนังยิบซั่มบอร์ดบุฟอยล์ กับผนังยิบซั่มบอร์ดชนิด
บุฉนวน FIBER GLASS หนา 1 นิ้ว ชนิดมีฟอยล์ ด้านทิศใต้.....106
แผนภูมิที่ 4.3.5 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามาของระบบ EIFS
ที่ใช้โฟมหนา 1 ,2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ เทียบกับผนังก่ออิฐ
ฉาบปูน 4 นิ้ว ด้านทิศตะวันออก.....107
แผนภูมิที่ 4.3.6 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนัง ประเภทติดตั้งยิบซั่มบอร์ด
ที่มีโฟมภายในที่ความหนา 1 ,2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ
และผนังยิบซั่มบอร์ดบุฟอยล์ กับผนังยิบซั่มบอร์ดชนิดบุฉนวน
FIBER GLASS หนา 1 นิ้ว ชนิดมีฟอยล์ ด้านทิศตะวันออก.....108

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.3.7 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามาของระบบ EIFS ที่ใช้โฟมหนา 1 ,2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ เทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ด้านทิศตะวันตก.....109
แผนภูมิที่ 4.3.8 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนัง ประเภทติดตั้งยิบซั่มบอร์ด ที่มีโฟมภายในที่ความหนา 1 ,2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ และผนังยิบซั่มบอร์ดบุฟอยล์ กับผนังยิบซั่มบอร์ดชนิดบุฉนวน FIBER GLASS หนา 1 นิ้ว ชนิดมีฟอยล์ ด้านทิศตะวันตก.....110
แผนภูมิที่ 4.4.1 ปริมาณความร้อน ที่ถ่ายเทผ่านผนังทั้ง 8 แบบ ในสี่ทิศ.....125
แผนภูมิที่ 4.4.2 ปริมาณความร้อน ที่ถ่ายเทผ่านผนังรวมทุกด้านทั้ง 8 แบบ.....126
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงระยะเวลาการคืนทุนอย่างง่าย เปรียบเทียบระหว่างฉนวน 8 ประเภท.....137
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังก่ออิฐฉาบปูน ,ผนังก่ออิฐฉาบปูนบุผิวกระเบื้องโมเสค และผนังก่ออิฐฉาบปูนบุผิวกรวดล้าง.....142