การปรับปรุงระบบเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

: กรณีศึกษา อาคาร สำนักพหลโยธิน ธนาคารกสิกรไทย จำกัด (มหาชน)

นาย กรินทร์ ภู่นวล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-639-215 -8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

30 ต.ค. 2545
1 0252637

BUILDING ENVELOPE IMPROVEMENT FOR ENERGY CONSERVATION : A CASE STUDY OF THAI FARMERS BANK BUILDING , PHAHOLYOTHIN

Mr. Karin Phoonuan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial 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 974-639-215-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงระบบเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษา อาคารสำนักพหลโยธิน ธนาคารกสิกรไทย จำกัด (มหาชน)
โดย	นายกรินทร์ ภู่นวล
ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เถอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์สมสิทธิ์ นิตยะ)

..... กรรมการ
(อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

..... กรรมการ
(อาจารย์พิรัส เหล่าไพศาลศักดิ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายกรินทร์ ภู่นวล : การปรับปรุงระบบเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษาอาคารสำนักงานพหลโยธิน ธนาคารกสิกรไทย จำกัด(มหาชน) (Building Envelope Improvement For Energy Conservation : A Case Study Of Thai Farmers Bank Building ,Phaholyothin)
อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ , 122 หน้า. ISBN 974-639-215-8

การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงมาก ส่วนหนึ่งมาจากผลของความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางเปลือกอาคาร โดยเฉพาะเปลือกอาคารที่ใช้กระจกเป็นส่วนประกอบหลัก(Curtain Wall)การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงาน ด้วยการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารโดยพิจารณาความสามารถในการลดภาระการปรับอากาศรวมของอาคาร และความเป็นไปได้ในการลงทุน จึงเลือกทำการศึกษาอาคารสำนักงานที่มีการใช้งานมานาน และมีเปลือกอาคาร ที่เป็นกระจกชั้นเดียว (Monolithic Glass) จึงพิจารณาเลือก อาคารสำนักพหลโยธิน ธนาคารกสิกรไทย เป็นอาคารกรณีศึกษา

ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร ศึกษาคุณสมบัติกระจกชนิดต่าง ๆ ที่สามารถใช้เป็นเปลือกอาคารและกำหนดทางเลือกเพื่อการศึกษาการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารของกรณีศึกษาเป็น 2 แนวทางคือ การเปลี่ยนกระจกเดิมของอาคาร และ การปรับปรุงกระจกเดิมของอาคารด้วยการติดฟิล์มกันความร้อนหรือเพิ่มฉนวนกันความร้อน ดำเนินการวิจัยโดยติดตั้งกระจกตัวอย่างที่ต้องการศึกษาบนผนังอาคารทดสอบที่หันหน้าไปทางด้านทิศใต้ ควบคุมอุณหภูมิภายในด้วยเครื่องปรับอากาศ ทำการวัดอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวกระจกทั้งด้านในและด้านนอกอาคาร วิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของกระจกแต่ละชนิดกับอุณหภูมิอากาศ และศึกษาการถ่ายเทความร้อนของกระจกชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการคำนวณตามมาตรฐานของ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)

ผลการวิจัยพบว่าเปลือกอาคารของกรณีศึกษายอมให้ความร้อนถ่ายเทผ่านได้มากพิจารณาได้จากอุณหภูมิผิวภายในที่สูงและมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิผิวภายนอกแสดงให้เห็นว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง จากการคำนวณพบว่าต้องใช้พลังงานถึง 5,231,743 kWh/ปี ในการปรับอากาศเพื่อลดความร้อนที่เข้ามาในอาคาร จากการศึกษาแนวทางการปรับปรุงพบว่าแนวทางการเพิ่มฉนวนกันความร้อนด้านหลังของกระจกเดิมทำให้อุณหภูมิผิวกระจกสูง และอาจทำให้กระจกแตกได้จึงไม่เหมาะสม ในการใช้งาน สำหรับการติดฟิล์มกันความร้อนถึงแม้ว่าการคำนวณแล้วสามารถลดปริมาณความร้อนลงได้ แต่อุณหภูมิผิวกระจกภายในที่มีอุณหภูมิสูงทำให้ในการใช้งานจริงต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศปริมาณมากเพื่อชดเชยอุณหภูมิผิวกระจกด้านในที่สูง สำหรับแนวทางการเลือกใช้กระจก 2 ชั้น (Insulating Glass) พบว่าอุณหภูมิผิวภายในต่ำและมีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงกว่าอุณหภูมิผิวภายนอกของกระจกเดิมของอาคาร เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ จากการคำนวณพบว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจก 2 ชั้น น้อยกว่ากระจกเดิมของอาคารเมื่อเปรียบเทียบแนวทางแต่ละแนวทางโดยพิจารณาการที่จะลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารและความเป็นไปได้ทางการเงินพบว่าแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา คือ การใช้กระจกReflective Low-E ซึ่งจากการคำนวณพบว่าสามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารได้ถึง 58.94% และมีจุดคืนทุนในระยะเวลา 5 ปี

ภาควิชา .....สถาปัตยกรรมศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา .....สถาปัตยกรรม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา ..2540..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

3970030025 : MAJOR ARCHITECTURE
KEY WORD: BUILDING ENVELOPE / CURTAIN WALL / INSULATING GLASS
KARIN PHOONUAN : BUILDING ENVELOPE IMPROVEMENT FOR ENERGY CONSERVATION
: A CASE STUDY OF THAI FARMERS BANK BUILDING ,PHAHOLYOTHIN
THESIS ADVISOR : ASSO . PROF. SOMSIT NITAYA , 122 pp. ISBN. 974-639-215-8

Building office building consumes large amount of energy to operate its air conditioning system. Part of this consumption results from the heat that transfers through the building envelope, especially the envelope with glass as a major component (curtain wall). This research aims to find a means to improve energy conservation in office buildings by improving buildings envelope system. The research considers the possibility of reducing the total air conditioning system of the building, along with the economic feasibility of various options. The appropriate object building for the research is an old office building equipped with monolithic glass walls. The Thai Farmers Bank Building, Phaholyothin Branch was selected as the building for the case study.

The research starts with the study of the factors the influence the heat transfer through the building envelope. The properties of various types of glass that are used for the building envelope are studied. The research focuses on two major options for the study of building envelope improvement ,i.e., replacing with a new type of glass, or improving the existing glass by applying heat-shield film or heat insulator. The research is done by installing the sample glass on an object building's wall facing to the South. The inside building's temperature is controlled by the air conditioning system. The outside atmospheric temperature and the inside and outside glass surface temperatures are measured. The results are analyzed by comparing the differential temperature of various types of glass with the outside atmospheric temperature. The comparison of heat transfer of glass measurements and the heat transfer calculated using the standard of the American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers(ASHRAE) is also studied .

The study shows that the temperature inside the object building is as high as the outside atmospheric temperature. This implies that the building envelope of the object building allows a lot of heat to transfer or in other words, the glass has a high heat transfer coefficient. From the calculations, the energy consumption of 5,241,743 kilowatt-hours per year is required by the air conditioning system to reduce the heat that enters the building. From the study, the option of installing heat insulator inside the existing glass is not recommended because the temperature at the surface of the glass will increase and the glass may break down. The heat-shield film can reduce the heat transfer level, but the temperature at the inside surface of the glass is still high. A lot of energy is still required to compensate for the high temperature at the glass surface. For the option of installing the insulating glass, the study has found that the glass inside surface temperature is low, but the outside surface temperature of the existing glass is high because the heat transfer coefficient is low. From the calculations, the heat transfer through the insulating glass into the building is less than the heat transfer through the existing glass. After comparing all options by considering their ability to reduce heat transfer into the building and the economic feasibility, the study recommends the use of the Reflective Low-E type of glass. The calculations show that this type of glass can reduce the heat transfer though the building envelope by 58.94% and the payoff period is only 5 years.

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษาและข้อแนะนำอันเป็นประโยชน์โดยตลอดการทำวิทยานิพนธ์ , อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน ที่ให้คำปรึกษาตลอดจนการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ธนาคาร กสิกรไทย ที่อนุญาตให้ศึกษาต่อและสนับสนุนทุนการวิจัยบางส่วนผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

ครอบครัว มิลินทบุณย์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ใช้ในการทดลอง

ตลอดจนถึงเจ้าหน้าที่ประจำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัยทุกท่านที่อำนวยความสะดวกมาโดยตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา สำหรับกำลังใจ และ ทุกสิ่งทุกอย่างที่มอบให้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช-ซ

สารบัญตารางประกอบ..... ฌ-ญ

สารบัญรูปประกอบ..... ฎ

สารบัญแผนภูมิประกอบ..... ฏ-ฐ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 2

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2-3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

บทที่ 2 ระบบเปลือกอาคารและรายละเอียดอาคารกรณีศึกษา..... 5

ระบบเปลือกอาคาร..... 5

การเลือกระบบเปลือกอาคาร..... 5-6

การเลือกระบบเปลือกอาคารที่ใช้ผนังระบบ CURTAIN WALL..... 6

การออกแบบระบบกระจกสำหรับอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน..... 6

ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบ CURTAIN WALL..... 6

การแบ่งชนิดของผนังระบบ CURTAIN WALL..... 7

การป้องกันการส่งผ่านความร้อนของส่วนประกอบหลักของ ผนังระบบ CURTAIN WALL..... 8-13

อิทธิพลของความร้อนต่อกระจก..... 13

ประเภทของกระจกและการใช้งาน..... 14-16

องค์ประกอบภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน..... 17-18

รายละเอียด อาคารกรณีศึกษา..... 19-24

บทที่ 3 การสำรวจแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 25

ปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร..... 25-26

การคำนวณค่าพลังงานในการปรับอากาศภายในอาคาร..... 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การคำนวณค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคาร.....27-28
ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ.....28
การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน.....29-33

บทที่ 4 วิธีการวิจัย ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างและเครื่องมือที่เลือกใช้ในการวิจัย.....34-42
การวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจก..... 43-67
การวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร.....68-115

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 118-120
ข้อเสนอแนะในการทำการวิจัย..... 120

รายการอ้างอิง.....121
ประวัติผู้เขียน.....122

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ กระจก Base Case กับ กระจกชนิดต่าง ๆ.....58
2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ กระจก Base Case กับ กระจกชนิดต่าง ๆ.....59
3 แสดงการเปรียบเทียนอุณหภูมิ กระจก Reflective กับ กระจกติด Film และกระจกที่เพิ่มฉนวน... 66
4 แสดงการเปรียบเทียนอุณหภูมิ กระจก Reflective กับ กระจกติด Film และกระจกที่เพิ่มฉนวน.....67
5 แสดงค่า Surface Conductance, Btu/h.ft^2 $^\circ$F, and Resistance, $^\circ$F ft^2 h/Btu, for Air.....69
6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร
ผ่านกระจกชนิดต่าง ๆ.....75
7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร
ผ่านกระจกชนิดต่าง ๆ.....76
8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร
ผ่านกระจกชนิดต่าง ๆ.....79
9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร
ผ่านกระจกชนิดต่าง ๆ.....80
10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร
ผ่านกระจกชนิดต่าง ๆ.....81
11 แสดงรายละเอียดและค่าใช้จ่ายในการลงทุนของกระจกชนิดต่าง ๆ.....91
12 แสดงค่า Cooling Load Temperature Differences(CLTD)
for Conduction Through Glass..... 92
13 แสดงค่า Maximum Solar Heat Gain Factor, Btu/h.ft^2
for Sunlit Glass, North Latitudes.....93
14 แสดงค่า Cooling Load Factors(CLF) for Glass Without Interior Shading,
North Latitudes, General.....94
15 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Q_t) ผ่านกระจก Reflective..... 95
16 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Q_t) ผ่านกระจก Reflective Insulating.....96
17 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Q_t) ผ่านกระจก Low E.....97
18 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Q_t) ผ่านกระจก Low E2000..... 98
19 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Q_t) ผ่านกระจก Reflective Low E.....99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

20 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Q_1) ผ่านกระจก Heat Mirror..... 100
21 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Q_1) ผ่านกระจก Reflective with Film.....101
22 ตารางแสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร ผ่านกระจก Reflective.....109
23 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านกระจก ผ่านกระจกReflective.....109
24 ตารางแสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร ผ่านกระจก Reflective with Film.....110
25 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร
ผ่านกระจกReflective.with Film.....110
26 ตารางแสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร ผ่านกระจก Reflective Insulating.....111
27 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านกระจก
ผ่านกระจกReflectiveInsulating.....111
28 ตารางแสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร ผ่านกระจก Low E.....112
29 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านกระจก ผ่านกระจก Low E.....112
30 ตารางแสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร ผ่านกระจก Low E2000..... 113
31 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านกระจก
ผ่านกระจก Low E2000.....113
32 ตารางแสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร ผ่านกระจก Reflective Low E..... 114
33 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านกระจก
ผ่านกระจก Reflective Low E.....114
34 ตารางแสดงการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร ผ่านกระจก Heat Mirror.....115
35 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านกระจก ผ่านกระจกHeat Mirror.. 115

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ หน้า

1. แสดงภาพอาคารกรณีศึกษา.....20
2. แสดงรายละเอียดแนวโครงเส้นตั้ง (Mullions).....21
3. แสดงรายละเอียดการยึดตรึงระหว่างโครงอะลูมิเนียมกับโครงสร้างอาคาร.....22
4. แสดงรายละเอียดแนวโครงเส้นนอน (Transom).....23
5. แสดงรายละเอียดของบานกรอบหน้าต่าง (Window Sashes)..... 24
6. แสดงการติดตั้งสายสัญญาณกับเครื่องมือทดลอง
และการเปรียบเทียบผลการวัดของเครื่องมือชนิดต่าง ๆ.....39
7. แสดงการติดตั้งสายสัญญาณกับเครื่องมือทดลอง
และการเปรียบเทียบผลการวัดของเครื่องมือชนิดต่าง ๆ.....39
8. แสดงเครื่องมือทดลองชนิด Data Logger(Yokogawa)
เครื่องวัดอุณหภูมิบันทึกข้อมูลในช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วยการพิมพ์.....40
9. แสดงเครื่องมือทดลองชนิด Data Logger(Cambel Scientific).....40
10. แสดงลักษณะทางกายภาพภายนอกของอาคารทดลอง ในช่วงเวลากลางวัน.....41
11. แสดงลักษณะทางกายภาพภายนอกของอาคารทดลอง ในช่วงเวลากลางคืน.....41
12. แสดงลักษณะทางกายภาพภายนอกของอาคารทดลอง
ก่อนติดตั้งตัวอย่างกระจกทดลอง..... 42
13. แสดงลักษณะทางกายภาพภายในของอาคารทดลอง
ทิศตะวันออกทำการปิดช่องหน้าต่างด้วยโฟม..... 42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ หน้า

1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจก Reflective กับ กระจก Reflective Insulating.....43
1.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกด้านใน Reflective กับ กระจก Reflective Insulating.....44
2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจก Reflective กับ กระจก Low E Insulating.....46
2.2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกด้านใน Reflective กับ กระจก Low E Insulating.....47
3 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจก Reflective กับ กระจก Low E2000 Insulating..... 49
3.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกด้านใน Reflective กับ กระจก Low E2000 Ins..... 50
4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจก Reflective กับ กระจก Reflective+Low E Insulating.....52
4.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกด้านใน Reflective กับ กระจก Reflective+Low E.....53
5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจก Reflective กับ กระจก Heat Mirror Insulating.....55
5.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกด้านในกระจก Reflective กับ กระจก Heat Mirror.....56
6แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจก Reflective กับ กระจก Reflective Film.....60
6.1แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกด้านใน กระจก Reflective กับ กระจก Reflective Film..... 61
7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจก Reflective กับ กระจก Reflective+Backup Wall..... 63
7.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านใน กระจก Reflective กับ กระจก Reflective+Backup Wall..... 64
8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารระหว่างกระจก Reflective
กับกระจก Reflective Insulating.....70
9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารระหว่างกระจก Reflective
กับกระจก กระจก Low E2000 Insulating.....71
10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารระหว่างกระจก Reflective
กับกระจก กระจก Low E Insulating..... 72
11 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารระหว่างกระจก Reflective
กับกระจก กระจก Reflective Low E Insulating.....73
12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารระหว่างกระจก Reflective
กับกระจก กระจก Heat Mirror Insulating..... 74
13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารระหว่างกระจก Reflective
กับกระจก กระจก Reflective ติด Film..... 77

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่ หน้า

14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารระหว่างกระจก Reflective กับกระจก กระจก Reflective with Backup Wall.....78
15 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารของกระจก Reflective เปรียบเทียบจากการทดลอง กับ การคำนวณ..... 82
16 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารของกระจก Reflective Insulating เปรียบเทียบจากการทดลองกับ การคำนวณ..... 83
17 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารของกระจก Low E2000 เปรียบเทียบจากการทดลองกับ การคำนวณ..... 84
18 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารของกระจก Low E เปรียบเทียบจากการทดลองกับ การคำนวณ..... 85
19 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร กระจก Reflective+Low E Insulating เปรียบเทียบจากการทดลอง กับ การคำนวณ.....86
20 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารของกระจก Heat Mirror เปรียบเทียบจากการทดลอง กับ การคำนวณ.....87
21 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารของกระจก Reflective+Film เปรียบเทียบจากการทดลอง กับ การคำนวณ..... 88
22 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารของกระจก Reflective With Backup Wall เปรียบเทียบจากการทดลอง กับ การคำนวณ..... 89
23 แสดงค่าใช้จ่ายต่อปีของอาคาร จากปริมาณความร้อนผ่านกระจกชนิดต่าง ๆ..... 116
24 แสดงค่าใช้จ่ายต่อปีที่สามารถลดลงได้จากปริมาณความร้อนผ่านกระจกที่ลดลง.....116
25 แสดงค่าใช้จ่ายสะสมของการใช้เปลือกอาคารชนิดต่างๆ.....117

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย