การลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังไม่รับน้ำหนักชนิดเบาของสำนักงานอาคารสูง

นางสาว กอบกุล วิวิธมงคลไชย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-680-5

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

30 ต.ค. 2545
I19233046

HEAT GAIN REDUCTION THROUGH CURTAIN WALL OF HIGH RISE OFFICE BUILDING

Miss Kobkul Vivitmongkolchai

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 1999

ISBN 974-334-680-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังไม่รับน้ำหนักชนิดเบาของสำนักงานอาคารสูง
โดย	นางสาว กอบกุล วิวิธมงคลไชย
ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....รองคณบดีฝ่ายวิจัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล) รักษาราชการแทนคณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราโมทย์ แตงเที่ยง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

(คุณ พงศ์พัฒน์ มั่งคั่ง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กอบกุล วิวิธมงคลไชย : การลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังไม่รับน้ำหนักชนิดเบาของสำนักงานอาคารสูง (HEAT GAIN REDUCTION THROUGH CURTAIN WALL OF HIGH RISE OFFICE BUILDING) อ.ที่ปรึกษา : รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ , 360 หน้า. ISBN 974-334-680-5

ปัจจุบันการพัฒนาวิทยาการต่าง ๆ มีผลให้ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น อาคารสูงเป็นอาคารประเภทหนึ่งที่มีใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศในปริมาณสูง เนื่องด้วยประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และมีอุณหภูมิภายนอกสูงเกือบตลอดทั้งปี ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร การศึกษานี้เป็นการเสนอแนวทางปรับปรุงระบบผนังไม่รับน้ำหนักชนิดเบา ซึ่งนิยมใช้กับอาคารสูง เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน มีความเหมาะสมในเชิงเทคนิค และเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น สำหรับปรับปรุงอาคารเก่า และเป็นแนวทางออกแบบสำหรับอาคารใหม่ในอนาคต

ขั้นตอนการศึกษาเริ่มต้นจากสำรวจ เก็บข้อมูลเพื่อหาว่าอาคารรูปทรงใดมีจำนวนมากที่สุด ซึ่งพบว่าผังพื้นรูปทรงสี่เหลี่ยมมีมากที่สุด จากนั้นใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการจำลองแบบอาคารที่มีความสูง 1 ชั้น พื้นที่ผังพื้น 1 ตารางเมตร โดยแบ่งเป็นแนวทางปรับปรุง 4 แนวทาง ตามลักษณะทางกายภาพภายนอก (ผนังภายนอกเป็นกระจกทั้งหมด และผนังภายนอกเป็นผนังกระจกรวมกับผนังทึบ) และลักษณะการใช้งาน (อาคารที่มีการใช้งานอยู่แล้ว และอาคารใหม่) ทั้งนี้เป็นการศึกษาการลดค่าการถ่ายเทความร้อนโดยอ้างอิงตามกฎกระทรวง (พ.ศ.2538) ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 เป็นเกณฑ์ ขั้นตอนต่อไปเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนผ่านผนังได้แก่ สัดส่วนอาคาร (กว้าง:ยาว) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก อัตราส่วนพื้นที่ผนังกระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด ตลอดจนทิศทางการวางอาคาร ขั้นตอนสุดท้าย ทดสอบผลการศึกษากับอาคารกรณีศึกษา โดยปรับปรุงระบบผนัง และเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ผ่านผนัง ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก และมูลค่าใช้จ่ายสะสมเวลา 10 ปี ก่อนและหลังปรับปรุง

ผลการวิจัยกับอาคารกรณีศึกษา 3 อาคาร สรุปได้ว่า อาคารที่มีผนังภายนอกเป็นกระจกทั้งหมด ปรับปรุงโดยเพิ่มผนังกระจกเดิมเพิ่มผนังภายในเป็นกระจกใส 10 มิลลิเมตร และยิปซั่ม 9 มิลลิเมตร ไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านผนังลดลงเพียงประมาณ 39 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง ส่วนการทางปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนใยแก้ว 50 มิลลิเมตรด้านหลังผนังกระจก มีความเหมาะสมเพราะลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกให้ผ่านตามเกณฑ์ที่ข้อกฎหมายกำหนด ตลอดจนคุ้มค่ากับการลงทุน (คืนทุนภายใน 5 ปี) ซึ่งส่งผลให้การศึกษานี้มีแนวโน้มความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ส่วนอาคารที่มีผนังภายนอกเป็นกระจกบางส่วนและผนังทึบบางส่วน สรุปได้ว่า ปรับปรุงโดยใช้ใยแก้ว 50 มิลลิเมตรบุด้านหลังผนังทึบมีความเหมาะสมที่สุด สำหรับค่าอัตราส่วนพื้นที่ผนังกระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดระหว่าง 0 เปอร์เซ็นต์ ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดปริมาณความร้อนผ่านผนังได้ประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ ถึง 23 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าอัตราส่วนพื้นที่ผนังกระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่อนและหลังปรับปรุงมีค่าใกล้เคียงกัน

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4174107025: MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: HEAT GAIN / CURTAIN WALL / HIGH RISE OFFICE BUILDING

KOBKUL VIVITMONGKOLCHAI: HEAT GAIN REDUCTION THROUGH CURTAIN WALL OF HIGH RISE OFFICE BUILDING.THESIS ADVISOR: ASSO.PRO.SOMSITH NITYA, 360 pp.

ISBN 974-334-680-5

According to the rapid technological development, the rate of energy consumption has been significantly increasing. Since Thailand is in with hot humid climate, the average outdoor temperature is quite high which heat easily conducts into the inside of building through its envelope. High rise office building has a large amount of electrical consumption for air conditioning system. This study proposes some alternative modifications of curtain wall to reduce heat transfer into the existing high rise office buildings and to provide as a design guideline in the future based upon current technical and economical aspect.

The study, first, began by surveying which form of office building has been mostly used. The rectangular shape is a common form of office building in Bangkok. Then, four alternative modifications were proposed, considering building exposure (partly and whole glazing wall panel) and usage (existing and new building). The criteria of heat transfer reduction through building envelope follow the requirement of Thailand building code (energy consumption) 1995. The influential factors of heat conduction through building envelope as building proportion (width to height), shading coefficient of glass, window to wall ratio and orientation of the building model were analyzed. Finally the results were applied to case study and compared total heat transfer through building envelope for 10-year life cycle cost (before and after envelope modification).

As applied to three case study office buildings, it shows that for the whole glazing by adding 10 mm. of clear glass and 9 mm. of gypsum is not appropriate since the total heat reduction is only 30 percent but the cost of modification is quite high. By adding 50 mm. fiberglass material behind the glass can reduce the total heat gain about 50 percent, payback with in 5 year, and also meet the minimum regulation requirement. For the partly glazing wall panel, the most appropriate remodeling is to add 50 mm. Fiberglass material behind cladding wall. The window to wall ratio from 0 to 70 percent reduces heat gain from 77 to 23 percent after the modification. In case of the window to wall ratio more than 70 percent, the heat gain through building envelope before and after modification are similar.

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี อันเนื่องด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือจากบุคคลและสถาบันต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค อาจารย์ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์ประจำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและคุณพงศ์พัฒน์ มั่งคั่ง กรมส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน สำหรับคำแนะนำ คำปรึกษาที่มีคุณค่าอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรม สั่งสอน ให้ความรู้พื้นฐานจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ได้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณพี่ ๆ เจ้าหน้าที่ห้องภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับเอกสารต่าง ๆ

ขอขอบคุณน้ำใจจากเพื่อน ๆ ร่วมรุ่นทุกคน โดยเฉพาะพี่พราว สำหรับความหวังดี คำแนะนำ กำลังใจที่เป็นประโยชน์ตลอดมา ขอบคุณ พี่ตี๊ะ พี่จุ๊บ เดียร์ น้องปัท เบริด์ เบญ โจ้ และทุกคนที่ไม่ได้เอ่ยนาม

ขอขอบคุณ นิด พี เต้ แท็บ พี่ปุ๋ย พี่ประพันธ์สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจที่ดีตลอดมา

ท้ายสุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ๆ ทุกคนในครอบครัวสำหรับกำลังใจ และความห่วงใยเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฐ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 2

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทความร้อน 4

2.2 อิทธิพลที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร 8

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับอากาศ 9

2.4 การคำนวณภาระปรับอากาศ 11

2.5 การศึกษาสภาวะน่าสบายของมนุษย์ 13

2.6 การใช้ฉนวนความร้อน 17

2.7 ระบบเปลือกอาคาร 21

2.8 การเลือกใช้กระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน 34

2.9 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้าสู่อาคาร 45

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ระเบียบวิธี 48

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 48

3.3 ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลอง 50

3.4 เกณฑ์การกำหนดแนวทางปรับปรุง 51

- แนวทางการปรับปรุงที่ 1 51
- แนวทางการปรับปรุงที่ 2 53
- แนวทางการปรับปรุงที่ 3 56
- แนวทางการปรับปรุงที่ 4 59

3.5 การประยุกต์การใช้ค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง 63

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การสรุปผลแนวทางการปรับปรุง

4.1 การสรุปผลแนวทางปรับปรุงแบบต่าง ๆ 66

- การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงที่ 1 66
- การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงที่ 2 79
- การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงที่ 3 93
- การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงที่ 4 106

4.2 การประเมินทางเลือกแนวทางการปรับปรุงด้วยอาคารกรณีศึกษา 120

4.2.1 รายละเอียดการคำนวณค่าความร้อนอาคารกรณีศึกษา 120

4.2.2 การวิเคราะห์ด้านการลงทุนของแนวทางปรับปรุง 135

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 138

รายการอ้างอิง 144

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ตารางแสดงค่าการส่งผ่านความร้อนผ่านผนังทิศต่าง ๆ ของแบบจำลอง อาคารเก่ากรณีที่1 เพิ่มผนังภายในเป็นกระจกใส 10 มม.และอิปซั่ม 9 มม.

ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่าการส่งผ่านความร้อนผ่านผนังทิศต่าง ๆ ของแบบจำลอง อาคารเก่ากรณีที่2 เพิ่มอนวนในส่วนทึบของผนัง

ภาคผนวก ค. ตารางแสดงค่าการส่งผ่านความร้อนผ่านผนังทิศต่าง ๆ ของแบบจำลอง อาคารเก่ากรณีที่3 กระจกเดิมเพิ่มฉนวนด้านหลัง

ภาคผนวก ง. ตารางแสดงค่าการส่งผ่านความร้อนผ่านผนังทิศต่าง ๆ ของแบบจำลอง อาคารใหม่ เพิ่มฉนวนในส่วนทึบของผนัง

ภาคผนวก จ. แสดงรายการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด(SC) ผนังกระจก , ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(Uf) ผนังกระจก และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(Uw) ผนังทึบ

ประวัติผู้เขียน 360

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีความร้อน	15
3.1	แสดงพื้นที่ผนังแบบจำลองที่ค่าสัดส่วน 5.00:1.00 – 1.00:5.00	65
4.1	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศเหนือ	70
4.2	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ N-S-E-W (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	75
4.3	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	75
4.4	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ N-S-E-W (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	76
4.5	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	76
4.6	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ N-S-E-W (WWRเท่ากัน 2 ด้าน)	77
4.7	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR เท่ากัน 2 ด้าน)	77
4.8	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ N-S-E-W (WWR N-S-E-60%, W-30%)	78
4.9	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR NE-SE-NW-60%, SW-30%)	78
4.10	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศเหนือ	83
4.11	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ N-S-E-W (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	89
4.12	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	89
4.13	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ N-S-E-W (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	90
4.14	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	90
4.15	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ N-S-E-W (WWRเท่ากัน 2 ด้าน)	91
4.16	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR เท่ากัน 2 ด้าน)	91

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.17	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ N-S-E-W (WWR N-S-E-60%,W-20%)	92
4.18	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR NE-SE-NW-60%,SW-20%)	92
4.19	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ N-S-E-W (P-1.00:1.00,SC1-SC5)	92
4.20	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ NE-SW-SE-NW (P-1.00:1.00,SC1-SC5)	92
4.21	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศเหนือ	97
4.22	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ N-S-E-W (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	102
4.23	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	102
4.24	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ N-S-E-W (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	103
4.25	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	103
4.26	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ N-S-E-W (WWRเท่ากัน 2 ด้าน)	104
4.27	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR เท่ากัน 2 ด้าน)	104
4.28	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ N-S-E-W (WWR N-S-E-60%,W-20%)	105
4.29	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR NE-SE-NW-60%,SW-20%)	105
4.30	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศเหนือ	110
4.31	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ N-S-E-W (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	116
4.32	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	116
4.33	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ N-S-E-W (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	117

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.34 แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย) 117

4.35 แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ N-S-E-W (WWRเท่ากัน 2 ด้าน) 118

4.36 แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR เท่ากัน 2 ด้าน) 118

4.37 แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ N-S-E-W (WWR N-S-E-60%,W-20%) 119

4.38 แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR NE-SE-NW-60%,SW-20%) 119

4.39 แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ N-S-E-W (P-1.00: 1.00,SC1-SC5) 119

4.40 แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ NE-SW-SE-NW (P-1.00: 1.00,SC1-SC5) 119

4.41 แสดงรายละเอียดวัสดุ และพื้นที่ของผนังทาวเวอร์ในทิศต่าง ๆ อาคาร UM TOWER 122

4.42 แสดงรายละเอียดวัสดุ และพื้นที่ของผนังทาวเวอร์ในทิศต่าง ๆ อาคาร THAI CC TOWER 123

4.43 แสดงรายละเอียดวัสดุ และพื้นที่ของผนังทาวเวอร์ในทิศต่าง ๆ อาคาร WALL STREET TOWER 123

4.44 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร UM TOWER (ก่อนปรับปรุง) 124

4.45 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร THAI CC TOWER (ก่อนปรับปรุง) 125

4.46 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร WALL STREET TOWER (ก่อนปรับปรุง) 125

4.47 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร UM TOWER (แนวทางปรับปรุงแก้ไขแบบที่1) 126

4.48 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร THAI CC TOWER (แนวทางปรับปรุงแก้ไขแบบที่1) 127

4.49 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร WALL STREET TOWER (แนวทางปรับปรุงแก้ไขแบบที่1) 128

4.50 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร UM TOWER (แนวทางปรับปรุงแก้ไขแบบที่2) 129

4.51 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร THAI CC TOWER (แนวทางปรับปรุงแก้ไขแบบที่2) 130

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.52	ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร WALL STREET TOWER (แนวทางปรับปรุงแก้ไขแบบที่2)	131
4.53	เปรียบเทียบค่าความร้อน และค่า OTTV ผ่านผนังอาคารกรณีศึกษา 3 อาคาร	135
4.54	แสดงการวิเคราะห์ด้านการลงทุนของแนวทางปรับปรุงอาคาร UM TOWER	136
4.55	แสดงการวิเคราะห์ด้านการลงทุนของแนวทางปรับปรุงอาคาร THAI CC TOWER	136
4.56	แสดงการวิเคราะห์ด้านการลงทุนของแนวทางปรับปรุงอาคาร WALL STREET TOWER	136
4.57	แสดงราคาวัสดุ และค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแต่ละแนวทาง	137
5.1	สรุปเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมผ่านผนัง ค่า OTTV และการวิเคราะห์ด้านการลงทุนของอาคารกรณีศึกษาก่อนและหลังปรับปรุงแนวทางแก้ไขแบบที่2	141
5.2	สรุปค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองแนวทางปรับปรุงที่1-4	143

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงเส้นผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบชั้นเดียว	5
2.2	แสดงเส้นผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบ 3 ชั้น	5
2.3	แสดงการสะท้อนกลับ การดูดกลืน และการทะลุผ่านของรังสีตกกระทบ	7
2.4	แสดงการกำเนิดพลังงานและการระบายความร้อนของร่างกาย	10
2.5	แสดงหลักการคำนวณ MRT	14
2.6	Radiant Heat Penetration into a Solid Object	16
2.7	แสดงการไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน	17
2.8	แสดงรูปแบบการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนผิวสะท้อนรังสี	18
2.9	แผนภาพไซโครเมตริก	20
2.10	แสดง Curtain Wall ระบบ Grid System(Stick System)	23
2.11	แสดง Curtain Wall ระบบ Grid System(Unit and Mullion System)	24
2.12	แสดง Curtain Wall ระบบ Panel Construction System ชนิด Unit System	25
2.13	แสดง Curtain Wall ระบบ Panel Construction System ชนิด Panel System	26
2.14	แสดง Curtain Wall ระบบ Panel Construction System ชนิด Column Cover and Spandrel System	27
2.15	แสดงการผ่านเข้ามาเข้ามาภายในอาคารของน้ำในลักษณะต่าง ๆ	30
2.16	แสดงกระจกในอุดมคติ	40
2.17	แสดงรูปตัดแนวทางปรับปรุงที่1	52
2.18	แสดงรูปตัดแนวทางปรับปรุงที่2	53
2.19	แสดงรูปตัดแนวทางปรับปรุงที่3	56
2.20	แสดงรูปตัดแนวทางปรับปรุงที่4	60
4.1	แสดงภาพถ่ายอาคารกรณีศึกษา 3 อาคาร	121

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
3.1	แสดงแนวคิดหลักในการศึกษาและระเบียบวิธีวิจัย	49
4.1	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศเหนือ	70
4.2	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ N-S-E-W (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	71
4.3	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	71
4.4	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ N-S-E-W (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	72
4.5	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	72
4.6	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ N-S-E-W (WWRเท่ากัน 2 ด้าน)	73
4.7	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR เท่ากัน 2 ด้าน)	73
4.8	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ N-S-E-W (WWR N-S-E-60%,W-30%)	74
4.9	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่1 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR NE-SE-NW-60%,SW-30%)	74
4.10	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศเหนือ	83
4.11	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ N-S-E-W (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	84
4.12	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	84
4.13	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ N-S-E-W (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	85
4.14	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	85
4.15	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ N-S-E-W (WWRเท่ากัน 2 ด้าน)	86
4.16	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR เท่ากัน 2 ด้าน)	86

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

แผนภูมิที่		หน้า
4.17	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ N-S-E-W (WWR N-S-E-60%,W-20%)	87
4.18	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR NE-SE-NW-60%,SW-20%)	87
4.19	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ N-S-E-W (P-1.00:1.00,SC1-SC5)	88
4.20	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่2 ทิศ NE-SW-SE-NW (P-1.00:1.00,SC1-SC5)	88
4.21	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศเหนือ	97
4.22	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ N-S-E-W (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	98
4.23	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	98
4.24	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ N-S-E-W (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	99
4.25	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	99
4.26	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ N-S-E-W (WWRเท่ากัน 2 ด้าน)	100
4.27	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR เท่ากัน 2 ด้าน)	100
4.28	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ N-S-E-W (WWR N-S-E-60%,W-20%)	101
4.29	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารเก่ากรณีที่3 ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR NE-SE-NW-60%,SW-20%)	101
4.30	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศเหนือ	110
4.31	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ N-S-E-W (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	111
4.32	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 60% เท่ากัน 4 ด้าน)	111
4.33	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ N-S-E-W (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	112

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

แผนภูมิที่		หน้า
4.34	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR 3 ด้านมาก 1 ด้านน้อย)	112
4.35	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ N-S-E-W (WWRเท่ากัน 2 ด้าน)	113
4.36	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR เท่ากัน 2 ด้าน)	113
4.37	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ N-S-E-W (WWR N-S-E-60%, W-20%)	114
4.38	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ NE-SW-SE-NW (WWR NE-SE-NW-60%, SW-20%)	114
4.39	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ N-S-E-W (P-1.00: 1.00,SC1-SC5)	115
4.40	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังแบบจำลองอาคารใหม่ ทิศ NE-SW-SE-NW (P-1.00: 1.00,SC1-SC5)	115
4.41	แสดงค่าความร้อนผ่านผนังอาคารกรณีศึกษา 3 อาคาร (ก่อนและหลังปรับปรุง)	132
4.42	แสดงค่า OTTV อาคารกรณีศึกษา 3 อาคาร (ก่อนและหลังปรับปรุง)	133
4.43	แสดงมูลค่าใช้จ่ายสะสม 10 ปี อาคารกรณีศึกษา 3 อาคาร (ก่อนและหลังปรับปรุง)	134

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย