แนวทางการสร้างแบบประเมินลักษณะรูปทรงภายนอก และการจัดวางทิศทางอาคารที่เหมาะสม เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

นายปิยชาติ แก้วแดง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-5245-8
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN APPROACH TO FORMULATE ENERGY CONSERVATION INDEX FOR BUILDING FORMS AND ORIENTATION

Mr. Piyachart Kaewdang

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN 974-17-5245-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการสร้างแบบประเมินลักษณะรูปทรงภายนอก และการจัดวางทิศทางอาคารอย่างเหมาะสม เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
โดย	นายปิยชาติ แก้วแดง
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร วรสัณฑ์ บูรณาการญจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปิยชาติ แก้วแดง : แนวทางการสร้างแบบประเมินลักษณะรูปทรงภายนอก และการจัดวางทิศทางอาคารที่เหมาะสมเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ. (AN APPROACH TO FORMULATE ENERGY CONSERVATION INDEX FOR BUILDING FORM AND ORIENTATION) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ, 160หน้า. ISBN 974-17-5245-8.

ลักษณะรูปทรงและการจัดวางทิศทางของอาคารเป็นหนึ่งในปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ศึกษาอิทธิพลของลักษณะรูปทรงอาคารและอิทธิพลของการจัดวางทิศทางอาคารต่อภาระการทำความเย็น ขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย การวิเคราะห์ ผนังทึบ กระจก และหลังคา ที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นภายในอาคาร ศึกษาผลของการใช้พลังงานเนื่องจากลักษณะรูปทรงและการจัดวางทิศทางอาคาร รวมถึงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารปรับอากาศ เพื่อสร้างแบบประเมิน

การศึกษาพบว่า อิทธิพลต่อการใช้พลังงานเนื่องจากลักษณะรูปทรงและการจัดวางทิศทางอาคารทั่วไปประกอบไปด้วย ค่าความร้อนที่เกิดจากหลังคา ผนังทึบ และกระจก โดยเฉลี่ยภาระการทำความเย็นที่เกิดจากหลังคาเป็น 42% ผนังทึบ 32% และกระจก 24% อิทธิพลของปัจจัยการจัดวางทิศทางอาคารที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นภายในอาคารมากที่สุดคือ ทิศใต้ คิดเป็น 21% ทิศตะวันตกเฉียงใต้ 20% ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 13% ทิศตะวันออกเฉียงใต้ 12% ทิศใต้ 10% ทิศตะวันออก 11% ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 7%และทิศที่มีอิทธิพลต่ำที่สุดคือทิศเหนือ คิดเป็น 6% ของภาระการทำความเย็นรวมทั้งหมด

ผลการทดสอบการใช้แบบประเมินที่สร้างขึ้นกับอาคาร 2 กรณี คือ กรณีบ้านพักอาศัยทั่วไป และเรือนไทยภาคใต้ประยุกต์ พบว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปที่มีสัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยเป็น 2.28ได้คะแนนจากการประเมิน 59.8 คะแนน จัดเป็นอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานระดับที่ 3 ซึ่งเป็นระดับปานกลาง ส่วนเรือนไทยภาคใต้ประยุกต์ที่มีสัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยเป็น 4.11 ได้คะแนนจากการประเมิน 210 คะแนน จัดเป็นอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานระดับที่ 2 ซึ่งเป็นระดับต่ำ

ดังนั้นลักษณะรูปทรงอาคารที่ดี คือ รูปทรงที่มีสัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.3 ทิศทางที่ดีคือ ทิศเหนือ ซึ่งก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นน้อยที่สุด ทิศทางที่ก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นมากที่สุดคือทิศทาง ตะวันตก แต่เมื่อมีการเพิ่มคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนให้วัสดุทิศทางจะมีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของอาคารลดลง ผลที่ได้จากการทดสอบแบบประเมินที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ประเมินประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานจากลักษณะรูปทรงและการจัดวางทิศทางอาคารได้ แบบประเมินที่ได้จากการวิจัยมีความเหมาะสมในการประเมินอาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว

ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2546	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4574156025 : MAJOR ARCHITECTURE
KEY WORDS: BUILDING FORM / ENERGY CONSERVATION / ORIENTATION / INDEX /

PIYACHART KAEWDANG : AN APPROACH TO FORMULATE ENERGY CONSERVATION INDEX FOR BUILDING FORMS AND ORIENTATION. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR Dr. VORASUN BURANAKARN, THESIS COADVISOR : PROFESSOR Dr. SOONTORN BOONYATIKARN, 160 pp. ISBN 974-17-5245-8.

Building form and orientation were important factors to affecting the building energy consumption. This research was aimed to study the effects of various building forms and orientations on the cooling load. The procedures started at cooling load analysis of walls, glasses and roofs energy consumption, and the cooling load per useable ,conditioned area.

The results show that the cooling of energy consumed as a result of using general forms and orientation were heat gain through roof, wall and glass which contribute to 42%, 32% and 24%, respectively the orientation which had the highest influence on cooling load is the West (21%). The South-west had 20%, the North-west 13%, the South-east 12%, the South 10%, the East 11%, the North-east 7% and the lowest is the North 6%.

The proposed index was tested with two a typical house and an modified Thai-style house it was found that a typical house with a 2.28 ratio of external area to internal area, had 59.8 scores in (Level 3) as a moderate level. An modified Thai-style house with a 4.11 ratio of external area to internal area, had 162.9 scores in (Level 2) as the low.

It was also found that the most energy efficient forms should have an external-to-internal-area ratio of 1.3 . The most appropriate direction was the North which caused a smaller amount of cooling load. Meanwhile, the direction with affected the most cooling load was the West. The proposed index can be used to identify the efficiency of building forms and orientations, and suitable for single residences.

Department	Architecture	Student's signature.....
Field of study	Architecture	Advisor's signature.....
Academic year	2003	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้เกิดขึ้นได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ของศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสันต์ บูรณากาญจน์ และ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร ซึ่งให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการวิจัยที่ถูกต้อง อันเป็นประโยชน์อย่างสูง

นอกจากนี้ขอขอบคุณ พี่ชญาณิน จิตรานุเคราะห์ พี่รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ และเพื่อนๆร่วมสาขาเทคโนโลยีอาคารทุกท่าน ที่คอยดูแลให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจให้กันเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบพระคุณ บิดา มารดา และคนในครอบครัว ที่ให้ความรัก กำลังใจ คำชี้แนะ โดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร 5

2.2 คุณสมบัติของวัสดุ 8

2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 10

2.4 สัดส่วนของพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย 10

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับอากาศและการคำนวณภาระการทำความเย็น 11

2.6 แนวทางการออกแบบอาคารปรับอากาศ 14

บทที่ 3 ระเบียบวิจัย

3.1 ตัวแปรที่สำคัญของลักษณะรูปทรงอาคารและการจัดวางทิศทางของอาคาร 24

3.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่สำคัญ 28

3.3 การสร้างแบบประเมิน 32

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

บทที่ 4 การทดสอบแบบประเมินลักษณะรูปทรงภายนอกและการจัดวางทิศทางอาคาร

4.1 ตัวอย่างการประเมิน บ้านสงบแต่เบิกบาน.....85

4.2 ตัวอย่างการประเมิน เรือนไทยประยุกต์ภาคใต้ 104

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป.....111

5.2 ข้อเสนอแนะ.....113

รายการอ้างอิง 114

ภาคผนวก ก 115

ภาคผนวก ข 151

ประวัติผู้เขียน.....160

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 3- 1 แสดงอุณหภูมิอากาศภายนอกของปี 2543 ที่นำมาใช้ประกอบการคำนวณ 27
ตารางที่ 3- 2 แสดงค่าภาระการทำเย็นของผนัง กระจก และหลังคา
จากตัวอย่างบ้าน 15 หลัง 32
ตารางที่ 3- 3 ผลรวมค่าภาระการทำความเย็นจากอัตราส่วนภาระการทำความเย็นผนังทึบ 34%
และ กระจก 24% ที่เกิดขึ้นแต่ละเดือน.....34
ตารางที่ 3- 4 แสดงค่าความต้านทานความร้อน R และ
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U ของผนังทึบ.....36
ตารางที่ 3- 5 แสดงการแบ่งกลุ่มของผนังอ้างอิงตามหนังสือ ASHRAE,1989 37
ตารางที่ 3- 6 แสดงตัวอย่างการหาค่า $CLTD_{corr}$ ตามสมการที่ (6) ของผนังกลุ่ม A ทิศเหนือ 39
ตารางที่ 3- 7 แสดงความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าCLTDของผนังทึบ 7 ชนิดใน 8 ทิศทาง.....40
ตารางที่ 3- 8 แสดงอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ
ของบ้านตัวอย่าง 15 หลัง 50
ตารางที่ 3- 9 แสดงชนิดและคุณสมบัติของกระจกที่ทำการศึกษา.....60
ตารางที่ 3- 10 Cooling Load Temperature Differences (CLTD)
for Conduction Through Glass 61
ตารางที่ 3- 11 แสดงค่า CLF ของ 8 ทิศทาง.....64
ตารางที่ 3- 12 แสดงค่า SHGF ของ 8 ทิศทาง.....64
ตารางที่ 3- 13 แสดงค่าผลคูณระหว่าง ค่าCLF กับ ค่า SHGF 65
ตารางที่ 3- 14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-VALUE)
ของวัสดุหลังคาแต่ละชนิด 74
ตารางที่ 3- 15 แสดงมวลของหลังคาแต่ละชนิดเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก 75
ตารางที่ 3- 16 แสดงค่า CLTD ของหลังคา 4 กลุ่ม.....77
ตารางที่ 4 - 1 แสดงการอ่านค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U
และการอ่านกลุ่มของผนังทึบ 87
ตารางที่ 4 - 2 แสดงการอ่านค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U
และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก.....88
ตารางที่ 4 - 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและกลุ่มของหลังคาแต่ละชนิด.....89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ตารางที่ 4 - 4 แสดงการเปรียบเทียบการประเมินบ้านตัวอย่าง.....110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

ภาพที่ 2 - 1 แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนัง (Heat Transfer) 5
ภาพที่ 2 – 2 แสดงการนำความร้อนของโมเลกุล 6
ภาพที่ 2 - 3 แสดงการถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากจุด A ไปยังจุด B 7
ภาพที่ 2 - 4 แสดงพฤติกรรมการแผ่รังสีระหว่างโมเลกุล 8
ภาพที่ 2 – 5 แสดงสัดส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร 11
ภาพที่ 2 - 6 แสดงแนวทางการออกแบบผนังในการป้องกันความร้อนจากภายนอก 15
ภาพที่ 2 - 7 ภาพแสดงการควบแน่นเป็นหยดน้ำในผนังภายนอกที่มีช่องว่างอากาศ 16
ภาพที่ 2 - 8 ภาพแสดงคุณสมบัติของกระจก Heat Stop 6 mm + Air + 6 mm. 18
ภาพที่ 2 – 9 แสดงการส่วนประกอบของกระจก (Heat Stop) 19
ภาพที่ 2 - 10 แสดงวัสดุและระบบกันความร้อนของหลังที่มีประสิทธิภาพในการกันความร้อน ..20
ภาพที่ 3- 1 แสดงองค์ประกอบของรูปทรงและการจัดวางทิศทางอาคาร 24
ภาพที่ 3- 2 แสดงภาระการทำความเย็นของแต่ละส่วน 25
ภาพที่ 3- 3 แสดงอุณหภูมิอากาศของปี 2543 ที่ประกอบการคำนวณ CLTD 27
ภาพที่ 4- 1 แสดงแบบบ้านสงบแต่เบิกบาน 84
ภาพที่ 4- 2 แสดงแบบเรือนไทยประยุกต์ภาคใต้ 104

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิ หน้า

แผนภูมิที่ 2 - 1 แสดงการค่าเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (R-Value) ของฉนวนกันความร้อนและวัสดุต่างๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว (Norbert Lechner., 1991.) 21
แผนภูมิที่ 3- 1 แสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย 23
แผนภูมิที่ 3- 2 อัตราส่วนค่าเฉลี่ยภาระการทำความเย็นของผนังทึบ กระจกและหลังคา จากตัวอย่างบ้าน 15 หลัง 33
แผนภูมิที่ 3- 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผลรวมอัตราส่วนภาระการทำความเย็นผนังทึบ 34% และ กระจก 24% ที่เกิดขึ้นแต่ละเดือน 35
แผนภูมิที่ 3- 4 แสดงความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (CLTD) ในแต่ละทิศทาง ของผนังทึบ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าเท่ากับ 1 Btu/h ft^2 ^oF 41
แผนภูมิที่ 3- 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศเหนือ 42
แผนภูมิที่ 3- 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 43
แผนภูมิที่ 3- 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันออก 44
แผนภูมิที่ 3- 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ 47
แผนภูมิที่ 3- 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันตก 48
แผนภูมิที่ 3- 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 49
แผนภูมิที่ 3- 11 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศเหนือต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ 51
แผนภูมิที่ 3- 12 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ 52
แผนภูมิที่ 3- 13 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันออกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ 53

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิ หน้า

แผนภูมิที่ 3- 14 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ต่อ พื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ 54
แผนภูมิที่ 3- 15 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศใต้ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ 55
แผนภูมิที่ 3- 16 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ 56
แผนภูมิที่ 3- 17 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันตกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ 57
แผนภูมิที่ 3- 18 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ 58
แผนภูมิที่ 3- 19 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U ของกระจกแต่ละชนิด 61
แผนภูมิที่ 3- 20 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการนำความร้อนของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ 62
แผนภูมิที่ 3- 21 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกแต่ละชนิด..... 63
แผนภูมิที่ 3- 22แสดงการเปรียบเทียบผลรวมของค่า CLF ของ 8 ทิศทางในแต่ละเวลา..... 64
แผนภูมิที่ 3- 23 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศเหนือ 66
แผนภูมิที่ 3- 24 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 67
แผนภูมิที่ 3- 25 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันออก 68
แผนภูมิที่ 3- 26 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้..... 69
แผนภูมิที่ 3- 27 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศใต้ 70

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิ หน้า

แผนภูมิที่ 3- 28 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันตก 71
แผนภูมิที่ 3- 29 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ 72
แผนภูมิที่ 3- 30 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 73
แผนภูมิที่ 3- 31 แสดงภาระการทำความเย็นที่เกิดจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและกลุ่มของหลังคา 77
แผนภูมิที่ 3- 32 แสดงค่าภาระการทำความเย็นของหลังคาต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ 78
แผนภูมิที่ 3- 33 แสดงการหาช่วงคะแนนระดับที่ 1 79
แผนภูมิที่ 3- 34 แสดงการหาช่วงคะแนนระดับที่ 3 80
แผนภูมิที่ 3- 35 แสดงการหาช่วงคะแนนระดับที่ 5 80
แผนภูมิที่ 3- 36 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นทีใช้สอยภายในรูปทรงต่างๆ เมื่อมีพื้นที่ใช้สอยภายใน 200 หน่วย เท่ากัน และมีความสูงชั้นที่ 2.5 หน่วย เท่ากัน 82
แผนภูมิที่ 3- 37 แสดงการแบ่งช่วงคะแนน ของแบบประเมินลักษณะรูปทรงและการจัดวางทิศทางอาคารที่เหมาะสม 83
แผนภูมิที่ 4- 1 แสดงการอ่านค่าภาระการทำความเย็นของผนังทึบต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ของทิศเหนือ 91
แผนภูมิที่ 4- 2 แสดงการอ่านค่าภาระการทำความเย็นของผนังทึบต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ของทิศเหนือ 92
แผนภูมิที่ 4- 3 แสดงการอ่านค่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศเนื่องจากการนำความร้อนของกระจก 94
แผนภูมิที่ 4- 4 แสดงการอ่านค่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยในส่วนปรับอากาศ ของกระจกเนื่องจากการแผ่รังสี ด้านทิศเหนือ 96
แผนภูมิที่ 4- 5 แสดงการอ่านค่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยในส่วนปรับอากาศ ของกระจกเนื่องจากการแผ่รังสี ด้านทิศตะวันออก 97

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิ หน้า

แผนภูมิที่ 4- 6 แสดงการอ่านค่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ของหลังคา 99
แผนภูมิที่ 4- 7 แสดงหาระดับคะแนน 102
แผนภูมิที่ 4- 8 แสดงการหาคะแนน 109
แผนภูมิที่ 5 - 1 แสดงสัดส่วนภาระการทำความเย็นของ ผนังทึบ กระจก และหลังคา 111
แผนภูมิที่ 5 - 2 แสดงภาระการทำความเย็นใน 8ทิศทาง 112

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย