

การประเมินประสิทธิภาพพนักงานที่มีมวลสารมากในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้น



นายวรพันธุ์ กิจเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2405-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN EVALUATION OF EXTERNAL HIGH MASS WALL EFFICIENCY IN AIR-CONDITIONED  
BUILDING FOR HOT-HUMID CLIMATE.

Mr. Woraphan Kitcharoen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53--2405-1

481874

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินประสิทธิภาพผนังอาคารที่มีมวลสารมากในสภาพภูมิอากาศ  
เขตร้อนชื้น

โดย

นาย วรพันธุ์ กิจเจริญ

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม


อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. วรสันต์ บุรณากาญจน์


อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

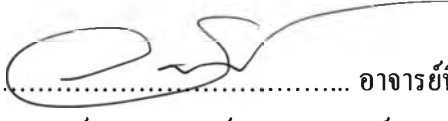
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถนัย เศรษฐบุญตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

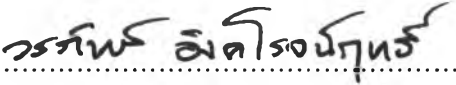
..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

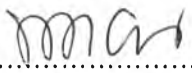
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาริการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรสันต์ บุรณากาญจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถนัย เศรษฐบุญตร)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ)

..... กรรมการ  
(นาย เกชา ธีระโกเมน)

วรพันธุ์ กิจเจริญ : การประเมินประสิทธิภาพผนังอาคารที่มีมวลสารมากในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. (AN EVALUATION OF EXTERNAL HIGH MASS WALL EFFICIENCY IN AIR-CONDITIONED BUILDING FOR HOT-HUMID CLIMATE) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วรศักดิ์ บูรณากาญจน์ , อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. อรรถนัย เศรษฐบุต, 149 หน้า. ISBN 974-53-2405-1.

การวิจัยนี้เป็นการทดลองในสภาพการใช้งานจริง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความชื้นของผนังมวลสารมาก (น้ำหนักมากกว่า 195 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) 3 ประเภทในอาคารปรับอากาศ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ระหว่าง 0.30-0.45 Btu/ hr.ft<sup>2</sup>.°F ได้แก่ 1) ผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว (U = 0.41 Btu/ hr.ft<sup>2</sup>.°F) 2) ผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว เว้นช่องว่างอากาศ 4 นิ้ว (U = 0.30 Btu/ hr.ft<sup>2</sup>.°F) 3) ผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว ติดฉนวน 3"- EIFS (Exterior Insulation and Finished System) (U = 0.057 Btu/ hr.ft<sup>2</sup>.°F)

การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน พบว่า ผนังมวลสารมากทั้ง 3 ประเภทมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) อยู่ระหว่าง 6-8 ชั่วโมง กรณีปรับอากาศ 24 ชั่วโมง อิทธิพลมวลสารมากไม่ติดฉนวน และติดฉนวน 3"- EIFS สามารถลดความแตกต่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในช่วงสูงสุดลงได้ ร้อยละ 40 และ 90 ตามลำดับ กรณีเปิดเครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 8:00-18:00 น. ผนังมวลสารมากมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของ ผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว (10-12 Btu/ hr.ft<sup>2</sup>) ผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว เว้นช่องว่างอากาศ 4 นิ้ว (9-10 Btu/hr.ft<sup>2</sup>) และ ผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว ติดฉนวน 3"- EIFS (5-6 Btu/hr.ft<sup>2</sup>) ช่วยชะลอการถ่ายเทความร้อนสูงสุดให้เกิดขึ้นในช่วงหลังเวลาการใช้งาน 1 ชั่วโมง กรณีเปิดเครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 20:00-6:00 น. ผนังมวลสารมากจะคายความร้อนที่สะสมในช่วงกลางวัน จึงเพิ่มภาระการทำความเย็นในช่วงเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ โดยมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว (12-13 Btu/hr.ft<sup>2</sup>) ผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว เว้นช่องว่างอากาศ 4 นิ้ว (10-11 Btu/hr.ft<sup>2</sup>) และ ผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว ติดฉนวน 3"- EIFS (6-7 Btu/hr.ft<sup>2</sup>) การศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศ พบว่า ผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว และ ผนังอิฐมวลหนา 8 นิ้ว เว้นช่องว่างอากาศ 4 นิ้ว มีภาระการทำความเย็นจากการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ย 1.58 และ 1.23 Btu/ hr.ft<sup>2</sup> ตามลำดับ เมื่อใช้ผนังมวลสารมากติดฉนวน 3"- EIFS สามารถลดภาระการทำความเย็นจากการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ยลงได้ 1 Btu/ hr.ft<sup>2</sup>

ผลการวิจัยสรุปว่า กรณีปรับอากาศ 24 ชั่วโมง เมื่อไม่พิจารณาภาระการทำความเย็นในช่วงเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ ผนังที่มีการติดฉนวน 3"- EIFS ของทุกมวลสาร จะมีภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกัน แต่ในกรณีที่มีการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศพบว่า ผนังมวลสารมากจะมีภาระการทำความเย็นในช่วงเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ สูงกว่าผนังมวลสารปานกลางและมวลสารน้อย 2 เท่า และ 3 เท่า ตามลำดับ

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์  
สาขาวิชา สถาปัตยกรรม  
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิติ.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4674165825 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: HIGH THERMAL MASS / HEAT TRANSFER / EVALUATION OF WALL / EXTERNAL WALL

WORAPHAN KITCHAROEN : AN EVALUATION OF EXTERNAL HIGH MASS WALL EFFICIENCY IN AIR-CONDITIONED BUILDING FOR HOT-HUMID CLIMATE. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. VORASUN BURANAKARN, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASST.PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 149 pp. ISBN 974-53-2405-1.

This experimental research was conducted in actual conditions in order to investigate the heat and moisture transfer performances of high-mass exterior walls (weighting more than 195 kg/m<sup>2</sup>) in air-conditioned buildings. The heat transfer coefficients of the walls (U value) being tested are in the range of 0.3-0.45 Btu/ft<sup>2</sup>.hr.<sup>0</sup>F. The experiment was performed in a test chamber for 3 types of exterior wall constructions, which are 1) 8” brick (U=0.41 Btu/ft<sup>2</sup>.hr.<sup>0</sup>F), 2) 8”brick with 4” air gap (U=0.30 Btu/ft<sup>2</sup>.hr.<sup>0</sup>F), 3) 8” brick with 3”-EIFS (Exterior Insulation and Finished System) (U=0.057 Btu/ft<sup>2</sup>.hr.<sup>0</sup>F)

The results indicated that the time lag of all types of high-mass walls are between 6-8 hours. In the case of 24-hour air-conditioning mode, the use of high-mass walls can reduce the maximum indoor/outdoor temperature differentials by 40 %, whereas an addition of 3”-EIFS to the exterior can reduce those temperature differentials by 90 %. In the case of daytime air-conditioning mode (8:00 AM - 6:00 PM), high-mass walls also help delay the peak cooling load until 1 hour after the A/C is off in the evening. The peak of heat transfer rates in Btu/hr.ft<sup>2</sup> for 8”brick is 10-12, 8” brick with 4”airgap, 9-10, 8” brick with 3”-EIFS, 5-6. For nighttime air-conditioning mode (8:00 PM – 6:00 AM), it was found that all high-mass walls release the heat accumulated during the daytime, causing a much higher startup cooling load when air-conditioners are on in early evening. The peak of heat transfer rates were found to be 12-13 Btu/hr.ft<sup>2</sup> for 8” brick wall, 10-11 Btu/hr.ft<sup>2</sup> for 8” brick with 4” airgap, and 6-7 Btu/hr.ft<sup>2</sup> for 8”brick with 3”-EIFS. In terms of heat and moisture transfer caused by air infiltration, the average cooling loads in Btu/hr.ft<sup>2</sup> are 1.58 for 8” brick wall and 1.23 for 8” brick with 4” air gap. If 3”-EIFS is applied, a lower value can be achieved. A cooling load reduction of approximately 1 Btu/hr.ft<sup>2</sup> was found in 8” brick installed with 3”-EIFS at the outside.

In conclusion, comparing with low-mass and medium-mass walls in a 24-hour air-conditioning period, if the startup A/C load is neglected; all walls with at least 3”-EIFS have approximately the same amount of cooling loads. However, if A/C is turned on and off during the day, all high-mass walls have much higher startup cooling loads than do low and medium-mass walls. The magnitudes are about 2 times of that in medium-mass walls, and 3 times of that in low-mass walls.

Department: Architecture

Field of study: Architecture

Academic year: 2005

Student’s signature:.....

Advisor’s signature :.....

Co-advisor’s signature:.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและอนุเคราะห์จากบุคคล และสถาบันต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วรสิทธิ์ บูรณากาญจน์ , ผศ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร และ ศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ ที่ช่วยให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงด้วยดี
- คุณพ่อ คุณแม่สำหรับกำลังใจเสมอมา
- พี่แวน พี่มัด สำหรับการช่วยเหลือทุกอย่างทั้งทางด้านวิชาการ และไม่ใช่วิชาการ
- ทีมช่างบริษัท HHEM เซาะ, หงา, บุญ, พี่อ้วน ฯลฯ ที่ช่วยเร่งสร้างห้องทดลอง และสร้างความบันเทิงในยามเครียด
- ที่ขาดไม่ได้คือ จอม, กุ้ง, เอ็ดดี้ เพื่อนๆ ที่ร่วมสุข ร่วมทุกข์ ช่วยเหลือกันทั้งกำลังกาย กำลังใจ กำลังทรัพย์ ต่อสู้ฟันฝ่าอุปสรรค ในการทำวิทยานิพนธ์ตลอด 2 ปีมานี้ให้สำเร็จลุล่วงผ่านพ้นไปได้ด้วยดี
- สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและคณาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
<b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>5</b>
2.1 การถ่ายเทความร้อน.....	5
2.2 อิทธิพลของผิวผนังภายในอาคารที่มีต่อความรู้สึกทางด้านอุณหภูมิ.....	9
2.3 ความหมายของความชื้นและคุณสมบัติของความชื้น.....	11
2.4 การวัดความชื้น.....	11
2.5 การถ่ายเทความชื้น.....	14
2.6 การควบคุมความชื้น.....	16
2.7 ผลกระทบจากความชื้นต่ออาคารและผู้ใช้อาคาร.....	17
2.8 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศที่เกิดจากผนัง.....	19
2.9 การคำนวณภาระการปรับอากาศที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร.....	22
2.10 การคำนวณภาระการปรับอากาศที่เกิดจากการถ่ายเทความชื้นผ่านผนังอาคาร.....	24
2.11 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25

<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>30</b>
3.1 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้บันทึกข้อมูล.....	30
3.2 การตรวจสอบเครื่องมือ.....	35
3.3 การเตรียมวัสดุและติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	36
3.4 แนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
<b>บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....</b>	<b>46</b>
4.1 การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังมวลสารมาก.....	46
4.2 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน.....	88
4.3 การจัดทำฐานข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพผนังอาคาร ที่มีมวลสารมากในการการถ่ายเทความร้อน.....	109
4.4 การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน.....	117
4.5 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนของผนังมวลสารมาก.....	120
4.6 การจัดทำฐานข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพผนังอาคาร มวลสารมากในด้านการถ่ายเทความร้อน.....	126
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>127</b>
5.1 สรุปพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความชื้นของผนังมวลสารมาก.....	127
5.2 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนและความชื้นของผนังมวลสารมาก.....	128
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	130
รายการอ้างอิง.....	147
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	149



ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 2-1 แสดงการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน.....	6
ภาพที่ 2-2 แสดงการพาความร้อน.....	7
ภาพที่ 2-3 แสดงการแผ่รังสีความร้อน.....	8
ภาพที่ 3-1 แสดงการติดตั้ง เครื่อง Scienmetric Data Logger.....	31
ภาพที่ 3-2 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมและทิศทาง.....	32
ภาพที่ 3-3 แสดงเครื่องวัดพลังงานรังสีดวงอาทิตย์.....	33
ภาพที่ 3-4 แสดงอาคารที่ใช้ในการทดลอง.....	34
ภาพที่ 3-5 แสดงการติดตั้งฉนวนใยแก้วความหนา 9 นิ้วบริเวณใต้หลังคา.....	35
ภาพที่ 3-6 แสดงหัว Thermister วัดอุณหภูมิ.....	36
ภาพที่ 3-7 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบความเที่ยงตรงของหัววัดอุณหภูมิ.....	36
ภาพที่ 3-8 แสดงการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ.....	37
ภาพที่ 3-9 แสดงผนังก่ออิฐมอญ 2 ชั้น เว้นช่องอากาศ.....	38
ภาพที่ 3-10 แสดงการติดตั้งฉนวน โฟม EPS หนา 3 นิ้วบนผนังอิฐมอญ 2 ชั้น.....	40
ภาพที่ 4-1 แสดงตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิของผนังอิฐมอญ 2 ชั้น.....	47
ภาพที่ 4-2 แสดงตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิของผนังอิฐมอญ 2 ชั้น เว้นช่องอากาศ.....	47
ภาพที่ 4-3 แสดงตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิของผนังอิฐมอญ 2 ชั้น ติดฉนวน.....	48
ภาพที่ 4-4 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมในการวัดอัตราการรั่วซึมของอากาศ.....	117

## สารบัญตาราง

ญ

หน้า

ตารางที่ 3-1 แสดงคุณสมบัติด้านการต้านทานความร้อนของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น.....	38
ตารางที่ 3-2 แสดงคุณสมบัติด้านการต้านทานความร้อนของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น เว้นช่องอากาศ 4 นิ้ว.....	39
ตารางที่ 3-3 แสดงคุณสมบัติด้านการต้านทานความร้อนของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ติดตั้งโฟม EPS ภายนอกหนา 3 นิ้ว.....	40
ตารางที่ 4-1 แสดงค่า Correlation ของปัจจัยต่างๆที่สัมพันธ์กับปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นเมื่อไม่มีการตัดอิทธิพลของ TimeLag.....	91
ตารางที่ 4-2 แสดงค่า Correlation ของปัจจัยต่างๆที่สัมพันธ์กับปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load)ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นเว้นช่องอากาศ 4 นิ้วเมื่อไม่มีการตัดอิทธิพลของ Time Lag.....	91
ตารางที่ 4-3 แสดงค่า Correlation ของปัจจัยต่างๆที่สัมพันธ์กับปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นติดตั้งหนา 3 นิ้ว เมื่อไม่มีการตัดอิทธิพลของ Time Lag.....	91
ตารางที่ 4-4 แสดงค่า Correlation ของปัจจัยต่างๆที่สัมพันธ์กับปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นเมื่อมีการตัดอิทธิพลของ Time Lag 4 ชั่วโมง.....	92
ตารางที่ 4-5 แสดงค่า Correlation ของปัจจัยต่างๆที่สัมพันธ์กับปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load)ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นเว้นช่องอากาศ 4 นิ้ว เมื่อมีการตัดอิทธิพลของ Time Lag 4 ชั่วโมง.....	92
ตารางที่ 4-6 แสดงค่า Correlation ของปัจจัยต่างๆที่สัมพันธ์กับปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load)ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ติดตั้งหนา 3 นิ้ว เมื่อ มีการตัดอิทธิพลของ Time Lag 4 ชั่วโมง.....	92
ตารางที่ 4-7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทำนาย Sensible Load ของวัสดุทดสอบแต่ละทิศทาง.....	106
ตาราง 4-8 แสดงค่า Correlation ของปัจจัยต่างๆที่สัมพันธ์กับปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังมวลสารมากทั้งหมดที่ทำการทดสอบ เมื่อ มีการตัดอิทธิพลของ Time Lag 4 ชั่วโมง.....	107
ตารางที่ 4-9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทำนายการรั่วซึมของอากาศ.....	124

ตารางที่ 5-1	สรุปคุณสมบัติของผนังมวลสารมากในสภาวะที่มีการปรับอากาศ	
ในช่วงเวลาต่างๆ.....		143
ตารางที่ 5-2	สรุปคุณสมบัติของผนังมวลสารปานกลางในสภาวะที่มีการปรับอากาศ	
ในช่วงเวลาต่างๆ.....		144
ตารางที่ 5-3	สรุปคุณสมบัติของผนังมวลสารน้อยในสภาวะที่มีการปรับอากาศ	
ในช่วงเวลาต่างๆ.....		145

## สารบัญแผนภูมิ

๕

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 2-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมมุติฐานความขึ้น ของวัสดุต่างๆ และความขึ้นสัมพัทธ์.....	20
แผนภูมิที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอิฐมวลเบา ในทิศเหนือ,ใต้,ตะวันออก,ตะวันตก โดยเก็บข้อมูลในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ วันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	49
แผนภูมิที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอิฐมวลเบา เว้นช่องว่างอากาศ 4 นิ้วในทิศเหนือ,ใต้,ตะวันออก,ตะวันตก โดยเก็บข้อมูล ในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ วันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	51
แผนภูมิที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอิฐมวลเบา ติดฉนวนหนา 3 นิ้วภายนอก ในทิศเหนือ,ใต้,ตะวันออก,ตะวันตก โดยเก็บข้อมูล ในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ วันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	53
แผนภูมิที่ 4-4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังมวลสารมาก ในทิศตะวันตก โดยเก็บข้อมูลในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ วันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	55
แผนภูมิที่ 4-5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของผนังอิฐมวลเบา ในทิศเหนือ,ใต้,ตะวันออก,ตะวันตก โดยเก็บข้อมูลในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ วันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	57
แผนภูมิที่ 4-6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของผนังอิฐมวลเบา เว้นช่องว่างอากาศ 4 นิ้วในทิศเหนือ,ใต้,ตะวันออก,ตะวันตก โดยเก็บข้อมูล ในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ วันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	59
แผนภูมิที่ 4-7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอิฐมวลเบา ติดฉนวนหนา 3 นิ้วภายนอก ในทิศเหนือ,ใต้,ตะวันออก,ตะวันตก โดยเก็บข้อมูล ในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ วันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	61
แผนภูมิที่ 4-8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของผนังมวลสารมาก ในทิศตะวันตก โดยเก็บข้อมูลในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้.....	63
แผนภูมิที่ 4-9 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังอิฐมวลเบา ในทิศตะวันตก โดยเก็บข้อมูลในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ วันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	65

แผนภูมิประกอบ

แผนภูมิที่ 4-10 แสดงพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น  
ทิศตะวันตกในช่วงเวลาต่างๆ.....66

แผนภูมิที่ 4-11 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น  
เว้นช่องว่างอากาศ 4 นิ้ว ในทิศตะวันตก โดยเก็บข้อมูล  
ในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ วันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....68

แผนภูมิที่ 4-12 แสดงพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น  
เว้นช่องว่างอากาศ 4 นิ้ว ทิศตะวันตกในช่วงเวลาต่างๆ.....69

แผนภูมิที่ 4-13 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น  
ติดฉนวนหนา 3 นิ้ว ภายนอก ในทิศตะวันตก โดยเก็บข้อมูล  
ในช่วงดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ วันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....71

แผนภูมิที่ 4-14 แสดงพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น  
ติดฉนวนหนา 3 นิ้ว ภายนอก ทิศตะวันตกในช่วงเวลาต่างๆ.....72

แผนภูมิที่ 4-15 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load)  
ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ในทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก, ตะวันตก  
ข้อมูลวันที่ 22-24 มีนาคม 2548..... 74

แผนภูมิที่ 4-16 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load)  
ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น เว้นช่องว่างอากาศ 4 นิ้ว ในทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก, ตะวันตก  
ข้อมูลวันที่ 22-24 มีนาคม 2548..... 76

แผนภูมิที่ 4-17 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load)  
ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ติดฉนวนหนา 3 นิ้ว ภายนอก ในทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก, ตะวันตก  
ข้อมูลวันที่ 22-24 มีนาคม 2548..... 78

แผนภูมิที่ 4-18 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load)  
ของผนังมวลสารมากที่ทำการทดสอบ 3 ชนิด ในทิศตะวันตก  
ข้อมูลวันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....80

แผนภูมิที่ 4-19 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิว โดยรอบ (MRT)  
ที่ส่งผลต่อความรู้สึกทางด้านอุณหภูมิของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น  
ข้อมูลวันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....83

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 4-20 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT) ที่ส่งผลต่อความรู้สึกทางด้านอุณหภูมิของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น เว้นช่องอากาศ 4 นิ้ว ข้อมูลวันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	84
แผนภูมิที่ 4-21 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT) ที่ส่งผลต่อความรู้สึกทางด้านอุณหภูมิของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ติดฉนวนภายนอกหนา 3 นิ้ว ข้อมูลวันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	85
แผนภูมิที่ 4-22 แสดงการเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT) ที่ส่งผลต่อความรู้สึกทางด้านอุณหภูมิ ของผนังมวลสารมากที่ทำการทดสอบ ข้อมูลวันที่ 22-24 มีนาคม 2548.....	86
แผนภูมิที่ 4-23 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอก.....	89
แผนภูมิที่ 4-24 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วม.....	90
แผนภูมิที่ 4-25 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ทิศเหนือจากข้อมูลที่ได้จากสมการทำนาย เปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง โดยทำการตัดอิทธิพลจาก Time Lag 4 ชม.....	94
แผนภูมิที่ 4-26 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ทิศใต้จากข้อมูลที่ได้จากสมการทำนาย เปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง โดยทำการตัดอิทธิพลจาก Time Lag 4 ชม.....	95
แผนภูมิที่ 4-27 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ทิศตะวันออกจากข้อมูลที่ได้จากสมการทำนาย เปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง โดยทำการตัดอิทธิพลจาก Time Lag 4 ชม.....	96
แผนภูมิที่ 4-28 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ทิศตะวันตกจากข้อมูลที่ได้จากสมการทำนาย เปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง โดยทำการตัดอิทธิพลจาก Time Lag 4 ชม.....	97
แผนภูมิที่ 4-29 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น เว้นช่องอากาศ 4 นิ้ว ทิศเหนือจากข้อมูลที่ได้จากสมการ ทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง โดยทำการตัดอิทธิพลจาก Time Lag 4 ชม.....	98
แผนภูมิที่ 4-30 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น เว้นช่องอากาศ 4 นิ้ว ทิศใต้จากข้อมูลที่ได้จากสมการ ทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง โดยทำการตัดอิทธิพลจาก Time Lag 4 ชม.....	99

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 4-31 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ผนังช่องอากาศ 4 นิ้ว ทิศตะวันออกจากข้อมูลที่ได้จากสมการ ทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง โดยทำการตัดอิทธิพลจาก Time Lag 4 ชม.....	100
แผนภูมิที่ 4-32 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ผนังช่องอากาศ 4 นิ้ว ทิศตะวันตกจากข้อมูลที่ได้จากสมการ ทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง โดยทำการตัดอิทธิพลจาก Time Lag 4 ชม.....	101
แผนภูมิที่ 4-33 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ตัดฉนวนภายนอกหนา 3 นิ้ว ทิศเหนือจากข้อมูลที่ได้จากสมการ ทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง.....	102
แผนภูมิที่ 4-34 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ตัดฉนวนภายนอกหนา 3 นิ้ว ทิศใต้จากข้อมูลที่ได้จากสมการ ทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง.....	103
แผนภูมิที่ 4-35 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ตัดฉนวนภายนอกหนา 3 นิ้ว ทิศตะวันออกจากข้อมูลที่ได้จากสมการ ทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง.....	104
แผนภูมิที่ 4-36 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ตัดฉนวนภายนอกหนา 3 นิ้ว ทิศตะวันตกจากข้อมูลที่ได้จากสมการ ทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง.....	105
แผนภูมิที่ 4-37 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังมวลสารมากจากข้อมูลที่ได้จากสมการ ทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง.....	108
แผนภูมิที่ 4-38 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังมวลสารมากในทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก, ตะวันตกเฉลี่ยใน 24 ชม. ที่ได้จากสมการ ทำนายเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U).....	110
แผนภูมิที่ 4-39 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังมวลสารมาก ในทิศเหนือเฉลี่ยใน 24 ชม. เปรียบเทียบกับเมื่อมีการปรับสภาพแวดล้อมภายนอกที่ทำให้อุณหภูมิอากาศภายนอกลดลง.....	112

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 4-40 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังมวลสารมากในทิศใต้เฉลี่ยใน 24 ชม.เปรียบเทียบกับเมื่อมีการปรับปรุงทิศทางสภาพแวดล้อมภายนอกจากรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก.....	113
แผนภูมิที่ 4-41 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังมวลสารมาก ในทิศตะวันออกเฉลี่ยใน 24 ชม.เปรียบเทียบกับเมื่อมีการปรับปรุงทิศทางสภาพแวดล้อมภายนอกจากรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก.....	114
แผนภูมิที่ 4-42 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Sensible Load) ของผนังมวลสารมาก ในทิศตะวันตกเฉลี่ยใน 24 ชม.เปรียบเทียบกับเมื่อมีการปรับปรุงทิศทางสภาพแวดล้อมภายนอกจากรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก.....	115
แผนภูมิที่ 4-43 แสดงปริมาณการรั่วซึมของอากาศของผนังมวลสารมากเทียบกับความเร็วลมภายนอก.....	118
แผนภูมิที่ 4-44 แสดงการทำนายการรั่วซึมของอากาศของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นจากความเร็วลมภายนอก.....	121
แผนภูมิที่ 4-45 แสดงการทำนายการรั่วซึมของอากาศของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นเว้นช่องว่างอากาศจากความเร็วลมภายนอก.....	122
แผนภูมิที่ 4-46 แสดงการทำนายการรั่วซึมของอากาศของผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นติดฉนวนหนา 3 นิ้วภายนอกจากความเร็วลมภายนอก.....	123
แผนภูมิที่ 4-47 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนและความชื้นเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศของวัสดุผนังประเภทต่างๆ เฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง.....	125
แผนภูมิที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนและปริมาณการถ่ายเทความชื้น เฉลี่ยใน 1 วัน ของผนังมวลสารมากที่ทำการทดสอบ 3 ชนิด.....	129
แผนภูมิที่ 5-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายในของรูปแบบผนังที่นิยมใช้ทั่วไปมวลสารมาก กลาง น้อยในสถานะที่มีการจำลองการใช้งานของอาคารพักอาศัย .....	131
แผนภูมิที่ 5-3 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายในของรูปแบบผนังมวลสารมาก กลาง น้อยเมื่อมีการติดฉนวน ในสถานะที่มีการจำลองการใช้งานของอาคารพักอาศัย.....	133
แผนภูมิที่ 5-4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของรูปแบบผนังที่นิยมใช้กันทั่วไปมวลสารมาก กลาง น้อยในสถานะที่มีการจำลองการใช้งานของอาคารสำนักงาน.....	135



แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 5-5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของผนังมวลสารน้อย กลาง มาก เมื่อมีการติดฉนวนสถานะที่มีการจำลองการใช้งานของอาคารสำนักงาน.....	137
แผนภูมิที่ 5-6 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายในของรูปแบบผนังที่นิยมใช้ทั่วไป มวลสารมาก กลาง น้อยในสถานะที่ไม่ปรับอากาศตลอด 24 ช.ม.....	139
แผนภูมิ 5-7 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายในของผนังมวลสารมาก กลาง น้อย เมื่อมีการติดฉนวน ในสถานะที่ไม่ปรับอากาศตลอด 24 ช.ม.....	141