

การประเมินประสิทธิภาพผนังอาคารมวลสารน้อยสำหรับอาคารปรับอากาศ
เขตภูมิอากาศร้อนชื้น



นางสาว ชนิตา สืบพานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2396-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EVALUATION OF WALL EFFICIENCY IN AIR-CONDITIONED FOR LOW MASS BUILDING
IN HOT HUMID CLIMATE

Miss Chanida Suebpanich

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

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic year 2005

ISBN 974-53-2396-9

ชนิดา สืบพานิช : การประเมินประสิทธิภาพผนังอาคารมวลสารน้อยสำหรับอาคารปรับอากาศเขต
ภูมิอากาศร้อนชื้น (THE EVALUATION OF WALL EFFICIENCY IN AIR-CONDITIONED
FOR LOW MASS BUILDING IN HOT HUMID CLIMATE) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.อรรถนัย
เศรษฐบุตร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร. วรสิทธิ์ บูรณากาญจน์ .166 หน้า. ISBN 974-53-2396-9.

การวิจัยนี้เป็นการทดลองในสภาพการใช้งานจริง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและ
ความชื้นของผนังมวลสารน้อย(น้ำหนักไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) 3 ประเภทในอาคารปรับอากาศ
โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) อยู่ระหว่าง 0.3 - 0.45 Btu/hr.ft².°F3 ได้แก่ 1) ผนังไม้ฝา
สำเร็จรูป (U = 0.34Btu/ft².hr.°F) 2) ผนังอลูมิเนียมเคลดคั้ง (U = 0.43 Btu/ft².hr.°F) และ3) ผนัง3"-EIFS
(Exterior Insulation and Finished System, U = 0.07 Btu/ft².hr.°F)

การศึกษากฎการถ่ายเทความร้อนพบว่า ผนังมวลสารน้อยทั้ง 3 ประเภทมีระยะเวลาการ
หน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag)น้อยกว่า 1 ชั่วโมง กรณีปรับอากาศ 24 ชั่วโมงผนังมวลสารน้อยที่ไม่ติด
ฉนวนและติดฉนวน 3"-EIFS สามารถลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในช่วง
สูงสุดลงได้ร้อยละ 20-30 และ80-85 ตามลำดับ กรณีเปิดเครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 8:00-18:00 น. ผนังมวล
สารน้อยมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของผนังอลูมิเนียมเคลดคั้ง (24-26 Btu/hr.ft²)ผนังไม้ฝาสำเร็จรูป
(19-20 Btu/hr.ft²) และผนัง EIFS (6-7 Btu/hr.ft²) ในกรณีปิดเครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 20:00-6:00 น. ผนัง
มวลสารน้อยจะคายความร้อนที่สะสมในช่วงกลางวันอย่างรวดเร็วส่งผลให้มีภาระการทำความเย็นในช่วง
เริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศต่ำโดยมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของผนังอลูมิเนียมเคลดคั้ง (4-5 Btu/hr.ft²)
ผนังไม้ฝาสำเร็จรูป (5-6 Btu/hr.ft²) และผนัง EIFS (3-4 Btu/hr.ft²) การศึกษาการถ่ายเทความร้อนขึ้นจากการ
ร่วซึมของอากาศพบว่าภาระการทำความเย็นจากการร่วซึมของอากาศเฉลี่ย ของผนังไม้ฝาสำเร็จรูปเท่ากับ
5.62 Btu/hr.ft² ผนัง EIFSเท่ากับ 0.67 Btu/hr. ft² และผนังอลูมิเนียมเคลดคั้งเท่ากับ 0.25 Btu/hr. ft²

ผลการวิจัยสรุปว่า กรณีปรับอากาศ 24 ชั่วโมง เมื่อไม่พิจารณาภาระการทำความเย็นในช่วงเริ่มเปิด
เครื่องปรับอากาศ ผนังที่มีการติดฉนวน 3"-EIFS ของทุกมวลสารจะมีภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกัน
แต่ในกรณีที่มีการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศพบว่า ผนังมวลสารน้อยมีภาระการทำความเย็นในช่วงเริ่มเปิด
เครื่องปรับอากาศต่ำกว่าผนังมวลสารปานกลาง 2 เท่า และต่ำกว่าผนังมวลสารมาก 3 เท่า

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์
สาขาวิชา สถาปัตยกรรม
ปีการศึกษา 2548

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

4674114825 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: LOW MASS EXTERNAL WALL / COOLING LOAD / HEAT TRANSFER / INFILTRATION

CHANIDA SUEBPANICH : THE EVALUATION OF WALL EFFICIENCY IN AIR-CONDITIONED FOR LOW MASS BUILDING IN HOT HUMID CLIMATE. THESIS


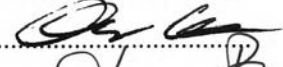

ADVISOR : ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. VORASUN BURANAKARN, Ph.D., 166 pp. ISBN 974-53-2396-9.

This experimental research was conducted in actual conditions in order to investigate the heat and moisture transfer performances of low-mass exterior walls (weighting less than 50 kg/m² square meter) 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/hr.ft².⁰F. The experiment was performed in a test chamber for 3 types of exterior wall constructions, which are 1) fiber-cement wall (or SHERA wall, U=0.34 Btu/hr.ft².⁰F.), 2) aluminum cladding wall (U=0.43 Btu/hr.ft².⁰F.), 3) 3"-EIFS (Exterior Insulation and Finished System, U=0.07 Btu/hr.ft².⁰F.)

The results indicated that the time lag of all types of low-mass walls are less than 1 hours. In the case of 24-hour air-conditioning mode, the use of low-mass walls can reduce the maximum indoor/outdoor temperature differentials by 20-30 %, whereas an addition of 3"-EIFS can reduce those temperature differentials by 80-85 %. In case of daytime air-conditioning mode (8:00 AM and 6:00 PM), The peak of heat transfer rates in Btu/hr.ft² for aluminum cladding wall is 24-26, SHERA wall, 19-20, and EIFS, 6-7. For nighttime air-conditioning mode (8:00 PM – 6:00 AM), it was found that all low-mass walls can rapidly release the heat accumulated during the daytime, causing a much lower startup cooling loads when air-conditioner are on in early evening. The peak of heat transfer rates were found to be 4-5 Btu/hr.ft² for aluminum cladding, 5-6 Btu/hr.ft² for SHERA, and 3-4 Btu/hr.ft² for EIFS. In term of heat and moisture transfer caused by air infiltration, the average cooling loads in Btu/hr.ft² is 5.62 for SHERA. Much lower values are found in EIFS and aluminum cladding wall, which are 0.67 and 0.25 respectively.

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

Department Architecture
Field of study Architecture
Academic year 2005

Student's signature.....
Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยร่วมระหว่างนิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้รับคำปรึกษาและความอนุเคราะห์ที่ดีจาก ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ ร.ศ. ดร.วรสันต์ บุรณากาญจน์ และ ผ.ศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร ทั้งให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดการวิจัย

การวิจัยนี้จะสมบูรณ์มิได้ หากขาดการสนับสนุนของบุคคลและหน่วยงานเหล่านี้

- เพื่อนๆร่วมวิจัยทั้ง 4 ท่าน ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุขและเป็นกำลังใจให้เสมอเมื่อท้อแท้ อีกทั้งยังฝ่าฝืนอุปสรรคเรื่อยมา
- ช่าง บริษัท HHEM ทุกท่านที่ช่วยเหลือจนอาคารวิจัยเป็นรูปเป็นร่างขึ้น
- คุณ รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ ที่เป็นทั้งพี่และอาจารย์ ไปพร้อมๆกัน
- คุณ ณรงค์ฤทธิ์ที่มาเยี่ยมเยียนและให้ความช่วยเหลือตลอดเวลา
- บริษัท แม่น้ำ และ บริษัท MNCHAI ที่สนับสนุนแผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต ATIS พร้อมคำแนะนำจาก คุณ สมชัย และ คุณ สุทธิ เกี่ยวกับการวิจัย
- สถาบัน AIT ที่ให้คำอธิบายในการใช้อุปกรณ์จนกระจ่าง

ท้ายนี้ กำลังใจที่ดีและเงินสนับสนุนจากครอบครัว สืบพานิช เป็นเสมือนพลังในการต่อสู้ เพื่อให้การวิจัยนี้บรรลุเป็นผลสำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญแผนภูมิ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	3
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	3
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย	6
1.6 ลำดับและขั้นตอนในการเสนอการวิจัย	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับความร้อน	9
2.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับความชื้น	14
2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศที่เกิดจากผนัง	19
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	36
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	36
3.2 การตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	40
3.3 การเตรียมการทดลองและติดตั้งเครื่องมือในการทดลอง	42
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	53

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	60
4.1 การวิเคราะห์ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและ ความชื้นของวัสดุมวลสารน้อย	60
4.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและหาตัวแปรที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเท ความร้อนของวัสดุมวลสารน้อย	61
4.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและหาตัวแปรที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเท ความชื้นของวัสดุมวลสารน้อย	123
4.4 การวิเคราะห์ภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของผนังมวลสารน้อย	144
 บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป	146
5.2 แนวทางในการปรับปรุงผนังมวลสารน้อยให้สามารถตอบสนองการใช้งานได้อย่าง เหมาะสม	161
 รายการอ้างอิง	164
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	166

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงความต้องการกระแสไฟฟ้าจำแนกตามประเภทของผู้ใช้รวมทั้งประเทศ พ.ศ. 2542	1
รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบต่างๆของพลังงานความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์	12
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมมูลย์ความร้อนของวัสดุต่างๆ และความร้อนสัมพัทธ์	25
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ Scienmetric Data Logger	37
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความเร็วและทิศทางการลม	37
รูปที่ 3.3 แสดงการป้อนข้อมูลของเครื่อง Opus 2000	38
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดพลังงานรังสีดวงอาทิตย์	39
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความเร็วลม	39
รูปที่ 3.6 หัววัดอุณหภูมิ Thermister	40
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการตรวจสอบความเที่ยงตรงของหัววัดอุณหภูมิ	41
รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้งผนังไม้ฝาสำเร็จรูป	42
รูปที่ 3.9 รูปตัดแสดงโครงสร้างของผนังไม้ฝาสำเร็จรูปและการติดตั้ง	42
รูปที่ 3.10 การติดตั้งผนังอลูมิเนียมเคลดคิง	45
รูปที่ 3.11 รูปตัดแสดงโครงสร้างของผนังอลูมิเนียมเคลดคิง	45
รูปที่ 3.12 แสดงการติดตั้งผนัง EIFS	46
รูปที่ 3.13 แสดงส่วนประกอบของผนัง EIFS	46
รูปที่ 3.14 การติดตั้งผนังทั้ง 3 ประเภท โดยติดตั้งบริเวณชั้น 2 ของห้องทดลองทั้ง 4 ทิศ	48
รูปที่ 3.15 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิบริเวณผิวภายในของผนังทดสอบ	49
รูปที่ 3.16 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกบริเวณภายในของห้องทดสอบ	49
รูปที่ 3.17 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกบริเวณภายนอกห้องทดสอบ	50
รูปที่ 3.18 การติดตั้งเครื่องวัดลมไว้บนหลังคา	50
รูปที่ 3.19 แสดงการติดตั้งฉนวนกันความร้อนบริเวณใต้หลังคา	51
รูปที่ 3.20 แสดงการฉีค่นฉนวน โฟม PU กันความร้อนบริเวณพื้น	52
รูปที่ 3.21 บรรยากาศภายในห้องทดลอง	52
รูปที่ 3.22 บรรยากาศภายนอกห้องทดลอง	52

บทที่	หน้า
รูปที่ 3.23 แสดงแนวทางการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย	53
รูปที่ 3.24 แสดงการจำลองการติดตั้งเครื่องมือวัดลมของผนังทดสอบ	56
รูปที่ 3.25 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดลมและกระโจมลมที่ผนังทดสอบ	57
รูปที่ 3.26 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดลมที่ปากกระโจมลม	57
รูปที่ 3.27 แสดงการติดตั้งหัวเซนเซอร์ตามตำแหน่งต่างๆของผนัง	58
รูปที่ 4.1 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดลมของผนังทดสอบ	123

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการขยายตัวเศรษฐกิจ และ การใช้พลังงานไฟฟ้า	1
ตารางที่ 3.1	ตารางสรุปค่าการต้านทานความร้อนของผนังไม้ฝาสำเร็จรูป	47
ตารางที่ 3.2	ตารางสรุปค่าการต้านทานความร้อนของผนัง EIFS	47
ตารางที่ 3.3	ตารางสรุปค่าการต้านทานความร้อนของผนังอลูมิเนียมเคลดคิง	48
ตารางที่ 5.1	สรุปคุณสมบัติของผนังมวลสารน้อย ในสถานะที่มีการปรับอากาศช่วงเวลาต่างๆ	163

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งวัด โดย Pyranometer ในลักษณะตั้งฉากกับพื้นดิน	63
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงความเร็วลมและทิศทางแบ่งตามช่วงเวลา	64
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังไม้ฝาสำเร็จรูปทางทิศตะวันตกในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงในช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น. ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	66
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังไม้ฝาสำเร็จรูปทางทิศตะวันตกในช่วงเวลาต่างๆในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงในช่วงเวลา 0:00 - 22:00 น.ของวันที่ 23 มีนาคม 2548	67
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของผนังEIFS ทางทิศตะวันตกในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงในช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น.ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	69
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนัง EIFS ทางทิศตะวันตกในช่วงเวลาต่างๆในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงในช่วงเวลา 0:00 - 22:00 น.ของวันที่ 23 มีนาคม 2548	70
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังอลูมิเนียมเคลดคิงทางทิศตะวันตกในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงในช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น.ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	72
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอลูมิเนียมเคลดคิงทางทิศตะวันตกในช่วงเวลาต่างๆในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงในช่วงเวลา 0:00 - 22:00 น.ของวันที่ 23 มีนาคม 2548	73
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวผนังภายนอกของผนังไม้ฝาสำเร็จรูป ทั้ง 4 ทิศในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงในช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น.ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	75
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวผนังภายในของ ผนังไม้ฝาสำเร็จรูป ทั้ง 4 ทิศในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น.ของ วันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	76

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวหนังภายนอกของผนัง EIFS ทั้ง 4 ทิศในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น. ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	78
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวหนังภายในของผนัง EIFS ทั้ง 4 ทิศในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น. ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	79
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวหนังภายนอกของผนังอลูมิเนียมเคลดคิงทั้ง 4 ทิศในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น. ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	81
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวหนังภายในของผนังอลูมิเนียมเคลดคิง ทั้ง 4 ทิศในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น. ของ วันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	82
แผนภูมิที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวหนังภายนอกทางทิศตะวันตกของผนังมวลสารน้อยทั้ง 3 ประเภท ในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น. ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	84
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวหนังภายในทางทิศตะวันตกของผนังมวลสารน้อยทั้ง 3 ประเภท ในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น. ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	85
แผนภูมิที่ 4.17 แสดง MRT ของผนังมวลสารน้อยเปรียบเทียบกับขอบเขตสถานะน่าสบาย	87
แผนภูมิที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิเสมือนของผนังมวลสารน้อยเปรียบเทียบกับขอบเขตสถานะน่าสบาย	88
แผนภูมิที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังไม้ฝาสำเร็จรูป ทั้ง 4 ทิศในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น. ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	89
แผนภูมิที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังEIFS ทั้ง 4 ทิศในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น. ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	90

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังอลูมิเนียมเคลดคิง ทั้ง 4 ทิศ ในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 - 12:00 น.ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	91
แผนภูมิที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังมวลสารน้อยทั้ง 3 ประเภททางทิศ ตะวันตกในสภาวะการจำลองการใช้งานอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ช่วงเวลา 0:00 – 12:00 น.ของวันที่ 23 - 24 มีนาคม 2548	92
แผนภูมิที่ 4.23 แสดงการห้วงเหนี่ยวความร้อนของผนังทดสอบ	94
แผนภูมิที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบTemperature Swing ของผิวภายนอกและผิวภายในผนัง ทดสอบในอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชม.	95
แผนภูมิที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังมวลสารน้อยทั้ง ประเภททดสอบในอาคารปรับอากาศตลอด 24 ชม.	96
แผนภูมิที่ 4.26 แสดงSensible Load ของผนังไม้ฝาสำเร็จรูปทางทิศเหนือที่ได้มาจากสมการทำนาย เทียบกับค่าที่วัดจริงในช่วงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	99
แผนภูมิที่ 4.27 แสดงSensible Load ของผนังไม้ฝาสำเร็จรูปทางทิศใต้ที่ได้มาจากสมการทำนาย เทียบกับค่าที่วัดจริง ในช่วงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	100
แผนภูมิที่ 4.28 แสดงSensible Load ของผนังไม้ฝาสำเร็จรูปทางทิศตะวันออกที่ได้มาจากสมการ ทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริงในช่วงเวลา เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึง เวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	101
แผนภูมิที่ 4.29 แสดงSensible Load ของผนังไม้ฝาสำเร็จรูปทางทิศตะวันตก ที่ได้มาจากสมการ ทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริงในช่วงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	102
แผนภูมิที่ 4.30 แสดงSensible Load ของผนังไม้ฝาสำเร็จรูปทั้ง 4 ทิศ ที่ได้มาจากสมการทำนาย เทียบกับค่าที่วัดจริงในช่วงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	103

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.31 แสดงSensible Load ของผนัง EIFS ทางทิศเหนือ ที่ได้มาจากสมการทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริงในช่วง เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	104
แผนภูมิที่ 4.32 แสดงSensible Load ของผนัง EIFS ทิศใต้ ที่ได้มาจากสมการทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริงโดยทำการตัดช่วงอิทธิพลจาก Time Lag ของข้อมูล 2 ช.ม. เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	105
แผนภูมิที่ 4.33 แสดงSensible Load ของผนัง EIFS ทิศตะวันออก ที่ได้มาจากสมการทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริง โดยทำการตัดช่วงอิทธิพลจาก Time Lag ของข้อมูล 2 ช.ม. เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	106
แผนภูมิที่ 4.34 แสดงSensible Load ของผนัง EIFS ทางทิศตะวันตก ที่ได้มาจากสมการทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริง โดยทำการตัดช่วงอิทธิพลจาก Time Lag ของข้อมูล 2 ช.ม. เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	107
แผนภูมิที่ 4.35 แสดงSensible Load ของผนัง EIFS ทั้ง 4 ทิศ ที่ได้มาจากสมการทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริง โดยทำการตัดช่วงอิทธิพลจาก Time Lag ของข้อมูล 2 ช.ม. เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	108
แผนภูมิที่ 4.36 แสดงSensible Load ของผนังอลูมิเนียมเคลดคิ้วทิศเหนือที่ได้มาจากสมการทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริง โดยทำการตัดช่วงอิทธิพลจาก Time Lag ของข้อมูล 1 ช.ม. เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	109
แผนภูมิที่ 4.37 แสดงSensible Load ของผนังอลูมิเนียมเคลดคิ้วทางทิศใต้ ที่ได้มาจากสมการทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริง โดยทำการตัดช่วงอิทธิพลจาก Time Lag ของข้อมูล 1 ช.ม. เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	110
แผนภูมิที่ 4.38 แสดงSensible Load ของผนังอลูมิเนียมเคลดคิ้วทางทิศตะวันออก ที่ได้มาจากสมการทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริง โดยทำการตัดช่วงอิทธิพลจาก Time Lag ของข้อมูล 1 ช.ม. เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	111

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.39 แสดงSensible Load ของผนังอลูมิเนียมเคลดคั้งทางทิศตะวันตก ที่ได้มาจาก สมการทำนายเทียบกับค่าที่วัดจริง โดยทำการตัดช่วงอิทธิพลจาก Time Lag ของ ข้อมูล 1 ช.ม. เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	112
แผนภูมิที่ 4.40 แสดงSensible Load ของผนังอลูมิเนียมเคลดคั้งทั้ง 4 ทิศ ที่ได้มาจากสมการทำนาย เทียบกับค่าที่วัดจริง โดยทำการตัดช่วงอิทธิพลจาก Time Lag ของข้อมูล 1 ช.ม. เวลา 0:00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2548 ถึงเวลา 0:00 น. ของวันที่ 25 มีนาคม 2548	113
แผนภูมิที่ 4.41 แสดงSensible Load ของผนังมวลสารน้อยทั้ง 3 ประเภท ที่ได้มาจากสมการทำนาย เทียบกับค่าที่วัดจริง โดยทำการตัดช่วงอิทธิพลจากTime Lag โดยทำการใช้ข้อมูล ของวันที่ 19 - 25 มีนาคม 2548	114
แผนภูมิที่ 4.42 แสดงSensible Load ของผนังมวลสารน้อยทั้ง 3 ประเภท ที่ได้มาจากสมการทำนาย เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) โดยทำการใช้ข้อมูลของวันที่ 19 - 25 มีนาคม 2548	117
แผนภูมิที่ 4.43 ความสัมพันธ์ของปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม ภายนอกและมีการบังshading กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังมวล สารน้อยทิศเหนือในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ช.ม.	118
แผนภูมิที่ 4.44 ความสัมพันธ์ของปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม ภายนอกและมีการบังshadingกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังมวลสาร น้อยทิศใต้ในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ช.ม.	119
แผนภูมิที่ 4.45 ความสัมพันธ์ของปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม ภายนอกและมีการบังshading กับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังมวล สารน้อยทิศตะวันออกในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ช.ม.	120
แผนภูมิที่ 4.46 ความสัมพันธ์ของปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม ภายนอกและมีการบังshading กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังมวล สารน้อยทิศตะวันตกในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ช.ม.	121
แผนภูมิที่ 4.47 ความสัมพันธ์ของปริมาณการถ่ายเทความร้อนกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท ความร้อนของผนังมวลสารน้อยในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ช.ม.	122

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.48 แสดงความเร็วลมที่ผ่านทางผนัง ไม้ฝาสำเร็จรูป และความเร็วลมภายนอกที่ตก กระทบผนังรายชั่วโมง โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 23:00 น.ของวันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	124
แผนภูมิที่ 4.49 แสดงความเร็วลมที่ผ่านทางผนัง EIFS และความเร็วลมภายนอกที่ตกกระทบผนัง รายชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 23:00 น.ของวันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	125
แผนภูมิที่ 4.50 แสดงความเร็วลมที่ผ่านทางผนังอลูมิเนียมเคลดคั้งและความเร็วลมภายนอกที่ตก กระทบผนังรายชั่วโมง โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 23:00 น.ของวันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	126
แผนภูมิที่ 4.51 แสดงความเร็วลมผ่านทางมวลสารน้อยทั้ง 3 ประเภทและความเร็วลมภายนอกที่ตก กระทบผนังรายชั่วโมง โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 23:00 น.ของวันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	127
แผนภูมิที่ 4.52 แสดงความเร็วลมที่ผ่านทางผนัง ทั้ง 3 ประเภทโดยวัดที่ปาก chamber ขนาด 0.05*0.05 รายชั่วโมง โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 23:00 น.ของวันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	129
แผนภูมิที่ 4.53 เปรียบเทียบอัตราส่วนมวลไอน้ำในอากาศต่อมวลอากาศแห้งภายนอกและภายใน อาคารทดลองโดยเก็บข้อมูลตั้งแต่ช่วง 23:00 น.ของวันที่ 25 พฤษภาคม 2548 ถึง เวลา 19:00 น.ของวันที่ 27 พฤษภาคม 2548	131
แผนภูมิที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมของผนังไม้ฝา สำเร็จรูปโดยอัตราการรั่วซึม เฉลี่ยเท่ากับ 1.65 cfm โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ เวลา 23:00 น.ของวันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	133
แผนภูมิที่ 4.55 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมของผนัง EIFS โดย อัตราการรั่วซึมเฉลี่ยเท่ากับ 0.02 cfm โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 23:00 น. ของวันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	134
แผนภูมิที่ 4.56 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมของ ผนังอลูมิเนียม เคลดคั้ง โดยอัตราการรั่วซึมเฉลี่ยเท่ากับ 0.008 cfm โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ เวลา 23:00 น.ของวันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	135

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.57 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมของผนังมวลสาร น้อยทั้ง 3 ประเภทโดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 23:00 น.ของวันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	136
แผนภูมิที่ 4.58 แสดงปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านผนังมวลสารน้อย	137
แผนภูมิที่ 4.59 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอากาศที่รั่วซึมผ่านผนังไม้ฝาสำเร็จรูป(CFM)กับ ความเร็วลมอากาศภายนอก (FPM) โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 23:00 น.ของ วันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	140
แผนภูมิที่ 4.60 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอากาศที่รั่วซึมผ่านผนัง EIFS(CFM) กับความเร็ว ลมอากาศภายนอก (FPM) โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 23:00 น.ของวันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	141
แผนภูมิที่ 4.61 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอากาศที่รั่วซึมผ่านผนังอลูมิเนียมเคลดคิง(CFM) กับ ความเร็วลมอากาศภายนอก (FPM) โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 23:00 น.ของ วันที่ 25 พ.ค. 2548 - 12:00 น. ของวันที่ 27 พ.ค. 2548	142
แผนภูมิที่ 4.62 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นของผนังมวลสารน้อยทั้ง 3 ประเภทเฉลี่ยใน 24 ชม.	144
แผนภูมิที่ 4.63 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นสูงสุดของผนังมวลสารน้อยทั้ง 3 ประเภท.....	145
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงปริมาณการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ยต่อพื้นที่ผนัง 1 ตารางเมตร	150
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนและความชื้นเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศ ของวัสดุประเภทต่างๆเฉลี่ยใน 24 ชม.เทียบพื้นที่ผนัง 1 ตารางเมตร	151
แผนภูมิที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการถ่ายเทความร้อนและความชื้นของวัสดุ ประเภทต่างๆในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม.	152
แผนภูมิที่ 5.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายนอกและภายในของรูปแบบผนังมวลสาร น้อยที่นิยมใช้ทั่วไปเปรียบเทียบกับเมื่อมีการติดฉนวนในสภาวะที่มีการจำลองการ ใช้งานของอาคารสำนักงาน (เปิดเครื่องปรับอากาศกลางวัน เวลา 8.00-18.00 น.)	154

แผนภูมิประกอบ	หน้า
แผนภูมิที่ 5.5 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน(Sensible Load) ในช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศของรูปแบบผนังมวลสารน้อยที่นิยมใช้ทั่วไปเปรียบเทียบกับเมื่อมีการติดฉนวนในสถานะที่มีการจำลองการใช้งานของอาคารสำนักงาน(เปิดเครื่องปรับอากาศกลางวันเวลา 8.00-18.00 น.)	155
แผนภูมิที่ 5.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายนอกและภายในของรูปแบบผนังมวลสารน้อยที่นิยมใช้ทั่วไปเปรียบเทียบกับเมื่อมีการติดฉนวนในสถานะที่มีการจำลองการใช้งานของอาคารพักอาศัย (เปิดเครื่องปรับอากาศเวลากลางคืน 20.00-6.00 น.)	157
แผนภูมิที่ 5.7 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อน(Sensible Load) ในช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศของรูปแบบผนังมวลสารน้อยที่นิยมใช้ทั่วไปเปรียบเทียบกับเมื่อมีการติดฉนวนในสถานะที่มีการจำลองการใช้งานของอาคารพักอาศัย (เปิดเครื่องปรับอากาศเวลากลางคืน 20.00-6.00 น.)	158
แผนภูมิที่ 5.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายนอกและภายในของรูปแบบผนังมวลสารน้อยที่นิยมใช้ทั่วไปเปรียบเทียบกับเมื่อมีการติดฉนวนในสถานะที่มีการจำลองการใช้งานของอาคารไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชม.	160
แผนภูมิที่ 5.9 แสดงปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังมวลสารน้อยทั้ง 3 ประเภท พร้อมทั้งปรับปรุงโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน	162