

อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอก และทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน และ
สภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น



นางสาวอัษฎนา สังชะกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE IMPACT OF EXTERIOR WALL MASS AND ORIENTATION
ON ENERGY SAVING AND THERMAL COMFORT FOR RESIDENTIAL
IN HOT - HUMID CLIMATE



Miss Unchana Sungkakool

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอก และทิศทางที่มีผลต่อการ
ประหยัดพลังงาน และสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยใน
ภูมิอากาศร้อนชื้น

โดย

นางสาวอัญญา สังข์กุล

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์

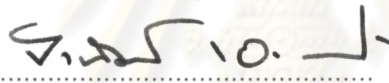
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
การศึกษาดำเนินการหลักสูตรปริญญาโท



คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต จุลาลัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุณิศวรร เจริญพงศ์)



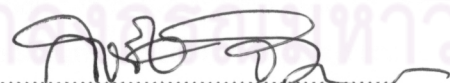
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตร)



กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิจชัย จิตขจรวานิช)

อัญชานา สังฆะกุล : อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอก และทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน และสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น (THE IMPACT OF EXTERIOR WALL MASS AND ORIENTATION ON ENERGY SAVING AND THERMAL COMFORT FOR RESIDENTIAL IN HOT-HUMID CLIMATE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์, 146หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) ศึกษาอิทธิพลมวลสารผนังภายนอก และทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานและสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น โดยทำการก่อสร้างห้องทดลอง ณ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ตั้งอยู่ที่ละติจูด $6^{\circ}55'N$ และลองจิจูด $100^{\circ}26'E$ ทำการทดลองเดือนเมษายน - กรกฎาคม พ.ศ.2553 เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารและทิศทาง การทดลองกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนวัสดุทั้ง 3 ชนิดเป็นตัวแปรควบคุม วัสดุที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ผนังมวลสารน้อย (low thermal mass) ใช้วัสดุคอนกรีตมวลเบา (Light weight4"), ผนังมวลสารปานกลาง (medium thermal mass) วัสดุอิฐมวลเบาปูนครึ่งแผ่น (Brick4") ทึดฉนวนโฟมหนา 0.27" และผนังมวลสารมาก (high thermal mass) วัสดุอิฐมวลเบาปูนเต็มแผ่น (Brick8") ทึดฉนวนโฟมหนา 0.12"

การศึกษาวิจัยได้ทดลองในห้องทดลองกว้าง 2.40 ม. ยาว 4.80 ม. สูง 2.40 ม. โดยแบ่งเป็นห้องทดลองขนาด 1.20 ม. x 2.40ม. จำนวน 3 ห้อง โดยห้องทดลองปรับหมุนรับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์ทั้ง 8 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศใต้ ห้องทดลองทั้งหมดได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกันและไม่มีการปรับอากาศ กำหนดให้ห้องทดลองทั้ง 3 ห้องใช้ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก ทดลอง 2 กรณีคือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา และกรณีมีเชิงชายหลังคาทำให้เกิดรูปแบบการทดลองทั้งหมด 48 ชุดการทดลอง เก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที เป็นเวลาติดต่อกัน 2 วัน หรือ 48 ชั่วโมงต่อ 1 การทดลอง การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทดลองในแต่ละชุดการทดลองใช้กระบวนการพิจารณาจากผลต่างขององศาชั่วโมงของอุณหภูมิสะสม (degree hour) โดยทุกจุดเก็บข้อมูลพื้นฐาน $18^{\circ}C$ เพื่อวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบประสิทธิผลของทุกชุดการทดลอง

ผลการวิจัยโดยการเปรียบเทียบตัวแปรมวลสารผนังภายนอกพบว่า ตลอด 24 ชั่วโมง และช่วงเวลา กลางคืนผนังมวลสารน้อย (light weight4") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดอุณหภูมิอากาศและเกิดสภาวะน่าสบายสูงสุด แต่ในช่วงเวลากลางวันผนังมวลสารมาก (brick8" + foam0.12") กลับมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดอุณหภูมิอากาศและเกิดสภาวะน่าสบายมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของทิศทางอาคารในช่วงเวลากลางวันพบว่าทิศตะวันตกเฉียงใต้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแปรเชิงชายหลังคาพบว่า ทุกทิศทางอาคารตัวแปรด้านเชิงชายหลังคาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายของมวลสารผนังภายนอกในปริมาณเท่ากัน ๆ

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....สถาปัตยกรรม.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2553.....

5174188025 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : EXTERIOR WALL MASS / ENERGY SAVING / THERMAL COMFORT

UNCHANA SUNGKAKOOL : THE IMPACT OF EXTERIOR WALL MASS AND ORIENTATION ON ENERGY SAVING AND THERMAL COMFORT FOR RESIDENTIAL IN HOT-HUMID CLIMATE. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.THANIT CHINDAVANIG., 146 pp.

This research aimed to study the impact of exterior wall mass and orientation on energy efficiency and thermal comfort for residential dwellings in a hot-humid climate. The study used an experimental research design by means of a mockup room which was constructed for temperature testing in Hatyai district, Songkhla province, Thailand (6° 55N latitude, 100° 26E longitude). Testing took place from April to July, 2010. The purpose of the study was to compare the effectiveness of mass and orientation of the exterior wall for heat gain reduction through building exterior walls, by studying three thermal mass types: i) low thermal mass (4" thick, light weight), ii) medium thermal mass (4" brick with 0.27" insulation foam), and iii) high thermal mass (8" thick brick with 0.12" insulation foam). These types of exterior walls were examined with respect to their heat transfer coefficients (U-value) which were in the range of 0.35 Btu/h.ft²°F., to determine which type of wall mass had the greatest effectiveness of thermal mass and orientation for heat gain reduction.

The procedure of the research was carried out with a stipulated mock up of: 2.40 meters wide, 4.80 meters long and 2.40 meters high. This mock up room was divided into three smaller rooms to compare the information from each variable. Each room was about 1.20x2.40 meters. The three mock up rooms were on a rotating platform. The rooms were subject to the same conditions without air conditioning, receiving heat from 8 directions: the north, east, south, west, northeast, southeast, southwest, and northwest. The low, medium, and high thermal mass walls were installed in each of the three rooms. The experiment comprised two types: with and without a roof drop panel . Sixteen experiments were conducted in this setting and the information was gathered every 60 minutes over approximately 2 days or 48 hours per experiment. Experimental effectiveness analysis was used in each experiment taking into account each degree hour at the appropriate degree. The base starting temperature used was 18 °C to analyze and compare the effectiveness of all experiments.

Using thermal mass and orientation as the variables to compare the results it was found that the low thermal mass wall (4",light weight) with a west exposure is the most effective to reduce the heat at a degree per hour equal to 381.25 °C/hour and a different degree hour equal to -43.03 °C/hour. During the day (6.00 a.m. to 6.00 p.m.) the high thermal mass wall (8" brick with 0.12"nsulation foam) with southwest exposure is the most effective to reduce heat gain. During the night (from 6.00 p.m. to 6.00 a.m.) a low thermal mass wall (4 ", light weight) with northwest exposure is the most effective to reduce the heat. A roof drop panel of the exterior wall was effective in reducing heat gain with all types of exterior wall mass and orientation.

Department : Architecture

Student's Signature

Field of Study : Architecture

Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ เป็นผลมาจากความกรุณาอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการดำเนินการจากผู้ที่เกี่ยวข้องมากมาย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวงศ์ ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในทุกปัญหา ให้ความรู้ แนวความคิด และปรัชญาสู่ความสำเร็จ ทั้งองค์ความรู้ด้านการดำเนินการ และการองค์ความรู้ด้านการดำเนินชีวิต ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุานิศวรรค์ เจริญพงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถฉวี เศรษฐสุนทร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. กิจชัย จิตขจรวานิช กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่กรุณาให้คำแนะนำที่ดี และกรุณาสละเวลาร่วมเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่กรุณาสับสนุนทุนอุดหนุนวิจัย เพื่อทำวิทยานิพนธ์รวมถึงวัสดุ อุปกรณ์ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ในการให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาคสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่านในการให้คำแนะนำ การติดต่อประสานงานทุกเรื่อง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา คุณย่า และน้องชาย ที่เป็นกำลังใจ และแรงผลักดันอันยิ่งใหญ่ ให้งานวิจัยประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ.....	ฏ
สารบัญแผนภูมิ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	2
1.5 ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัย.....	3
1.6 สมมุติฐานในการวิจัย.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.8 วิธีดำเนินการวิจัยและระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.9 คำศัพท์ในการวิจัย.....	5
1.10 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสาร (the role of thermal mass).....	7
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร (thermophysical properties of building materials)	10
2.2.1 ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity)	10
2.2.2 ความต้านทานความร้อน (thermal resistance)	11
2.2.3 คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี.....	11
2.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่พื้นผิวของวัสดุ (surface convective coefficient)	11
2.2.5 ความจุความร้อน (heat capacity)	11
2.3 กระบวนการถ่ายเทความร้อน (heat transfer mechanisms)	12

	หน้า
2.3.1 การนำความร้อน (conduction)	12
2.3.1.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน.....	13
2.3.1.2 ความนำความร้อน.....	13
2.3.1.3 ความต้านทานความร้อน.....	14
2.3.1.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน.....	14
2.3.2 การแผ่รังสีความร้อน.....	14
2.3.2.1 ความยาวคลื่น.....	15
2.3.2.2 การคายความร้อน (emissivity:ε)	15
2.3.3 การพาความร้อน (Convection)	16
2.3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	16
2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของมวลสาร (parameter Influencing thermal mass effectiveness)	19
2.4.1 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ.....	19
2.4.2 การจัดวางตำแหน่งผนังมวลสารภายนอกอาคาร.....	19
2.4.3 อิทธิพลของผนังมวลสารและฉนวนกันความร้อน.....	20
2.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อมวลสารวัสดุ (parameters influencing thermal mass effectiveness)	20
2.5.1 Material Thermal Mass Properties and Performances.....	20
2.5.2 Thermal Mass Location and Distributions.....	21
2.6 สภาวะน่าสบาย (thermal comfort)	22
2.6.1 อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature)	22
2.6.2 อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน (mean radiant temperature, MRT)	22
2.6.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)	23
2.6.4 ความเร็วลม (wind speed)	24
2.6.5 ระดับกิจกรรม (activity rate)	24
2.6.6 เสื้อผ้าที่สวมใส่ (clo-value)	25
2.6.7 ช่วงของสภาวะน่าสบาย.....	26
2.6.8 Effective Temperature.....	26
2.6.9 Environmental Conditions.....	27
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
2.7.1 การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังวัสดุก่อของอาคารพักอาศัยในเขตร้อนชื้น	28

	หน้า
2.7.2 การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุผนังเม็ดโพลีคอนกรีตมาประยุกต์ใช้เป็น เปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	29
2.7.3 อิทธิพลของการห่อหุ้มเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน.....	30
2.7.4 อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะนำสลายและภาวะการปรับอากาศใน การออกแบบอาคาร.....	31
บทที่3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
3.1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	33
3.1.1.1 การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะด้านมวลสารของวัสดุ.....	34
3.1.1.2 การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลทิศทาง.....	37
3.1.1.3 การศึกษาตัวแปรเชิงชายหลังคา.....	37
3.1.2 ห้องทดลอง.....	37
3.1.2.1 ทิศทางการวางตัวอาคาร.....	38
3.1.2.2 ผนังห้องทดลอง.....	38
3.1.2.3 สถานที่ทำการทดลอง.....	38
3.1.3 ขั้นตอนการตรวจความน่าเชื่อถือของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดข้อมูล.....	37
3.1.4 การทดสอบและวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังวัสดุก่อชนิดต่าง.....	37
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล	41
3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล.....	41
3.2.1.1 เครื่องมือบันทึกข้อมูลด้านอุณหภูมิ.....	42
3.2.1.2 หัว Sensor วัดอุณหภูมิ.....	42
3.2.1.3 เครื่องคอมพิวเตอร์.....	42
3.3 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือและห้องทดลอง.....	42
3.3.1 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัวSensor.....	42
3.3.2 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของห้องทดลอง.....	44
บทที่4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
4.1 ผลการทดลอง	49
4.1.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	49
4.1.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา.....	60

	หน้า
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	71
4.2.1 การวิเคราะห์หัตถิทธิพลมวลสารผนังภายนอก.....	71
4.2.1.1 การวิเคราะห์หัตถิทธิพลมวลสารผนังภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	71
4.2.1.2 การวิเคราะห์หัตถิทธิพลมวลสารผนังภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา.....	75
4.2.2 การวิเคราะห์หัตถิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง.....	79
4.2.2.1 การวิเคราะห์หัตถิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา....	80
4.2.2.2 การวิเคราะห์หัตถิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีมีเชิงชายหลังคา.....	90
4.2.3 การวิเคราะห์หัตถิทธิพลของเชิงชายหลังคากรณีมีเชิงชายหลังคา และกรณีไม่มีเชิงชาย หลังคาของมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง.....	100
บทที่5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	106
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	106
5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหัตถิทธิพลผนังมวลสารภายนอก.....	106
5.1.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหัตถิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา.....	106
5.1.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหัตถิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีมีเชิง ชายหลังคา.....	108
5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหัตถิทธิพลทิศทางอาคาร.....	110
5.1.2.1 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหัตถิทธิพลทิศทางอาคารกรณีไม่มีเชิงชาย หลังคา.....	110
5.1.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหัตถิทธิพลทิศทางอาคารกรณีมีเชิงชายหลังคา	113
5.1.3 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหัตถิทธิพลเชิงชายหลังคา.....	116
5.2 เสนอแนะแนวทางประยุกต์ใช้.....	120
5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย.....	120
รายการอ้างอิง.....	122
ภาคผนวก.....	124
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	146

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 1.1	ข้อมูลสภาพอากาศทั่วไปเก็บบันทึกช่วงปี 1981-1998.....	3
ตารางที่ 2.1	แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า.....	18
ตารางที่ 2.2	แสดงรายการวัสดุและสีผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์.....	18
ตารางที่ 2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและผลที่อาจเกิดขึ้นทางด้านอุณหภูมิและความรู้สึก.....	24
ตารางที่ 2.4	แสดง Metabolic Rate ในกิจกรรมต่างๆ.....	25
ตารางที่ 2.5	แสดงค่า Clo ของเครื่องแต่งกายแบบต่างๆ.....	25
ตารางที่ 3.1	การปรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ Brick 4", Brick 8" โดยการเพิ่มฉนวน (Insulation)	34
ตารางที่ 3.2	การปรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนให้เท่ากันทั้ง 3 วัสดุ.....	35
ตารางที่ 3.3	แสดงรายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบา.....	36
ตารางที่ 3.4	แสดงรายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังอิฐมวลเบา.....	36
ตารางที่ 3.5	รายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังอิฐมวลเบาปูนเต็มแผ่น (Brick8")	37
ตารางที่ 3.6	วัสดุที่ใช้ในการทำห้องทดลอง.....	38
ตารางที่ 3.7	ค่าอุณหภูมิหัว Sensor 12 หัว เวลาทดลอง 40 นาที.....	43
ตารางที่ 3.8	ข้อมูลการตรวจวัดความถูกต้องของอุณหภูมิ ห้องทดลองทั้ง 3 ห้อง ทดลองวันที่ 17 ก.พ. 2553 เวลา 48 ชั่วโมง เวลา 06.00น. - 06.00น.....	45
ตารางที่ 4.1	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในการทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	58
ตารางที่ 4.2	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	59
ตารางที่ 4.3	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในการทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ตลอด 48 ชั่วโมง กรณีมีเชิงชายหลังคา	69
ตารางที่ 4.4	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง กรณีมีเชิงชายหลังคา.....	70
ตารางที่ 4.5	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	87

ตารางที่ 4.6	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	88
ตารางที่ 4.7	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	89
ตารางที่ 4.8	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีมีเชิงชาย หลังคา.....	97
ตารางที่ 4.9	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีมีเชิงชายหลังคา.....	98
ตารางที่ 4.10	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีมีเชิงชายหลังคา.....	99
ตารางที่ 4.11	เปรียบเทียบประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกและทิศทางการไม่มีเชิงชายหลังคา และกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารมาก และผนังมวลสารน้อย ช่วงเวลากลางวัน	103
ตารางที่ 4.12	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองกรณีไม่มีเชิงชาย หลังคา กับกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และ ผนังมวลสารมาก ช่วงเวลากลางวัน.....	103
ตารางที่ 4.13	เปรียบเทียบประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกและทิศทางการไม่มีเชิงชายหลังคา และกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารมาก และผนังมวลสารน้อย ช่วงเวลากลางคืน	104
ตารางที่ 4.14	ผลต่างที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองกรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา กับกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และ ผนังมวลสารมาก ช่วงเวลากลางคืน.....	105

ตารางที่ 5.1	แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย อุณหภูมิ ชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง กรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทุกทิศทาง.....	111
ตารางที่ 5.2	แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย ช่วงเวลา กลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วันกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิ ภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทุกทิศทาง.....	112
ตารางที่ 5.3	แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย ช่วงเวลา กลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00-6.00น. ทั้ง 2 วัน กรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิ ภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทุกทิศทาง.....	113
ตารางที่ 5.4	แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย อุณหภูมิ ชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง กรณีมีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และ อุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทุกทิศทาง.....	114
ตารางที่ 5.5	แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย ช่วงเวลา กลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วันกรณีมีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิภายนอก ห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทุกทิศทาง.....	115
ตารางที่ 5.6	แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย ช่วงเวลา กลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00-6.00น. ทั้ง 2 วัน กรณีมีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิภายนอก ห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทุกทิศทาง.....	116
ตารางที่ 5.7	เปรียบเทียบประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา และกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารมาก ผนังมวลสารปานกลาง และ ผนังมวลสารน้อย ช่วงเวลากลางวัน.....	117
ตารางที่ 5.8	เปรียบเทียบประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา และกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารมาก และผนังมวลสารน้อย ช่วงเวลากลางคืน...	119

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 แสดงการใช้งานพลังงานโดยรวมประเทศไทยปี พ.ศ. 2550.....	1
ภาพที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนัง.....	7
ภาพที่ 2.2 ภาพแสดงพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนัง.....	8
ภาพที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบ Cooling Load ของอาคารมวลสารมากและมวลสารน้อย.....	9
ภาพที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของระบบปรับอากาศที่ผ่านเข้ามาของอาคารมวลสารน้อยและมวลสารมากในช่วงเวลา 1 วัน	10
ภาพที่ 2.5 Heat transfer by conduction.....	13
ภาพที่ 2.6 Radiant energy transfer between two surface molecules.....	14
ภาพที่ 2.7 Absorbtion, reflection, and transmission of radiation striking a semitransparent material.....	15
ภาพที่ 2.8 แสดงการพาความร้อนจากจุด A ไปยังจุด B.....	16
ภาพที่ 2.9 แสดง cooling load ใน two-zone building.....	21
ภาพที่ 2.10 แสดง cooling load ใน mono-zone building.....	21
ภาพที่ 2.11 แสดงช่วงของสภาวะนำสบายทางด้านอุณหภูมิใน psychometric chart.....	26
ภาพที่ 2.12 แสดงช่วงของสภาวะนำสบายทางด้านอุณหภูมิในฤดูหนาวและฤดูร้อน.....	27
ภาพที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ และสัดส่วนการสูญเสียความร้อนของร่างกาย.....	27
ภาพที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ.....	33
ภาพที่ 3.2 การติดฉนวนโพลีเอสเตอร์อิฐมวลเบาปูนครึ่งแผ่น Brick 4” และอิฐมวลเบาปูนเต็มแผ่น Brick 8”	34
ภาพที่ 3.3 วัสดุคอนกรีตมวลเบา.....	35
ภาพที่ 3.4 วัสดุอิฐมวลเบาครึ่งแผ่น (Brick4”)	36
ภาพที่ 3.5 อิฐมวลเบาปูนเต็มแผ่น.....	37
ภาพที่ 3.6 ห้องทดลอง.....	38
ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการทำห้องทดลอง.....	39
ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการทำห้องทดลอง	40
ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการทำห้องทดลอง.....	41
ภาพที่ 3.10 อุปกรณ์ใช้ในการทดลองวัดอุณหภูมิ(Hobo)	41
ภาพที่ 3.11 การวัดค่าความถูกต้องเครื่องมือวัดอุณหภูมิ หัว Sensor.....	42
ภาพที่ 3.12 การทดสอบห้องทดลองโดยการวัดอุณหภูมิทั้ง 3 ห้อง.....	45
ภาพที่ 3.13 แสดงขั้นตอนการวิจัยอิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน และสภาวะนำสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิภาคศรีนครินทร์.....	46

	หน้า
ภาพที่ 3.14 กรอบระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	47
ภาพที่ 4.1 ทิศทางการโคจรดวงอาทิตย์ (Shading mark) สภาพท้องฟ้า และปริมาณน้ำฝนเดือน เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน และเดือนกรกฎาคม.....	48
ภาพที่ 4.2 การบังแดดจากมุมมองศาลดวงอาทิตย์การทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เวลา 8.00 น. และ 10.00 น. วันที่ 4 พฤษภาคม - 6 พฤษภาคม 2553.....	60



ศูนย์วิทยพัทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

		หน้า
แผนภูมิที่ 1.1	แสดงลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	6
แผนภูมิที่ 3.1	ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิหัว Sensor จำนวน 12 หัว เวลา 40 นาที.....	44
แผนภูมิที่ 3.2	ข้อมูลการตรวจวัดความถูกต้องของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ RH (%) ห้องทดลองทั้ง 3 ห้อง ทดลองวันที่ 17 ก.พ. 2553 เวลา 48 ชั่วโมง เวลา 06.00 น. - 06.00 น.....	44
แผนภูมิที่ 4.1	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 มิถุนายน 2553 – 23 มิถุนายน 2553.....	50
แผนภูมิที่ 4.2	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออก กรณีไม่มีเชิงชาย หลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 มิถุนายน 2553 – 27 มิถุนายน 2553.....	51
แผนภูมิที่ 4.3	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศใต้ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2553 – 3 กรกฎาคม 2553.....	52
แผนภูมิที่ 4.4	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตก กรณีไม่มีเชิงชาย หลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม 2553 – 7 กรกฎาคม 2553.....	53
แผนภูมิที่ 4.5	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ กรณีไม่มี เชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 6 เมษายน 2553 – 8 เมษายน 2553.....	54
แผนภูมิที่ 4.6	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 17 เมษายน 2553 – 19 เมษายน 2553.....	55
แผนภูมิที่ 4.7	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเฉียงใต้ กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 เมษายน 2553 – 23 เมษายน 2553.....	56
แผนภูมิที่ 4.8	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเหนือ กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 เมษายน 2553 – 27 เมษายน 2553.....	57

แผนภูมิที่ 4.9	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 เมษายน 2553 – 2 พฤษภาคม 2553.....	61
แผนภูมิที่ 4.10	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออก กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2553.....	62
แผนภูมิที่ 4.11	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 พฤษภาคม 2553 – 1 มิถุนายน 2553.....	63
แผนภูมิที่ 4.12	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตก กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 11 มิถุนายน 2553 – 13 มิถุนายน 2553.....	64
แผนภูมิที่ 4.13	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 4 พฤษภาคม 2553 – 6 พฤษภาคม 2553.....	65
แผนภูมิที่ 4.14	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 26 พฤษภาคม 2553 – 28 พฤษภาคม 2553.....	66
แผนภูมิที่ 4.15	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเฉียงใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3 มิถุนายน 2553 – 5 มิถุนายน 2553.....	67
แผนภูมิที่ 4.16	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 15 มิถุนายน 2553 – 17 มิถุนายน 2553.....	68
แผนภูมิที่ 4.17	วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	72
แผนภูมิที่ 4.18	วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00 น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	73

แผนภูมิที่ 4.19	วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 8.00น. - 6.00 น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	74
แผนภูมิที่ 4.20	วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตกทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ.....	76
แผนภูมิที่ 4.21	วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ.....	77
แผนภูมิที่ 4.22	วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00น. - 6.00น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ.....	78
แผนภูมิที่ 4.23	วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	81
แผนภูมิที่ 4.24	วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	82
แผนภูมิที่ 4.25	วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....	83

<p>แผนภูมิที่ 4.26</p>	<p>วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....</p>	<p>84</p>
<p>แผนภูมิที่ 4.27</p>	<p>วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....</p>	<p>85</p>
<p>แผนภูมิที่ 4.28</p>	<p>วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา.....</p>	<p>86</p>
<p>แผนภูมิที่ 4.29</p>	<p>วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา.....</p>	<p>91</p>
<p>แผนภูมิที่ 4.30</p>	<p>วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา.....</p>	<p>92</p>
<p>แผนภูมิที่ 4.31</p>	<p>วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00 -18.00 น. ทั้ง 2 วันของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา.....</p>	<p>93</p>

<p>แผนภูมิที่ 4.32</p>	<p>วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา.....</p>	<p>94</p>
<p>แผนภูมิที่ 4.33</p>	<p>วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย ทั้ง 2 วัน ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00 น. - 6.00 น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา.....</p>	<p>95</p>
<p>แผนภูมิที่ 4.34</p>	<p>วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา.....</p>	<p>96</p>
<p>แผนภูมิที่ 4.35</p>	<p>วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) กรณีมีเชิงชายหลังคาและไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ.....</p>	<p>101</p>
<p>แผนภูมิที่ 4.36</p>	<p>วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) กรณีมีเชิงชายหลังคาและไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ.....</p>	<p>102</p>
<p>แผนภูมิที่ 5.1</p>	<p>สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา 24 ชั่วโมง ทุกทิศทางการทดลอง.....</p>	<p>107</p>
<p>แผนภูมิที่ 5.2</p>	<p>สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00 น. ทุกทิศทางการทดลอง.....</p>	<p>107</p>

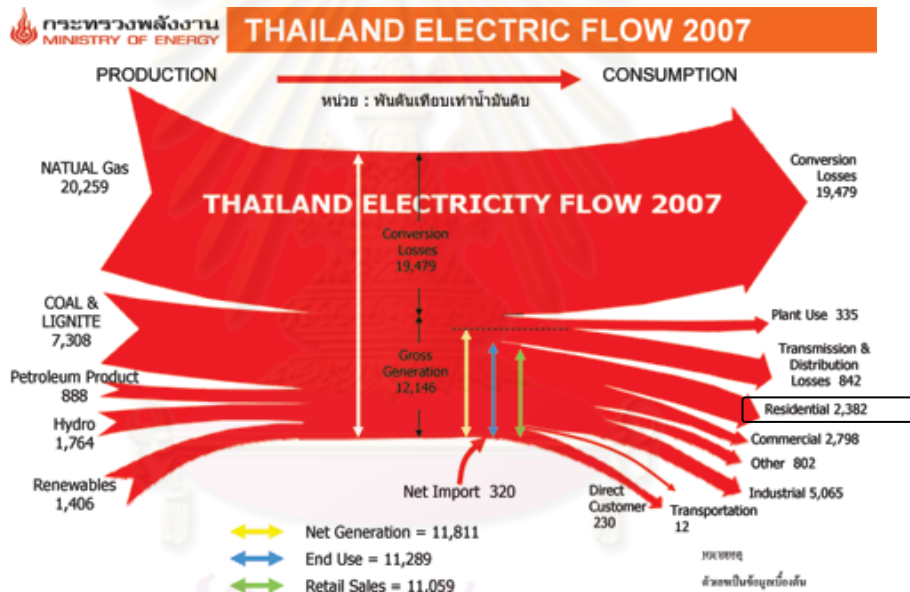
แผนภูมิที่ 5.3	สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลน้ำมวลดสารภายนอกกรณีไม่มีเชิง ชายหลังคาช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ทุกทิศทางการทดลอง.....	108
แผนภูมิที่ 5.4	สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลน้ำมวลดสารภายนอกกรณีมีเชิงชาย หลังคา 24 ชั่วโมง ทุกทิศทางการทดลอง.....	109
แผนภูมิที่ 5.5	สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลน้ำมวลดสารภายนอกกรณีมีเชิงชาย หลังคา ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. ทุกทิศทางการ ทดลอง.....	109
แผนภูมิที่ 5.6	สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลน้ำมวลดสารภายนอกกรณีมีเชิงชาย หลังคาช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ทุกทิศทางการ ทดลอง.....	110
แผนภูมิที่ 5.7	สรุปผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายใน ห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) กรณีมีเชิงชาย หลังคาและไม่มีเชิงชายหลังคา.....	118
แผนภูมิที่ 5.8	สรุปผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายใน ห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) กรณีมีเชิงชาย หลังคาและไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก.....	118

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสถานการณ์ปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบันและอนาคต แนวโน้มการใช้พลังงานที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น สืบเนื่องจากความเจริญรุดหน้าทางเทคโนโลยีการคิดค้นสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดก่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมหาศาล ก่อให้เกิดปัญหาวิกฤตการณ์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาหลักสำคัญในระดับชาติ และระดับโลก นานาประเทศรวมทั้งประเทศไทยได้มีการรณรงค์การใช้งานพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อเกิดประโยชน์สูงสุด เนื่องจากปัญหาพลังงานและสิ่งแวดล้อมเกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตมนุษย์ในทุกระดับ



ภาพที่ 1.1 แสดงการใช้งานพลังงานโดยรวมประเทศไทยปีพ.ศ.2550

ที่มา : กระทรวงพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, รายงานพลังงาน ของประเทศไทย พ.ศ.2550

“สถาปัตยกรรม” มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับปัญหานี้ในฐานะที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการอำนวยความสะดวกให้มนุษย์ ทิศทางการวางอาคาร (orientation) และอิทธิพลมวลสารผนังภายนอกมีผลโดยตรงกับการรับรังสีแสงอาทิตย์ มวลสารภายนอกอาคารประกอบด้วย ผนัง, หน้าต่าง, หลังคาและช่องแสงเปลือกหรือกรอบอาคาร (building envelope) ทั้งหมดเป็นองค์ประกอบสำคัญของอาคาร ในการป้องกันความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์รวมถึงช่วยป้องกันความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร วัสดุผนังเป็นองค์ประกอบหลักในการป้องกันความร้อนเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน และสภาวะน่าสบายอย่างมีประสิทธิภาพ

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาอิทธิพลของมวลสารผนังภายนอก และทิศทางซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการถ่ายเทความร้อนผนังจากภายนอกสู่ภายในอาคาร และสภาวะน่าสบายในอาคาร การศึกษาอิทธิพลมวลสารผนังอาคารภายนอกและทิศทางเป็นประโยชน์ในการพัฒนารูปแบบผนังภายนอกให้มีความ

เหมาะสมกับผนังวัสดุก่อในประเทศไทยซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศร้อนชื้น การเลือกใช้วัสดุก่อผนังอาคารที่เหมาะสมช่วยลดภาระการใช้งานพลังงานรวมถึงก่อให้เกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร และเกิดประโยชน์สูงสุดในการอนุรักษ์พลังงานในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษา และวิเคราะห์อิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่มีผลต่อการลดภาระการใช้งานพลังงาน และสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น

1.2.2 ศึกษาพฤติกรรม ประเมินผล และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของผนังมวลสารน้อย (low thermal mass) มวลสารปานกลาง (medium thermal mass) มวลสารมาก (high thermal mass) และทิศทางการวางอาคาร (orientation)

1.2.3 ทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมวลสารผนังภายนอก และทิศทางกรณีมีเชิงชายหลังคา และไม่มีเชิงชายหลังคา

1.2.4 ศึกษาแนวทางการปรับปรุง และเลือกใช้วัสดุผนังที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษา และทดลองประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมวลสารผนังภายนอก และทิศทางของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น (จังหวัดสงขลา)

1.3.2 ศึกษาเฉพาะอิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ได้แก่ ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity), ค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag) และค่าความจุความร้อน (heat capacity)

1.3.3 ศึกษาเฉพาะอิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่เป็นผนังทึบแสง (opaque materials) โดยแบ่งประเภทมวลสารออกเป็น 3 ประเภท ตามข้อกำหนดของกรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงาน คือ มวลสารน้อย (low thermal mass) มวลสารปานกลาง (medium thermal mass) และมวลสารมาก (high thermal mass) กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ของมวลสารผนังเท่ากัน

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

การวิจัยนี้ทำการทดลอง ณ จังหวัดสงขลา(หาดใหญ่) ตั้งอยู่ที่ละติจูด $6^{\circ} 55'N$ และลองจิจูด $100^{\circ} 26'E$ อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 34 เมตร ทำการทดลองเดือนเมษายน-กรกฎาคม มีข้อมูลสภาพอากาศทั่วไปเก็บบันทึกช่วงปี 1981-1998 ดังนี้

CLIMATOLOGICAL DATA FOR THE PERIOD 1981-1998													station : HAT YAI (AIR PORT)	
Elevation of station above MSL 34 Meters											Latitude: 06 55 N			
											Longitude: 100 26 E			
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL	
TEMPERATURE (°C)														
Averages														
Daily Maximum	30.3	31.6	32.9	33.6	32.9	32.0	31.5	31.2	30.6	30.2	29.1	28.6	31.2	
Monthly Mean	26.2	26.8	27.6	28.1	28.1	27.7	27.3	27.2	26.8	26.4	26.0	25.6	27.0	
Daily Minimum	22.7	22.9	23.5	24.2	24.6	24.5	24.3	24.1	23.9	23.8	23.7	23.3	23.8	
Dry bulb Standard Deviation	2.8	3.2	3.7	3.5	3.2	3.0	2.9	3.0	2.7	2.6	2.3	2.3	2.9	
Extremes														
Highest	33.2	36.9	36.9	37.4	37.0	36.6	35.1	37.5	35.1	34.4	35.8	32.1	37.5	
Lowest	17.8	18.9	20.2	22.3	23.0	22.1	21.8	20.4	21.8	20.6	21.8	14.5	14.5	
RELATIVE HUMIDITY (%)														
Averages														
Monthly Mean	79.6	77.0	75.5	77.8	81.0	79.8	80.0	79.5	82.5	85.1	87.1	85.5	80.9	
WIND														
Averages														
Average Speed (m/s)	2.2	2.0	1.8	1.3	1.3	1.5	1.6	1.8	1.5	1.2	1.3	1.9	1.6	
Prevailing wind	NE	NE	NE	NE	SW	SW	SW	SW	SW	SW	NE	NE	SW, NE	
Maximum Speed (m/s)	11.8	10.3	10.8	10.3	12.9	11.8	11.3	11.8	12.9	8.7	9.3	10.3	12.9	
RAINFALL (mm)														
Averages														
Average Monthly total	37.4	21.5	42.3	111.8	160.2	144.3	136.5	138.2	176.0	224.8	290.4	305.4	1,788.8	
Daily record high	46.8	71.7	62.1	124.6	93.4	92.0	151.8	133.7	105.4	89.8	202.0	316.8	316.8	
Average Number of rainy days (0.1 mm. Or more)	6	3	4	10	14	14	14	15	18	19	20	16	153	

remark: 1 m/s = 3.597 km/h, = 2.237 mph, = 196.85 fpm, = 1.9455 knots

(*) data base on 1997 - 1998 recorded period

1 W/m2 = 0.317 Btu/h.ft2

(-) missing value or no data report

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลสภาพอากาศทั่วไปเก็บบันทึกช่วงปี 1981-1998

(ที่มา : ข้อมูลอากาศประเทศไทยสำหรับงานอนุรักษ์พลังงานจังหวัดสงขลา(หาดใหญ่), หน้า 1

1.5 ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัย

1.5.1 ตัวแปรต้น

1.5.1.1 มวลสารผนังภายนอก ประกอบด้วยมวลสาร 3 ประเภท คือ มวลสารน้อย (low thermal mass) มีน้ำหนัก 0-125 กิโลกรัม/ตารางเมตร มวลสารปานกลาง (medium thermal mass) มีน้ำหนัก 126-195 กิโลกรัม/ตารางเมตร และมวลสารมาก (high thermal mass) มีน้ำหนักเกินกว่า 195 กิโลกรัม/ตารางเมตร

1.5.1.2 ทิศทางการวางอาคาร ประกอบด้วยทิศทั้งหมด 8 ทิศทาง คือ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

1.5.1.3 เซึ่งชายอาคาร กำหนดให้มีการทดลอง 2 กรณี คือ กรณีมีซึ่งชายหลังคา และกรณีไม่มีซึ่งชายหลังคา

1.5.2 ตัวแปรตาม คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิผิวผนังภายใน และอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง (°C)

1.5.3 ตัวแปรควบคุม

1.5.3.1 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) เป็นตัวแปรควบคุม

1.5.3.2 ศึกษาและทำการทดลองอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น (จังหวัดสงขลา)

1.6 สมมุติฐานในการวิจัย

1.6.1 มวลสารมาก (high thermal mass) มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานในเวลากลางวัน (6.00-18.00น.) มากกว่ามวลสารน้อย และมวลสารปานกลาง

1.6.2 มวลสารน้อย (low thermal mass) มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานในเวลากลางคืน (18.00-6.00น.) มากกว่ามวลสารปานกลาง และมวลสารมาก

1.6.3 เริงชายหลังคาเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากกว่า กรณีไม่มีเริงชายหลังคา

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เพื่อเสนอแนะแนวทางการออกแบบผนังภายนอก และทิศทางเพื่อการประหยัดพลังงาน และสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น

1.7.2 เพื่อนำผลที่ได้ไปประยุกต์แนวทางการออกแบบมวลสารผนังภายนอก เพื่อลดการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาคาร

1.8 วิธีดำเนินการวิจัยและระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) ศึกษาอิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน และสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น มีขั้นตอนศึกษา ดังนี้

1.8.1 ศึกษาทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย ตั้งสมมุติฐานและกำหนดตัวแปรเพื่อทำการออกแบบการทดลอง

1.8.1.1 ศึกษาหลักการ และทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ (Heat transfer)

1.8.1.2 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของมวลสาร

(parameter Influencing thermal mass effectiveness)

1.8.1.3 ศึกษาสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ (thermal comfort)

1.8.1.4 ศึกษาบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน และสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น

1.8.2 ออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง โดยทำการศึกษาตัวแปร คือ มวลสารผนังภายนอก ทิศทาง (8 ทิศ)

1.8.2.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือเพื่อผลข้อมูลที่ต้องการ

1.8.2.2 การตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุเพื่อทราบถึง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (conductivity : k) ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (thermal resistance) และน้ำหนักมวลสาร (กิโลกรัม/ตารางเมตร)

1.8.2.3 การสร้างห้องทดลอง (mockup for temperature testing) ขนาด 1.20x2.40x2.40 ม. (3 ห้อง) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนมวลสารผนังภายนอก และทิศทาง เก็บบันทึกอุณหภูมิเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทุกช่วงเวลา

1.8.3 การวิเคราะห์ผลทดลอง อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

1.8.3.1 วิเคราะห์ และอภิปรายผลการทดลองโดยทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่เกิดขึ้นในการทดลอง

1.8.3.2 สรุปผลการทดลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่เกิดขึ้นจริง

1.8.3.3 อภิปรายผล และเสนอแนะแนวทางการนำไปประยุกต์มวลสารผนังภายนอกและทิศทางเพื่อเกิดประโยชน์สูงสุด

1.9 คำศัพท์ในการวิจัย

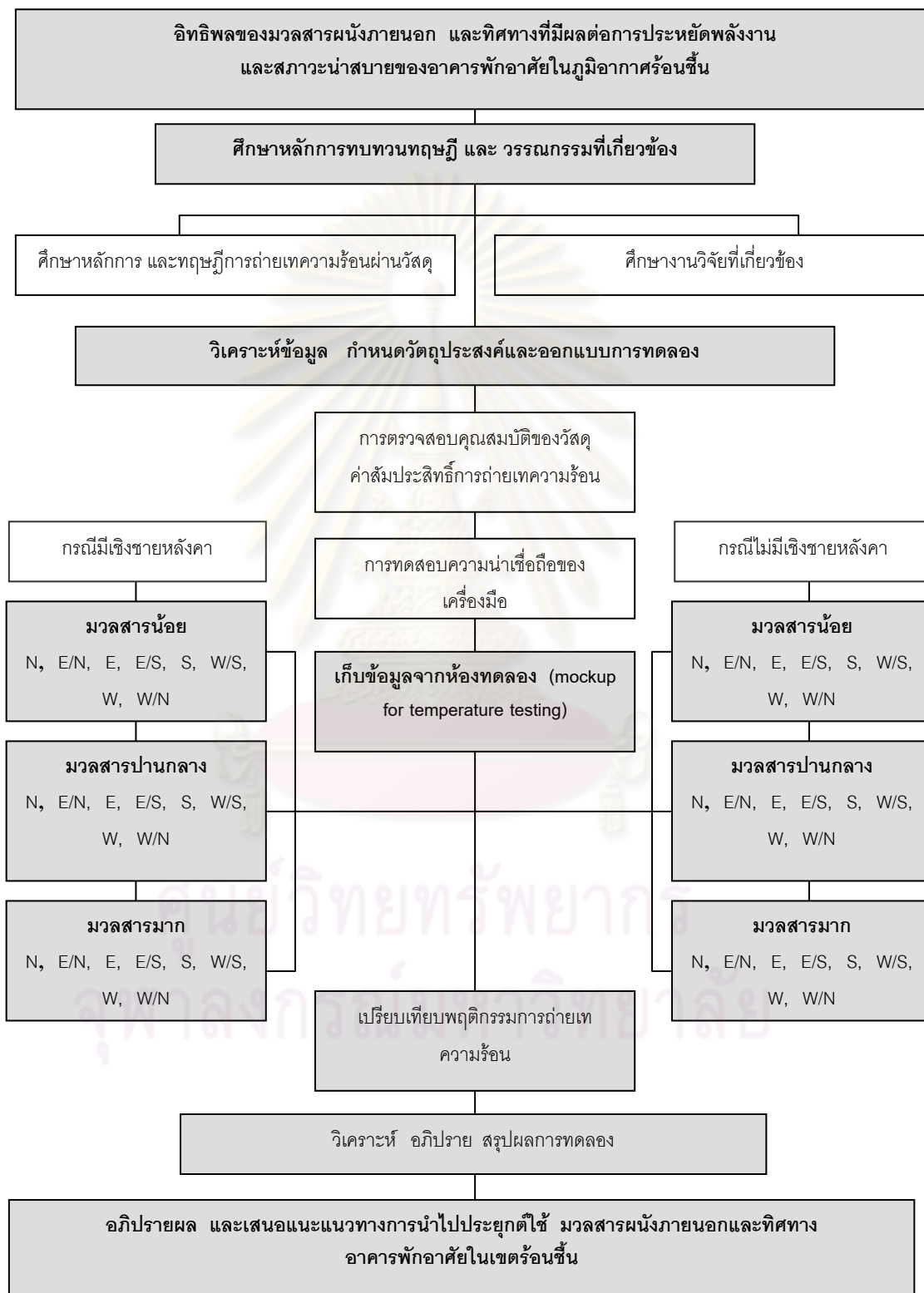
1.9.1 ผนังมวลสารน้อย (low thermal mass) หมายถึง ผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $0.35 \text{ Btu/h.ft}^2\text{F}$ น้ำหนัก 0-125 กิโลกรัม/ตารางเมตร ใช้วัสดุคอนกรีตมวลเบา (Light weight4")

1.9.2 ผนังมวลสารปานกลาง (medium thermal mass) หมายถึง ผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $0.35 \text{ Btu/h.ft}^2\text{F}$ น้ำหนัก 126-195 กิโลกรัม/ตารางเมตร ใช้วัสดุผนังอิฐมวลเบาปูนครึ่งแผ่น (Brick4") ติดฉนวนโฟมหนา 0.27"

1.9.3 ผนังมวลสารมาก (high thermal mass) หมายถึง ผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $0.35 \text{ Btu/h.ft}^2\text{F}$ น้ำหนักเกินกว่า 195 กิโลกรัม/ตารางเมตร ใช้วัสดุผนังอิฐมวลเบาปูนเต็มแผ่น (Brick8") ติดฉนวนโฟมหนา 0.12"

1.10 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

จากการศึกษาและทำการวิจัยสามารถสรุปลำดับขั้นตอนการวิจัย ได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

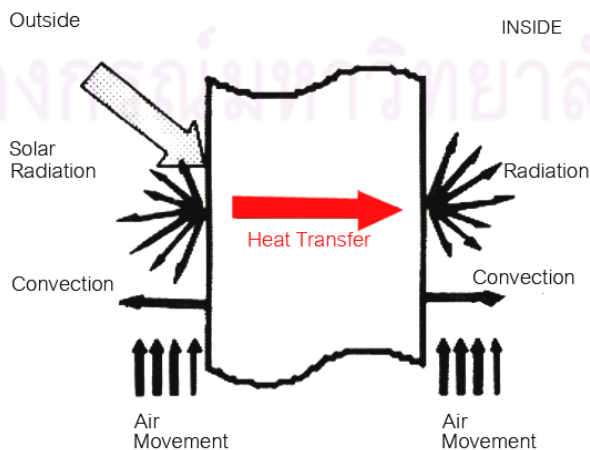
แนวคิดและทฤษฎี

การศึกษาอิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน และสถานะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้นได้รวบรวมแนวคิด วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย

- 2.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสาร (the role of thermal mass)
- 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร (thermophysical properties of building materials)
- 2.3 กระบวนการถ่ายเทความร้อน (heat transfer mechanisms)
- 2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของมวลสาร (parameter influencing thermal mass effectiveness)
- 2.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อมวลสารวัสดุ (parameters influencing thermal mass effectiveness)
- 2.6 สถานะน่าสบาย (thermal comfort)
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

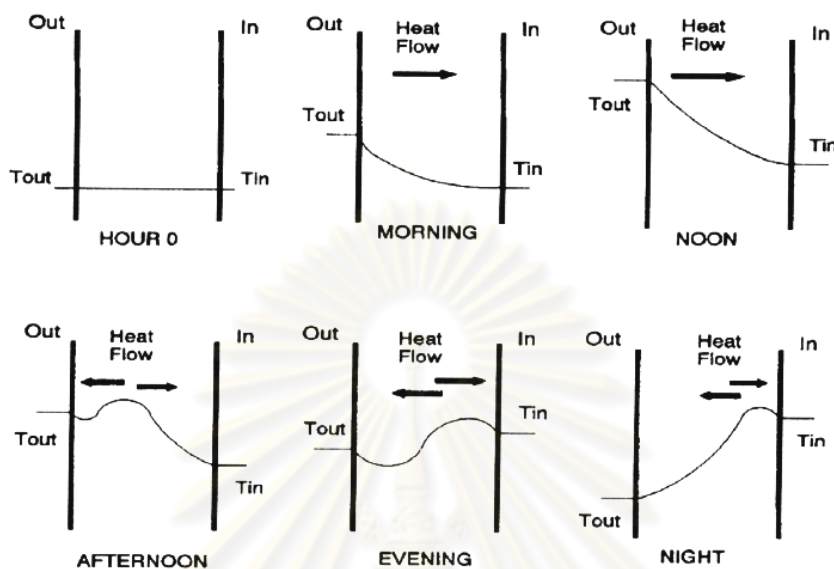
2.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสาร (the role of thermal mass)

พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคารซึ่งขึ้นอยู่กับอิทธิพลและปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน ทั้งปัจจัยภายนอก และปัจจัยภายใน ปัจจัยภายนอกได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอก (ambient air temperature) และความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ (solar radiation) ปัจจัยภายในได้แก่ผู้ใช้อาคาร ไฟฟ้าจากแสงสว่างและอุปกรณ์ ซึ่งอาจหมายรวมถึงปัจจัยจากคุณสมบัติของวัสดุและโครงสร้างในการป้องกันอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร อัตราการถ่ายเทความร้อนทำให้เกิดดุลยภาพทางความร้อน (thermal balance) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้สภาพอากาศภายในอาคาร การลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารให้เข้าภวะน่าสบายนั้น ส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับปัจจัยตัวแปรภายในมากมาย เช่น ลักษณะทางกายภาพของอาคาร heat gain และ heat losses ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณี ดังนี้



ภาพที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนัง (ที่มา: Passive Cooling of Building, 1996)

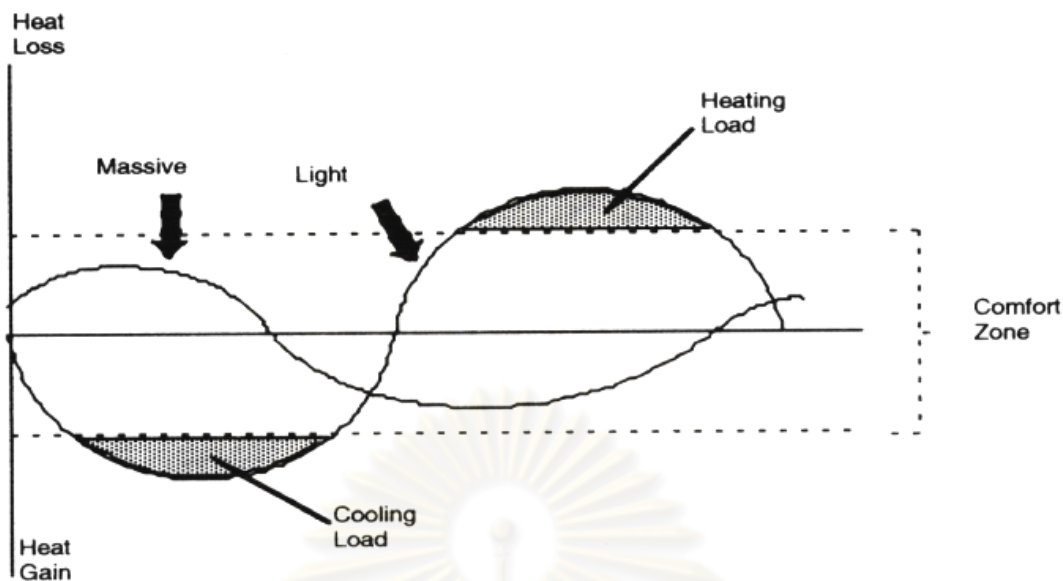
- 2.1.1 การนำความร้อน (heat conduction)
 2.1.2 การพาความร้อน (heat convection)
 2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (heat radiation)



ภาพที่ 2.2 ภาพแสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนัง (ที่มา: Passive Cooling of Building, p.187)

ภาพที่ 2.2 แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนัง ขั้นตอนแรกอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในจะอยู่ใกล้เคียงกัน ในช่วงเวลาเช้าอุณหภูมิอากาศภายนอกเริ่มสูงขึ้นจากอิทธิพลของรังสีแสงอาทิตย์จากนั้นจึงเริ่มซึมผ่านผิวของเปลือกอาคารโดยการนำความร้อน (heat conduction) บริเวณผิวของวัสดุที่อยู่ติดกับอากาศจึงเริ่มร้อนขึ้นในเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายนอกจะถึงจุดสูงสุด และเริ่มที่จะลดลงในช่วงบ่าย แต่ภายในเปลือกอาคารยังมีอุณหภูมิที่สูง และเริ่มที่จะถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารในเวลาเย็นซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

อิทธิพลของมวลสารสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนไม่ให้เข้าสู่อาคารได้รวดเร็วจนเกินไป การเก็บกับความร้อนไว้ในผนังวัสดุภายนอก และภายในอาคารถือเป็นกรรมวิธีการหนึ่งซึ่งช่วยลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในอาคาร และลดภาระการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศลงได้ โดยการหน่วงความร้อนและเลื่อนภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศไว้ในช่วงเวลาถัดไป โดยคุณสมบัติวัสดุดังกล่าวต้องมีค่าความจุความร้อนสูง เช่น คอนกรีต และอิฐ การรักษาสภาวะน่าสบาย (comfort zone) ได้มีการนำเอาระบบเครื่องกลมาช่วยในการลดอุณหภูมิอากาศส่วนเกินที่เข้ามาในอาคารเป็นผลให้ระบบเครื่องกลต้องทำงานหนัก เพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในห้อง และผิววัสดุซึ่งเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็น (cooling load) ให้กับอาคารโดยตรงพฤติกรรมดังกล่าวจึงเป็นการสร้างปัญหาให้กับอาคารขนาดใหญ่ ซึ่งในประเทศทางตะวันตกนั้นมีการใช้มวลสาร (thermal mass) ตามส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคารเช่น ผนัง ภายนอก ผนังภายใน หลังคา โครงสร้างต่างๆ เพื่อช่วยสะสมความร้อนไว้ในฤดูหนาว ความร้อนที่สะสมในช่วงเวลากลางวัน (peak load) จะถูกสะสมอยู่ในมวลสารของผนังและถูกแผ่ออกมาในอาคารในช่วงเย็น และเวลากลางคืนทำให้อุณหภูมิอากาศภายในไม่ต่ำมากนัก ในฤดูร้อนความร้อนที่สะสมอยู่ในมวลสารช่วยลด peak cooling load ในเวลากลางวัน

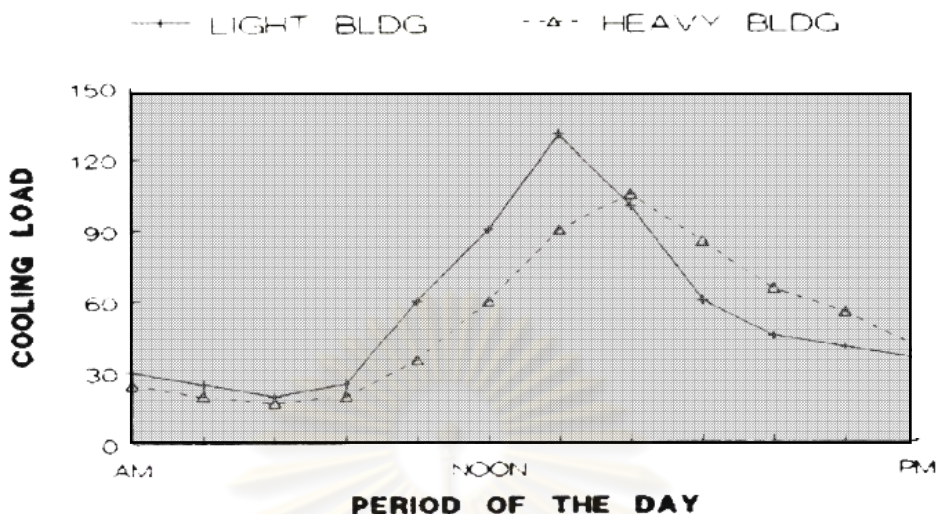


ภาพที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบ Cooling Load ของอาคารมวลสารมากและมวลสารน้อย
(ที่มา: Passive Cooling of Building, p.189)

ภาพที่ 2.3 จากกราฟแสดงให้เห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูง (บนแกน x) ซึ่งหมายถึงมวลสารน้อย มีการสูญเสียความร้อน (heat losses) ให้กับสภาพแวดล้อมเป็นการเพิ่ม heating load เพื่อปรับอุณหภูมิอากาศในขณะเดียวกันเมื่อได้รับความร้อนจากภายนอก (heat gain) เข้ามาในอาคารจึงต้องใช้ cooling load เพื่อปรับเข้าสู่สภาวะน่าสบาย (comfort zone) เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่ามวลสารมากมีช่วงความต่างของอุณหภูมิไม่มากนัก (temperature swing) ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในเกือบที่จะคงที่อยู่ใน comfort zone ตลอดเวลา

ประโยชน์ของการใช้มวลสารนั้นอีกข้อหนึ่งคือ คุณสมบัติการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ซึ่งเป็นการหน่วงเหนี่ยวความร้อนให้เข้าไปในอาคารได้ช้าลง ตัวอย่างเช่น ในการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง เริ่มตั้งแต่ อุณหภูมิอากาศภายนอกของผนังเริ่มสูงขึ้นและเริ่มConduct ผ่านผิวผนังเข้ามาข้างใน จนกระทั่งผิวผนังภายในเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้น กระบวนการทั้งหมดนี้ต้องมีระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุอีกด้วย ซึ่งตัวแปรดังกล่าวนี้จะสามารถอธิบายเกี่ยวกับการต้านทานความร้อนของวัสดุและช่องว่างอากาศภายในเนื้อวัสดุจากการทดสอบแผ่นไม้หนา 2.5" จะมีค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุเทียบเท่ากับ คอนกรีตหนา 30.5 เซนติเมตร เนื่องจากช่องว่างอากาศภายในเนื้อไม้นั้นมีมากกว่าคอนกรีต แต่ความร้อนก็สามารถผ่านเนื้อไม้ได้เร็วกว่าคอนกรีต เนื่องจากมีค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) น้อยกว่าคอนกรีต ในทางกลับกัน คอนกรีตก็จะมีคุณสมบัติสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนให้ผ่านไปได้ดีกว่าไม้เนื่องจากมีค่าความจุความร้อนมากกว่าไม้ (Heat Capacity) การหน่วงเหนี่ยวความร้อนนี้ เรียกว่า Time Lag ซึ่งในอาคารที่มีโครงสร้างก่ออิฐนั้น ขนาดผนังหนา 30.5 เซนติเมตร จะสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ 10 ชั่วโมงสำหรับอิฐธรรมดา และ 6 ชั่วโมงสำหรับ Face Brick, 8 ชั่วโมงสำหรับคอนกรีตขนาดหนัก และ 20 ชั่วโมงสำหรับไม้ เนื่องจากความชื้นที่สะสมอยู่ (Lechner, N., 1991)

DAILY COOLING LOAD VARIATION



ภาพที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของระบบปรับอากาศที่ผ่านเข้ามาของอาคารมวลสารน้อยและมวลสารมากในช่วงเวลา 1 วัน (ที่มา: Passive Cooling of Building, p.189)

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร (thermo physical properties of building materials)

พลังงานความร้อนของสสารหรือวัสดุจึงเกิดจากแต่ละโมเลกุลภายในเคลื่อนไหวหรือสั่น (vibration) ความร้อนและอุณหภูมิโดยทั่วไปมีความหมายต่างกัน ความร้อนเป็นพลังงานของโมเลกุลที่เคลื่อนที่ของสสาร แต่อุณหภูมิเป็นหน่วยการวัดปริมาณการเคลื่อนที่ของแต่ละโมเลกุลโดยรวมของสสารนั้นๆ ซึ่งอุณหภูมิเป็นการวัดปริมาณพลังงานความร้อนที่อยู่ในสสาร

2.2.1 ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity)

การนำความร้อนเกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากบริเวณที่ร้อนกว่าหรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลมากกว่า ไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า หรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลช้ากว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดในทุกทิศทาง และจะไม่ขึ้นอยู่กับการนำความร้อนมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล วัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะนำความร้อนได้มาก วัสดุโลหะ เช่น อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง เป็นตัวนำความร้อนที่ดีที่สุดรองลงมาได้แก่คอนกรีตและอิฐ วัสดุธรรมชาติเช่นไม้จะมีความนำความร้อนน้อยกว่า

ค่าการนำความร้อนเป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุที่บ่งบอกถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุที่บดตันที่มีเนื้อเดียว ถูกกำหนดค่าเป็น k คือจำนวน British Thermal Units ต่อชั่วโมง (Btu/h) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุขนาด 1 ตารางฟุตที่มีความหนา 1 นิ้ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงผ่านวัสดุนี้ 1°F ภายใต้สภาวะการถ่ายเทความร้อนคงที่ (steady state conditions) หน่วยของค่า k คือ $\text{Btu/h ft}^{\circ}\text{F}$ เทียบเท่ากับระบบเมตริกคือ $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$

2.2.2 ความต้านทานความร้อน (thermal resistance)

ความต้านทานความร้อน (thermal resistance) ค่า R เป็นค่าที่บอกให้รู้ว่าคุณสมบัติของวัสดุที่ติดตั้งนั้น มีประสิทธิภาพมากน้อยแค่ไหนในการเป็นฉนวน ค่า R เป็นส่วนกลับของ conductance จะถูกวัดในจำนวนชั่วโมงที่ต้องการสำหรับความร้อน 1 Btu ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุความหนาหนึ่ง เมื่อมีความต่างของอุณหภูมิ 1°F หน่วยของ R คือ $\text{ft}^2\text{F}/\text{Btu}$ ในระบบเมตริกคือ $\text{m}^2\text{C}^{\circ}/\text{W}$ ยิ่งวัสดุมีค่า R-Value มากเท่าไร ประสิทธิภาพในความเป็นฉนวนก็ยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น

$$R = 1 / C$$

2.2.3 คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุที่เกี่ยวกับการแผ่รังสี

พฤติกรรมของการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนของพื้นผิวนอกอาคารของวัสดุที่ติดตั้งมี 3 แบบ ได้แก่ การดูดกลืนรังสีของพื้นผิววัสดุ (surface absorptivity) การสะท้อนรังสีของพื้นผิววัสดุ (surface reflectivity) และการคายรังสีของพื้นผิววัสดุ (surface emissivity) เมื่อรังสีความร้อนกระทบพื้นผิววัสดุ บางส่วนจะถูกดูดกลืนและบางส่วนจะถูกสะท้อนออกจากวัสดุในอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ลักษณะทางกายภาพเคมีของวัสดุ และความยาวของคลื่นรังสีที่ตกกระทบโดยที่ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์ของทั้งการดูดกลืนรังสีและการสะท้อนรังสีจะเท่ากับ 1 เสมอ

ค่าการดูดกลืนรังสีคือความสามารถของวัสดุและพื้นผิวที่จะดูดกลืนความร้อน ค่าการคายรังสีคือความสามารถของวัสดุและพื้นผิวของวัสดุที่จะแผ่หรือปล่อยพลังงานออกมา พื้นผิวที่หยาบจะคายรังสีออกมาได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบและเป็นมัน ส่วนค่าของการสะท้อนรังสีของพื้นผิวที่ยังมีความหนาแน่นและเรียบการสะท้อนรังสีก็ยิ่งมีมากขึ้น ในเรื่องของสีนั้นวัสดุที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่าวัสดุสีอ่อน

2.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่พื้นผิวของวัสดุ (surface convective coefficient)

การถ่ายเทความร้อนที่พื้นผิววัสดุจากการพาความร้อน ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิววัสดุกับอุณหภูมิอากาศโดยรอบ และตำแหน่งทิศทางของพื้นผิวนั้นๆ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเนื่องจากอากาศร้อนลอยตัวขึ้นและอากาศเย็นตกลง พื้นผิวทางตั้งที่ส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศในลักษณะนี้ จะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนรวดเร็วกว่าพื้นผิวเดียว กันที่วางทางนอน ถ้าทิศทางของการถ่ายเทความร้อนไม่ไปในทิศทางขึ้นสู่ข้างบนผ่านชั้นอากาศแนวนอน นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่พื้นผิวของวัสดุยังขึ้นกับความเร็วลมของอากาศที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวนั้นๆ อีกด้วย

2.2.5 ความจุความร้อน (heat capacity)

ค่าความจุความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยปริมาตร หรือพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วยพื้นที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา มีหน่วยเป็น $\text{Kcal}/\text{m}^3\text{C}^{\circ}$ สำหรับกรณีที่คิดค่าความจุความร้อนของวัสดุในหน่วยปริมาตร (CV) และมีหน่วยเป็น $\text{Kcal}/\text{m}^2\text{C}^{\circ}$ สำหรับการคิดค่าความจุความร้อนของผนัง (CW) ค่าความจุความร้อนของวัสดุสามารถหาได้จากสมการ

$C = \rho S \dots\dots\dots (Givoni, 1969)$

C	หมายถึง	ค่าความจุความร้อนของวัสดุหรือของผนัง (Kcal/m ³ °C หรือ Kcal/m ² °C)
ρ	หมายถึง	ความหนาแน่นของวัสดุหรือของผนัง (kg/m ³ หรือ kg/m ²)
S	หมายถึง	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (specific heat) มีหน่วยเป็น kcal /kg° C

จากสูตรการหาค่าความจุความร้อนที่ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ และค่าความหนาแน่นของวัสดุนั้น จะเห็นได้ว่า ในความเป็นจริงแล้วค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุใดๆ จะมีค่าในช่วงที่แตกต่างกันไม่มากนัก ในขณะที่ค่าความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ จะมีช่วงที่แตกต่างกันมาก โดยจะขึ้นอยู่กับมวลสารของวัสดุนั้นๆ เป็นหลัก จึงอาจกล่าวได้ว่า ค่าความจุความร้อนของวัสดุใดๆ จะแปรผันตามมวลสารของวัสดุนั้นๆ เป็นส่วนใหญ่

2.3 กระบวนการถ่ายเทความร้อน (heat transfer mechanisms)

ในช่วงเวลากลางวันผิวผนังอาคารเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากอิทธิพลจากแสงแดดและบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากการพา (convection) และการแผ่รังสี (radiation) ความร้อนที่ดูดซับผ่านผนังก็จะกระจายออกทางด้านในอาคาร

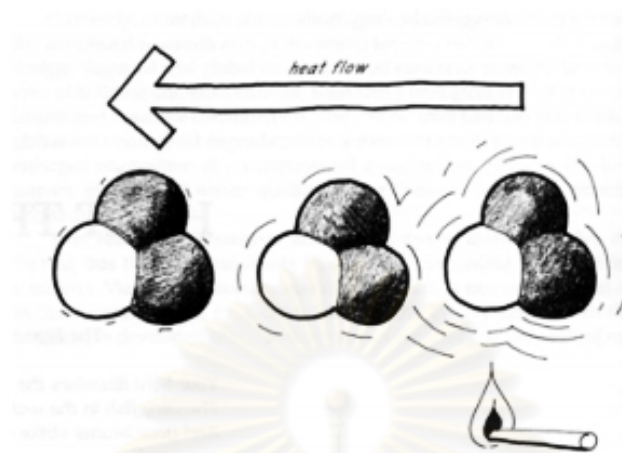
อุณหภูมิภายในผนังจะแตกต่างกันมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นผนังมวลสาร ส่วนในเวลากลางคืนการถ่ายเทความร้อนจะกลับกันเนื่องจากสภาพภายนอกของผนังเปลี่ยนไป อุณหภูมิอากาศภายนอกนั้นลดลง และไม่มีผลกระทบต่อ solar radiation ซึ่งอัตราการลดลงของอุณหภูมิก็ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ อัตราการลดลงของอุณหภูมิส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับพา (air convection) และแผ่รังสีความร้อน(heat radiation)ของวัสดุต่อสภาพแวดล้อมยิ่งความเร็วลมภายนอกมีมากก็ยิ่งลดอุณหภูมิผิววัสดุได้มากเท่านั้น

ความร้อนและอุณหภูมิตัวไปมีความหมายต่างกัน ความร้อนเป็นพลังงานของโมเลกุลที่เคลื่อนที่ของสสารแต่อุณหภูมิเป็นหน่วยการวัดปริมาณการเคลื่อนที่ของแต่ละโมเลกุลโดยรวมของสสารนั้น ๆ ซึ่งอุณหภูมิตั้งแต่เป็นการวัดปริมาณพลังงานความร้อนที่อยู่ในสสารนั่นเอง พลังงานความร้อนของสสารหรือวัสดุจึงเกิดจากแต่ละโมเลกุลภายในเคลื่อนไหวหรือสั่น (vibration)

2.3.1 การนำความร้อน (conduction)

การนำความร้อนเกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากบริเวณที่ร้อนกว่าหรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลมากกว่าไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า หรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลช้ากว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดในทุกทิศทาง และจะไม่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงของโลกวัสดุจะมีการนำความร้อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลวัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะนำความร้อนได้มาก

วัสดุโลหะ เช่น อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง เป็นตัวนำความร้อนที่ดีที่ส่งตรงลงมาได้แก่คอนกรีตและอิฐ วัสดุธรรมชาติเช่นไม้จะมีค่าการนำความร้อนน้อยกว่า



ภาพที่ 2.5 Heat transfer by conduction (Moore, Fuller,1993)

อากาศหรือก๊าซชนิดต่าง ๆ จะเป็นตัวนำความร้อนที่แย่ที่สุดทำให้อากาศเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี อย่างไรก็ตามค่าการนำความร้อนไม่สามารถผ่านไปยิ่งที่ๆ ไม่มีโมเลกุลเรียงตัวกันอย่างสูญญากาศได้ ความสามารถในการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างได้แก่คุณสมบัติของวัสดุค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิววัสดุ ความหนาวัสดุ พื้นที่สัมผัสโดยตรงกับความร้อน และช่วงเวลาที่สัมผัสนั้น เป็นต้น ค่าที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนได้แก่ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความนำความร้อน ความต้านทานความร้อน และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

2.3.1.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (conductivity:k) หน่วยW/m.^{°K} หรือ Btu.in/(ft.h.^{°F}) คือค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารในความหนา ช่วงเวลา พื้นที่ และค่าความแตกต่างอุณหภูมิหนึ่ง ๆ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนใช้ในการวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุ เช่น คอนกรีตมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 12.0 Btu.in/(ft2.h.^{°F} หมายความว่าคอนกรีตขนาด 1 ตารางฟุต หนา 1 นิ้ว มีความแตกต่างอุณหภูมิของสองด้านคอนกรีตเท่ากับ1.0 Btu แล้ว จะมีการนำความร้อน 12.0 Btu ผ่านในวัสดุใน 1 ชั่วโมง

2.3.1.2 ความนำความร้อน (conductance: C) หน่วย W/m².^{°K} หรือ Btu /(ft².h.^{°F}) คือค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารในความหนาที่กำหนดในช่วงเวลา 1 หน่วย โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 หน่วย ค่าความนำความร้อนนั้นคล้ายกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแต่หน่วยของการวัดจะกำหนดตายตัว เช่น คอนกรีตหนา 3 นิ้วมีค่าความนำความร้อนเท่ากับ 4.0 Btu /(ft².h.^{°F}) (ซึ่งมาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหารด้วยความหนา 3 นิ้ว)หมายความว่าถ้าคอนกรีตหนา 3 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางฟุต มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิกายในและภายนอก 1.0 Btu จะมีการนำความร้อน 4 Btu ผ่านวัสดุใน 1 ชั่วโมง

$$C = k / \text{ความหนาวัสดุ}$$

2.3.1.3 ความต้านทานความร้อน (resistance: R,R-value) หน่วย $m^2 \cdot ^\circ K/W$ หรือ $(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F) / Btu$ คือ ส่วนกลับของค่าความนำความร้อน เป็นค่าที่นิยมใช้ในการกำหนดค่าฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ค่า R-value ที่มากขึ้นยิ่งแสดงถึงค่าความเป็นฉนวนที่มีมาก

$$R = 1 / C$$

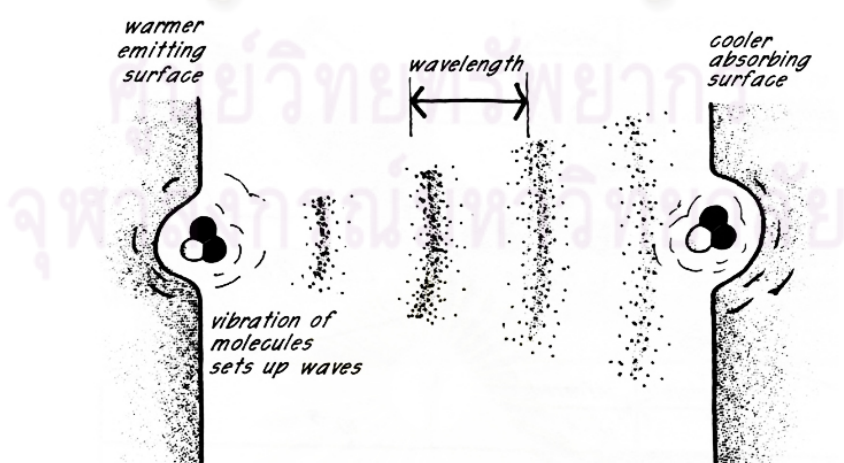
2.3.1.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (thermal transmittance: U) หน่วย $W/m^2 \cdot ^\circ K$ หรือ $Btu/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$ คือหน่วยของการวัดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามาในอาคารในช่วงเวลาหนึ่ง และพื้นที่หนึ่ง เป็นส่วนกลับของค่า R

$$U = 1/\sum R$$

$$= 1 / (R_1+ R_2+ R_3++R_n)$$

2.3.2 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อโมเลกุลของสสารเกิดการเคลื่อนไหวจะคายพลังงานคลื่นออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีความร้อนจึงเป็นการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งจะเคลื่อนที่จากวัตถุที่ร้อนกว่าไปสู่วัตถุที่เย็นกว่าเช่นเดียวกับการนำความร้อน แต่การแผ่รังสีความร้อนสามารถส่งความร้อนผ่านสุญญากาศได้ การเคลื่อนที่หรือการสั่นของโมเลกุลพื้นผิวของสสารจะก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนผ่านตัวกลางได้เร็วเท่ากับความเร็วแสง การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะช้าลงเมื่อเปลี่ยนแปลงไปเป็นคลื่นรังสีความร้อนโดยเมื่อความร้อนเคลื่อนที่ผ่านของแข็ง อากาศ หรือสุญญากาศไปจนกระทบพื้นผิววัสดุอีกด้านจะสะสมพลังงานความร้อนในด้านนั้น ๆ และทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวมากขึ้นจนอุณหภูมิสูงขึ้น และคายความร้อนออกมาก การแผ่รังสีความร้อนจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทุกทิศทาง และไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลก



ภาพที่ 2.6 Radiant energy transfer between two surface molecules.

(Moore, Fuller,1993)

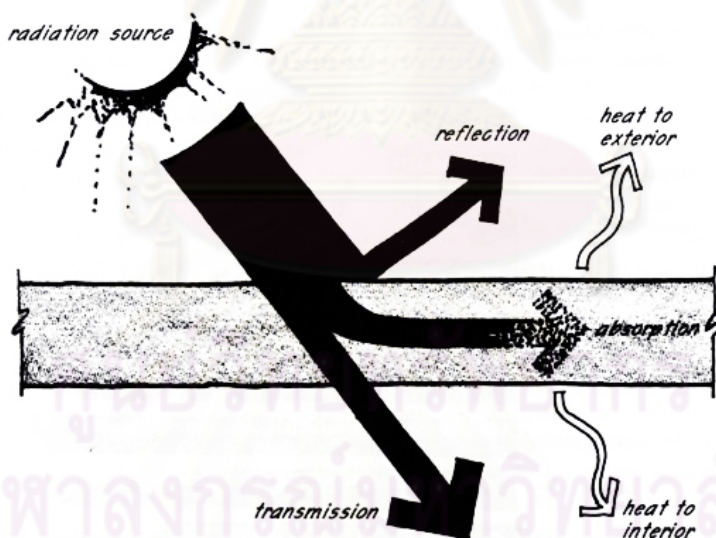
2.3.2.1 ความยาวคลื่น อุณหภูมิโมเลกุลของพื้นผิววัสดุสามารถให้ความร้อนที่วัดได้เป็นค่าความยาวคลื่น (wave length) หรือความถี่คลื่น (frequency) ได้ โมเลกุลของพื้นผิวแต่ละชนิดจะมีการเคลื่อนไหว หรือการสั่นที่แตกต่างกัน และแผ่รังสีความร้อนออกมาในความเร็วที่คงที่ การเคลื่อนไหวดังกล่าวจะทำให้เกิดความถี่ของการแผ่รังสี โมเลกุลที่เคลื่อนที่เร็วที่สุดหรือร้อนที่สุดจะคายคลื่นรังสีสั้น ๆ ออกมา เช่น คลื่นรังสีจากดวงอาทิตย์จะเป็นคลื่นสั้น (ประมาณ 0.4-4.0 micron, 1 micron = 10^{-6} เมตร) และโมเลกุลที่เคลื่อนที่ช้า ๆ จะคายรังสีคลื่นยาวซึ่งมีความยาวคลื่น 8-50 micron เมื่อพลังงานการแผ่รังสีความร้อนกระทบพื้นผิวพื้นผิวนั้นจะสามารถดูดซับ (absorption: α) ความร้อน และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนซึ่งจะทำให้ผิววัสดุอุ่นขึ้น และสามารถสะท้อนความร้อน (reflection: β) นั้นกลับไปได้ ถ้าวัสดุมีคุณสมบัติที่ความร้อนสามารถผ่านไปได้ความร้อนจะทะลุผ่าน (transmission: τ) ชั้นวัสดุออกไป ค่าการดูดซับความร้อน การสะท้อนความร้อน และการทะลุผ่านของความร้อนนั้นไม่มีหน่วย และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0-1.0 ค่าของคุณสมบัติ 3 ส่วนรวมกันจะเท่ากับ 1

$$\alpha + \beta + \tau = 1$$

α = ค่าการดูดซับความร้อนของวัสดุ

β = ค่าการสะท้อนความร้อนของวัสดุ

τ = ค่าการทะลุผ่านของความร้อนของวัสดุ



ภาพที่ 2.7 Absorption, reflection, and transmission of radiation striking a semitransparent material (Moore, Fuller, 1993)

2.3.2.2 การคายความร้อน (emissivity: ϵ) ค่าการคายความร้อนเป็นหน่วยการวัดความสามารถของผิววัสดุ ที่จะคายรังสีความร้อนออกมาในอุณหภูมิที่กำหนด ค่าการคายความร้อนสามารถวัดได้เป็น 0.0 ในกรณีที่วัสดุไม่มีการคายความร้อน ไปจนถึง 1.0 ซึ่งเป็นการคายความร้อนที่สูงที่สุดเทียบกับวัสดุจำลอง blackbody ในอุณหภูมิต่าง ๆ กันจะพบว่าค่าการคายความร้อนจะเท่ากับค่าการดูดซับความร้อน (Kirchhoff's law)

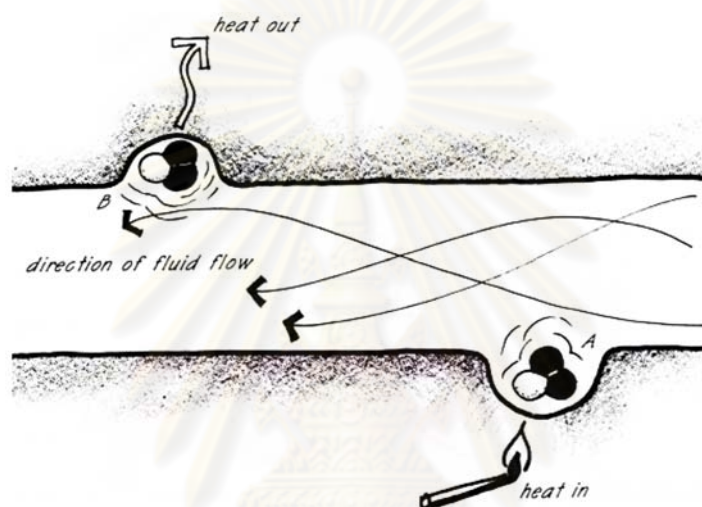
$$\epsilon = \alpha \text{ (Black body)}$$

α = ค่าการดูดซับความร้อนของวัสดุ

ϵ = ค่าการคายความร้อนของวัสดุ

2.3.3 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนคือการถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านตัวกลาง เช่นอากาศและน้ำ เมื่อสสารถูกทำให้ร้อนโมเลกุลจะเคลื่อนไหวเร็วขึ้นและแตกกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ ก่อให้เกิดการขยายตัวของสสารนั้นๆ โดยของแข็งจะมีการเพิ่มปริมาตรขึ้นของเหลวและก๊าซจะมีความหนาแน่นต่ำลง และลอยตัวขึ้น



ภาพที่ 2.8 แสดงการพาความร้อนจากจุด A ไปยังจุด B (Moore, Fuller, 1993)

จากรูปการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อน A ไปด้านเย็น B มีการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากภายนอกจนมากระทบที่จุด A ความร้อนนี้จะถ่ายเทไปที่อากาศและพาความร้อนผ่านอากาศไปยังจุด B ความแตกต่างของการนำความร้อนและการพาความร้อนคือความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของโมเลกุล การนำความร้อนนั้นโมเลกุลจะไม่เปลี่ยนตำแหน่งแต่จะเคลื่อนย้ายพลังงานจากโมเลกุลหนึ่งไปยังโมเลกุลใกล้เคียง ส่วนการพาความร้อนพลังงานจะถูกถ่ายเทไปโดยโมเลกุลจะนำไปด้วยตัวเอง

2.3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)

การวิจัยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของวัสดุให้มีค่าเท่ากันทั้งหมด ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าเท่ากับ $1/\Sigma R$ มีหน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ โดยค่า ΣR หมายถึงค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนังมีหน่วยเป็น $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ดังนั้นหากวัสดุผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากก็หมายถึง มีค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนังน้อยความร้อนจึงสามารถถ่ายเทเข้ามาสู่ภายในอาคารได้มากกว่าวัสดุผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้า หรือออกจากอาคารอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับภายใน ค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในและภายนอก จะสามารถแยกออกได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

2.3.4.1 ในกรณีที่ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในคงที่ หรือมีอิทธิพลจากองค์ประกอบภายนอกไม่รุนแรงมากนัก จะใช้สมการในการคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อน ดังนี้ (ASHARE, 1989)

$$Q = U \cdot A \cdot (t_o - t_i)$$

Q	หมายถึง	ปริมาณการถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็น W
U	หมายถึง	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
A	หมายถึง	พื้นที่ผิวที่ได้รับความร้อน มีหน่วยเป็น m^2
t_o	หมายถึง	อุณหภูมิอากาศภายนอก มีหน่วยเป็น $^\circ C$
t_i	หมายถึง	อุณหภูมิอากาศภายใน มีหน่วยเป็น $^\circ C$

2.3.4.2 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายนอก และภายในไม่คงที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้การคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อน จึงใช้ค่า CLTD (cooling load temperature difference) แทนค่า $(t_o - t_i)$ จากการศึกษา (ASHARE, 1989) พบ ว่า ค่า CLTD ดัดแปลงมาจาก $(t_o - t_i)$ โดยคำนึงถึงอิทธิพลภายนอกหลายองค์ประกอบ เช่น เวลา วัน เดือน ละติจูด มวลสารของผนัง ความชื้นและความอ่อนของสีผนัง และสภาพแวดล้อม เป็นต้น

$$Q = U \cdot A \cdot (CLTD)$$

Q	หมายถึง	ปริมาณการถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็น W
U	หมายถึง	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
A	หมายถึง	พื้นที่ผิวที่ได้รับความร้อน มีหน่วยเป็น m^2
CLTD	หมายถึง	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน

สำหรับประเทศไทย การคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่คำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มวลสาร และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ใช้ค่า TD_{eq} (equivalent temperature difference) ในการคำนวณแทนค่า CLTD ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยจะใช้สมการในการคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อนดังนี้ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536)

$$Q = (U_w) (TD_{eq})$$

Q	หมายถึง	ปริมาณการถ่ายเทความร้อนในหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น W/m^2
U_w	หมายถึง	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังที่มีหน่วยเป็น $W/m^2 \cdot ^\circ C$
TD_{eq}	หมายถึง	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น $^\circ C$

มวลของผนัง กก ม. ²	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ระดับค่ามวลของสัมประสิทธิ์การดักคลื่นรังสีอาทิตย์ (α)				
	0.1 <0-0.2>	0.3 <0.2-0.4>	0.5 <0.4-0.6>	0.7 <6-0.8>	0.9 <0.8-1.0>
0 – 125	14	15	16	17	18
126 – 195	11	12	13	14	15
เกินกว่า 195	9	10	11	12	13

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า
(คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536)

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำ ผนังภายนอก	วัสดุผนัง	สีที่ใช้ทาภายนอก
1. วัสดุที่มีผิวสะท้อน แสง [$\alpha < 0.2$]	- ผิววัสดุที่ฉายด้วยดีบุก - แผ่นอลูมิเนียม - แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอลูมิเนียม - แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียมขัดมัน	- สีสะท้อนแสง
2. วัสดุที่มีผิวอ่อน [$0.2 < \alpha < 0.4$]	- อิฐเคลือบเป็นมันสีขาว - เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	- แลคเกอร์สีขาว - สีเงิน - สีขาวเป็นเงา
3. วัสดุที่มีผิวสีปาน กลาง [$0.4 < \alpha < 0.6$]	- วัสดุที่ทำสีอลูมิเนียม - หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว - อิฐสีเหลืองอ่อน - หินอ่อนสีขาว - กรวดล้างสีขาว	- สีเขียวอ่อน - สีน้ำเงินปานกลาง - สีเหลืองปานกลาง - สีส้มปานกลาง - สีเขียวปานกลาง
4. วัสดุที่มีผิวสี ค่อนข้างเข้ม [$0.6 < \alpha < 0.8$]	- คอนกรีตไม่ทาสี - ไม้ผิวเรียบ - แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส - หินล้างสีเทา	- สีแดง - สีน้ำเงิน - สีเทาอ่อน - สีสนิมแก่ปานกลาง
5. วัสดุที่มีผิวสีเข้ม [$0.8 < \alpha < 1.0$]	- วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะตอย - คอนกรีตสีน้ำตาล - วัสดุผนังหลังคาสีเขียว - หินชนวนสีเทาแกมสีน้ำเงิน - อิฐสีแดง, อิฐแอสฟัลต์สีน้ำเงิน - คอนกรีตสีดำ	- สีน้ำเงินแก่หรือสีเขียวแก่ - สีเทาแกมน้ำเงินเข้ม - สีน้ำตาลแก่ - สีโอลีฟเข้ม - สีดำ, แลคเกอร์สีน้ำเงินแก่ - สีเทาแก่ - แลคเกอร์สีดำ - สีดำธรรมชาติ - สีดำเรียบมาก

α หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การดักคลื่นรังสีอาทิตย์

ตารางที่ 2.2 แสดงรายการวัสดุและสีผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดักคลื่นรังสีอาทิตย์
(คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536)

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของมวลสาร (parameter influencing thermal mass effectiveness)

ในการออกแบบอาคารให้ได้ผลดีที่สุดทางด้านประสิทธิภาพลดพลังงาน และภาวะน่าสบายภายในอาคารนั้น เราจำเป็นต้องทำความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง และการใช้ประโยชน์จากมวลสารของผนังภายนอกอาคาร โดยที่การใช้ประโยชน์จากมวลสารของผนังในระดับที่จะให้ผลดีที่สุดนั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นผนังอาคาร, การวางตำแหน่งและทิศทางการอาคาร, การใช้ฉนวนกันความร้อน, การระบายอากาศ, สภาพอากาศภายนอก, การใช้ระบบปรับอากาศและรูปแบบการใช้งานภายในอาคาร เป็นต้นซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลของมวลสารเท่านั้น ได้แก่

2.4.1 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ

วัสดุที่สามารถกักเก็บความร้อนเอาไว้ได้มากจะมีคุณสมบัติดังนี้คือ มีค่าความหนาแน่นมาก (ρ), มีค่าความจุความร้อนมาก (C) และมีค่าการนำความร้อนสูง (λ) ส่วนค่าของ thermal diffusivity ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\lambda / \rho C$ (หรือ $\lambda / \rho S$ เมื่อ S คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ) จะเป็นตัวแปรหนึ่งที่ควบคุมการถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อวัสดุโดยที่วัสดุที่มีค่า thermal diffusivity สูงจะมีประสิทธิภาพในการกักเก็บความร้อนตามวัฏจักรของช่วงเวลา (cycle) ได้ดีกว่าวัสดุที่มีค่า thermal diffusivity น้อย

2.4.2 การจัดวางตำแหน่งผนังมวลสารภายนอกอาคาร

ตำแหน่งและทิศทางในการจัดวางผนังมวลสารภายนอกอาคาร จะมีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง และสภาพอากาศภายในอาคารแตกต่างกัน โดยอาจแยกพิจารณาเป็นกรณีคือ ในกรณีที่ผนังมวลสารนั้นๆ ได้รับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง (direct radiation) และในกรณีที่ผนังได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรด และจากการพาความร้อนของอากาศภายในห้องความร้อนที่ถูกสะสมไว้และถ่ายเทเข้าสู่อาคารจากผนังมวลสารที่ได้รับการแผ่รังสีโดยตรงจะมีอิทธิพลกับอุณหภูมิพื้นผิวภายนอก, อุณหภูมิพื้นผิวภายในและอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมากกว่าความร้อนที่ถูกสะสม และถ่ายเทเข้าสู่อาคารจากผนังมวลสารที่ไม่ถูกรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของผนังมวลสารในแง่ของการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag) ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งทิศทางการวางผนังมวลสารนั้นๆ (Lechner, N, 1991) พบว่า

- ผนังมวลสารที่หันหน้าสู่ทิศเหนือ จะต้องการเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านนี้มีอยู่น้อย
- ผนังมวลสารที่หันหน้าสู่ทางทิศตะวันออก จะมีความต้องการเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เป็นไปได้อยู่ 2 กรณีคือ จะต้องมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่นานมากกว่า 14 ชั่วโมง เพื่อให้ความร้อนที่สะสมและถ่ายเทผ่านผนังเลื่อนเวลาไปในช่วงเย็น และอีกกรณีหนึ่งคือ ผนังมวลสารนั้นต้องมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่สูงมาก ๆ ซึ่งหากจะพิจารณาในด้านเศรษฐศาสตร์และความคุ้มทุนแล้วจะเห็นได้ว่า การใช้ผนังมวลสารทางทิศตะวันออกที่มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสั้นนั้น จะมีความเหมาะสมมากกว่า

- ผนังมวลสารที่หันหน้าทางทิศใต้ที่มีค่าการทวงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 8 ชั่วโมงก็เพียงพอสำหรับการเลื่อน และทวงเหนี่ยวความร้อนที่สะสมจากช่วงเที่ยงวันไปไว้ในช่วงเย็นได้
- ผนังมวลสารที่หันหน้าทางทิศตะวันตก จะมีความต้องการเวลาในการทวงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 8 ชั่วโมงเช่นกัน เนื่องจากช่วงเวลาที่ความร้อนสะสมอยู่ในผนังด้านนี้ เป็นเวลาที่พระอาทิตย์ใกล้ลับขอบฟ้าแล้ว

2.4.3 อิทธิพลของผนังมวลสารและฉนวนกันความร้อน

คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนและมวลสารจะมีส่วนสำคัญอย่างมากกับพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนผ่านผนังภายนอกของอาคาร การใช้ผนังมวลสารจะสามารถลดอัตราการใช้พลังงานทางด้านภาระการทำความเย็นของอาคารลงได้ในสภาพภูมิอากาศที่อาคารนั้นๆ มีภาระการทำความเย็นเป็นหลัก และจะเป็นผลดีสำหรับอาคารที่ไม่มีภาระใช้งานในช่วงค่ำ เนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังมวลสารจะค่อยๆ ถ่ายเทออกจากผนังในช่วงเวลาดังกล่าว การใช้ฉนวนกันความร้อนทั่วไป เช่น โพลีสไตรีนโฟมอาจจะทำให้อิทธิพลของผนังมวลสารในการทวงเหนี่ยวความร้อนลดลงได้ เนื่องจากฉนวนกันความร้อนนั้นๆ จะไปลดทอนความร้อนบางส่วนของผนังซึ่งอิทธิพลนี้ก็จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของฉนวนด้วยหากมองในภาพรวมแล้ว การใช้ผนังมวลสารจะมีประโยชน์อย่างมากถ้าใช้พิจารณาควบคู่ไปกับช่วงเวลาการดำเนินการของอาคาร เมื่อเทียบกับการใส่ฉนวนกันความร้อนให้กับผนังแต่เพียงอย่างเดียว

2.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อมวลสารวัสดุ (parameters influencing thermal mass effectiveness)

การใช้มวลสารที่เหมาะสมในอาคารสำนักงานนั้นจะช่วยลดภาระในการทำความเย็นได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองภายใต้สภาวะควบคุมพบว่าช่วงความต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างกลางวัน และกลางคืนที่เหมาะสมที่จะใช้ประโยชน์จากมวลสารนั้นควรที่จะอยู่ที่ประมาณ 10 องศาเซลเซียส ในทางกลับกันถ้าความต่างของอุณหภูมิอากาศช่วงกลางวันและกลางคืนต่างกันไม่เกิน 2.5 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดประโยชน์จากการใช้มวลสาร

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุอาคาร และผลกระทบจะเกิดขึ้นมากน้อยขนาดไหนนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรและสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรนั้นเป็นสิ่งสำคัญทำให้ทราบถึงวิธีการนำไปใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด ตัวแปรที่สำคัญมีดังนี้

2.5.1 Material Thermal Mass Properties and Performances

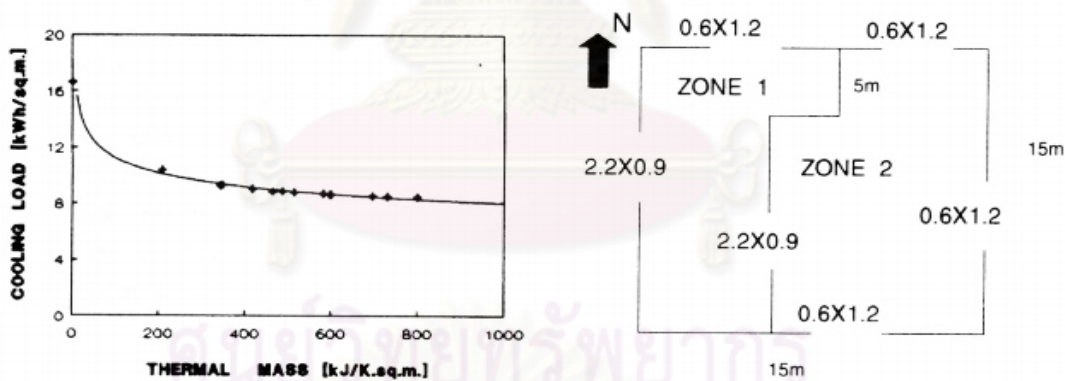
การกระจายตัวของอุณหภูมิในวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น เวลา ภูมิอากาศ คุณสมบัติของผนัง การส่งผ่านความร้อนก็จะแตกต่างกันในทั้งกลางวันและกลางคืนอย่างชัดเจน สำหรับคุณสมบัติของผนังที่แสดงถึงศักยภาพในการเก็บหรือต้านทานความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับ ค่าความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (c) ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (λ) ถ้าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติดังกล่าวต่ำ หมายความว่าวัสดุชนิดนั้นมีความสามารถกักเก็บความร้อนได้ต่ำเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องเพิ่มความหนาให้เต็มที่เพื่อที่จะสามารถกักเก็บความร้อนได้

2.5.2 Thermal Mass Location and Distributions

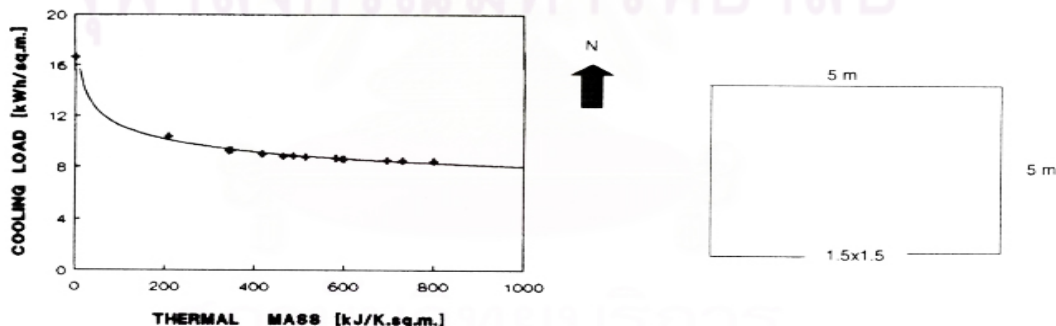
การใช้มวลสารในอาคารที่ต่างสถานที่ต่างภูมิอากาศก็ยังสามารถส่งผลกระทบต่ออาคารไม่เหมือนกัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

1. direct heat gain ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง
2. indirect heat gain ได้รับความร้อนจากการพาหรือแผ่รังสีความร้อนของวัตถุอื่น

ลักษณะการกระจายความร้อนในผนังนั้นมีความสัมพันธ์กับทิศทางของผนังและเวลา ผนังทางด้านทิศเหนือนั้นต้องการการหน่วงความร้อน (time lag) เพียงเล็กน้อย เนื่องจากมีปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังทิศเหนือไม่มาก ทิศตะวันออกนั้นควรที่จะมี time lag ประมาณ 14 ชั่วโมง ความร้อนที่เข้ามาจะถูกหน่วงจนถึงตอนเย็นทางทิศใต้และทิศตะวันตกควรที่จะมี time lag ประมาณ 8 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการใช้ผนังที่มีมวลสารนั้น ขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งานของอาคารรวมถึงเรื่องเวลาการใช้งานมวลสารภายในและสภาพภูมิอากาศโดยรอบ จากการศึกษาอาคารมวลสารผนังอาคาร โกดังเก็บของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก และอาคารให้เช่า ในสภาพภูมิอากาศต่างๆกันซึ่งศึกษาในแถบเหนือและใต้ของอเมริกา (Atlanta, Phoenix, New York และ Minneapolis) พบว่าอาคารที่ใช้งานตลอดทั้งวันความหนา (thickness) ของผนังภายในที่พอเหมาะอยู่ที่ 10 เซนติเมตร ผนังภายนอกที่เหมาะสมนั้นอยู่ที่ 15 เซนติเมตรผลจากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่า การใช้ มวลสารของผนังในอาคารนั้นสามารถแบ่งพิจารณาได้ 2 กรณี คือ อาคารพักอาศัยขนาดเล็กควรมีมวลสารภายในไม่มากนัก อาคารที่มีการใช้งานเป็นช่วงเวลา เช่น อาคารสำนักงานซึ่งมีความร้อนภายในมาก (internal heat gain) ควรมีมวลสารภายใน (internal mass) ไม่มากจนเกินไป



ภาพที่ 2.9 แสดง cooling load ใน two-zone building (Passive Cooling of Building: 1996)



ภาพที่ 2.10 แสดง cooling load ใน mono-zone building (Passive Cooling of Building: 1996)

2.6 สภาวะนำสบาย (thermal comfort)

สภาวะนำสบายทางด้านอุณหภูมิ (thermal comfort) หมายถึง สภาวะที่ร่างกายและจิตใจแสดงถึงความพึงพอใจเป็นสภาวะที่สมดุลระหว่างอุณหภูมิ หรือระหว่างร่างกายกับสภาวะแวดล้อมร่างกายไม่รู้สึกร้อน รู้สึกหนาวหรือไม่รู้สึกตัวเองว่าเราได้สูญเสียความร้อน หรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อมซึ่งความรู้สึกแต่ละบุคคลอาจแตกต่างกัน สภาวะนำสบายทางด้านอุณหภูมิเป็นความพึงพอใจแต่ละบุคคลโดยจะแตกต่างกันไปตามความชอบ ความคุ้นเคย วัฒนธรรม ลักษณะทางกายภาพและจิตใจของแต่ละบุคคล

สภาวะนำสบายของมนุษย์มีความแตกต่างกัน ในสภาพแวดล้อมหนึ่งอุณหภูมิเหมือนกันบุคคลหนึ่งอาจรู้สึกสบายอีกบุคคลอาจรู้สึกแตกต่างกันและไม่สามารถทนได้ ตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะนำสบายที่สามารถวัดได้ในทางทฤษฎีสภาวะนำสบายประกอบด้วยตัวแปรสภาพแวดล้อม และตัวแปรทางด้านบุคคลมีอยู่ด้วยกัน 6 ตัวแปรดังนี้ ตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อมประกอบด้วย 4 ตัวแปร คือ อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature), อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (mean radiant temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) และความเร็วม (wind speed) ส่วนตัวแปรทางด้านบุคคล 2 ตัวแปร คือ อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (metabolic rate) และเสื้อผ้าที่สวมใส่ (clo-value)

2.6.1 อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature)

อุณหภูมิอากาศเป็นปัจจัยหลักสำคัญที่มีผลต่อสภาวะนำสบาย ช่วงที่อุณหภูมิอากาศที่อยู่ในสภาวะนำสบาย (thermal comfort) อุณหภูมิจะอยู่ที่ประมาณ 20 องศาเซลเซียส (68 องศาฟาเรนไฮท์) ถึง 26.6 องศาเซลเซียส (80 องศาฟาเรนไฮท์) และช่วงของอุณหภูมิอากาศที่อยู่ในสภาวะนำสบาย อาจจะมีการกำหนดค่าที่แตกต่างกันออกไป เช่น ASHRAE กำหนดให้ช่วงอุณหภูมิ 72-79°F (22.2-26.1°C) เป็นช่วงสภาวะนำสบาย หากอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงสภาวะนำสบายร่างกายจะเกิดการสูญเสียความร้อนของร่างกาย โดยส่วนใหญ่ร่างกายสูญเสียจากการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากสภาวะนำสบายร่างกายจะเกิดการสูญเสียความร้อนจากการระเหยในรูปแบบของเหงื่อ อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าช่วงนี้ ผู้ใช้อาคารสามารถปรับโดยการทำความร้อน หรือการทำความเย็นเพื่อให้อยู่ในสภาวะนำสบาย (thermal comfort) นอกจากนี้อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วมจะมีผลในการช่วยส่งเสริมสภาวะนำสบายให้ดีขึ้นหรือแย่ลงได้

2.6.2 อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน (mean radiant temperature, MRT)

อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบวัดได้จากค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อน รวมถึงแสงอาทิตย์โดยตรงที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้นๆ อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน (MRT) สามารถคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของด้านต่างๆ ในห้องและตำแหน่งที่วัด MRT นั้น โดยใช้มุมกระทำ (solid angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบเขตของแต่ละพื้นผิวโดยหาค่าเฉลี่ยออกมาเป็น MRT อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิพื้นผิวที่มีผลต่อสภาวะนำสบายและการที่จะสามารถวัดออกมาได้นั้นจะใช้ในรูปของ operative temperature โดยที่ค่า operative temperature นั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศในห้อง และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวต่าง ๆ ในห้องนั้น (MRT) ในการวัดจะใช้ globe thermometer โดยใช้ลูกโหลหะทองแดงกลมทาสีดำด้านเจาะรูกลมเล็กๆ และใช้

เทอร์มิสเตอร์สอดเข้าไปให้อยู่ประมาณกึ่งกลางของลูกโหลหะกลมเทอร์มิสเตอร์นี้ จะอ่านออกมาเป็นค่าค่า operative temperature หรือ globe temperature

MRT มีผลต่อ thermal comfort มากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 40 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือถ้าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 1.4 องศาเซลเซียส และ MRT ลดลง 1 องศาเซลเซียส ความรู้สึกร้อนหนาวจะยังคงเหมือนเดิม ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ค่าของ MRT นั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิว (surface temperature) และมุมกระทำ (angle factor) MRT เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านความรู้สึกของมนุษย์ ดังนั้นในการวัด MRT จึงเป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนและทำการวัดได้ยากโดยการหา MRT จะมีวิธีการดังนี้

การวัดและคำนวณโดยใช้ค่า MRT

$$\text{MRT} = T_g + K_g * V^{0.5} * (T_g - T_a)$$

สมการข้างต้นเป็นการหาค่า MRT

MRT คือ mean radiant temperature, °F

Tg คือ globe temperature, °F

Ta คือ air dry bulb temperature, °F

V คือ air velocity, fpm

Kg คือ convection coefficient of globe as follows:

Below	75 - 79 °F	=	0.17*
	80 - 85 °F	=	0.16*
	86 - 102 °F	=	0.15*
	103 - 119 °F	=	0.14*
	120 - 125 °F	=	0.13*
	126 - 140 °F	=	0.12*

2.6.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย (thermal comfort) นั้นอยู่ในช่วง 20 - 80 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึงสัดส่วนของความชื้นในอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณสูงสุดที่อากาศสามารถมีความชื้นได้โดยปราศจากการกลั่นตัวเองเป็นหยดน้ำ (condensation) ความชื้นสัมพัทธ์มีความสำคัญมากในสภาพอากาศที่ร้อน โดยการสูญเสียความร้อนโดยการระเหยของเหงื่อ เมื่อเทียบแล้วความชื้นจะมีความสำคัญน้อยกว่าในสภาพอากาศที่เย็น เนื่องจากการสูญเสียความร้อนโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี จะมีผลมากกว่าความชื้นสัมพัทธ์

2.6.4 ความเร็วลม (wind speed)

ความเร็วลมที่ผ่านผู้อยู่อาศัยมีผลกระทบต่อ thermal comfort ลมจะพัดพาความร้อนรอบตัวออกไปทำให้รู้สึกเย็นขึ้น นอกจากนี้ยังพัดพาเอาความชื้นบริเวณผิวหนังร่างกายซึ่งจะช่วยให้การระเหยของเหงื่อดีขึ้น ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีขึ้น ทำให้รู้สึกเย็นเนื่องจากการระเหยของน้ำอย่างไรก็ตามความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างสภาวะน่าสบายหากความเร็วลมน้อยเกินไปผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกอึดอัดไม่มีอากาศถ่ายเท แต่หากความเร็วลมที่มากเกินไปก็จะทำให้รู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงานและกิจกรรมต่างๆ Reynolds และ Stein ได้จัดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม และสภาวะน่าสบายโดยการศึกษาของ Victor Olgyay ซึ่งสามารถแสดงได้ดังในตารางต่อไปนี้ (Reynolds and Stein, 1992 : 41)

ความเร็วลม	ความเป็นไปได้ของความรู้สึกอุณหภูมิลดลง (ระหว่าง 80-90 องศาฟาเรนไฮท์, ตัวเลขที่มากสนองกับบริเวณที่มีความชื้นสูง)	ผลที่อาจเกิดขึ้น
0 - 50 fpm	ไม่มีความเปลี่ยนแปลงในความรู้สึกน่าสบาย	ไม่สามารถสังเกตได้
50 - 100 fpm	ต่ำลง 2 - 3 °F	สบาย
100 - 200 fpm	ต่ำลง 4 - 5 °F	โดยทั่วไปรู้สึกสบาย แต่รับรู้ได้ว่าการเคลื่อนไหวของอากาศ
200 - 300 fpm	ต่ำลง 5 - 7 °F	รู้สึกว่ามีลมพัดเล็กน้อย จนถึงรู้สึกถูกรบกวนได้
สูงกว่า 300 fpm	ต่ำลงมากกว่า 5 - 7 °F	ต้องการการแก้ไขที่ถูกต้อง ถ้าจะให้ทำงานอย่างถูกสุขลักษณะ

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและผลที่อาจเกิดขึ้นทางด้านอุณหภูมิและความรู้สึก (ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Buildings , 8th Edition, p.41)

2.6.5 ระดับกิจกรรม (activity rate)

ร่างกายของมนุษย์นั้นจะผลิตความร้อนออกมาอย่างต่อเนื่อง ในกิจกรรมประจำวันของมนุษย์ เช่น การนอน การนั่ง การเดิน การทำงานและการออกกำลังกายล้วนแต่ทำให้เกิดการผลิตความร้อนขึ้นมาในร่างกาย ความต้องการพลังงานของร่างกายมนุษย์ทั้งหมดได้มาจากการบริโภคและย่อยอาหารเครื่องดื่มที่มนุษย์ได้รับประทานเข้าไปขบวนการในการเปลี่ยนแปลงอาหาร และเครื่องดื่มที่เราบริโภคเข้าไปให้เปลี่ยนเป็นพลังงานสำหรับร่างกายคนเรานั้นเรียกว่า metabolism

อัตราที่ร่างกายมนุษย์เราผลิตความร้อนออกมาส่วนมากขึ้นอยู่กับระดับของกิจกรรมของร่างกายขึ้นกับชนิดอาหารและเครื่องดื่มที่มนุษย์ได้บริโภคเข้าไป และบางส่วนของมันขึ้นอยู่กับสถานที่ที่มนุษย์เราอยู่ในการดำรงชีวิตประจำวันความร้อนที่ร่างกายมนุษย์เราผลิตออกมาถูกวัดเป็น metabolic หรือหน่วย met 1 met จะเท่ากับ 58.2 W/m² หรือ 18.4 Btu/h ft² ในลักษณะที่คนเรานั่งพัก เป็นพลังงานที่ผลิตขึ้นมาต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่ทั่วไป พลังงานความร้อนที่ผลิตออกมาประมาณ 117 W หรือ 400 Btu/h ยิ่งร่างกายมีกิจกรรมมากความร้อนที่ร่างกายผลิตออกมาก็ยิ่งมากตาม

ระดับกิจกรรม	Metabolic Rate (หน่วย Met)	Btu / h-ft ²
นอนพักผ่อน	0.7	13
นั่งพัก	1.0	18
ยืนพัก	1.2	22
เดิน (1.34 ม./วินาที)	2.6	48
นั่งอ่านหนังสือ , เขียนหนังสือ	1.0	18
ขับรถ	1.0 - 2.0	18 - 37
ขับรถบรรทุก	3.2	59
ทำอาหาร	1.6 - 2.0	29 - 37
ทำความสะอาด , ทำงานบ้าน	2.0 - 3.4	37 - 63
งานคุมเครื่องจักรขนาดใหญ่	4.0	74
เดินรำ	2.4 - 4.4	44 - 81
บาสเกตบอล	5.0 - 7.6	90 - 140
กีฬาว่ายน้ำหนัก	7.0 - 8.7	130 - 160

ตารางที่ 2.4 แสดง Metabolic Rate ในกิจกรรมต่างๆ

(ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Buildings , 8th Edition , p.35)

2.6.6 เสื้อผ้าที่สวมใส่ (clo-value)

ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ ถูกวัดเป็น Clo units ค่า 1 Clo จะประมาณเทียบเท่ากับชุดสูททำงานโดยทั่วไปของชาวอเมริกันในปี 1941

ลักษณะการแต่งกาย	ค่า Clo
กางเกงขาสั้น + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.41
กางเกงขายาว + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.50
กางเกงขายาว + เสื้อแขนยาว	0.62
กางเกงขายาว + เสื้อแขนยาว + เสื้อแจ็คเกต	0.96
เสื้อยืด + เสื้อแขนยาว + กางเกงหลวมขายาว + เสื้อสเวตเตอร์แขนยาว	1.01
กระโปรงยาวถึงเข่า + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น + รองเท้าแตะ	0.54
กระโปรงยาวถึงเข่า + เสื้อเชิ้ตแขนยาว + สลิปแบบเต็มตัว + รองเท้าแตะ	0.67
กระโปรงยาวถึงข้อเท้า + เสื้อเชิ้ตแขนยาว + สลิปแบบครึ่งตัว + ชุดสูท	1.10

ตารางที่ 2.5 แสดงค่า Clo ของเครื่องแต่งกายแบบต่างๆ

(ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Buildings , 8th Edition , p.37)

ตัวแปรทางด้านบุคคลนั้นได้แก่ อัตราการเผาผลาญ และเสื้อผ้าที่สวมใส่ ดังได้กล่าวมาแล้วอัตราที่มนุษย์ผลิตความร้อนออกมาขึ้นอยู่กับอาหารและเครื่องดื่มที่บริโภคเข้าไป และส่วนมากขึ้นอยู่กับระดับกิจกรรมของร่างกายยิ่งร่างกายมีกิจกรรมมาก เช่น ออกกำลังกาย ร่างกายจึงต้องการปรับถ่ายเทความร้อนที่ผลิตออกมา

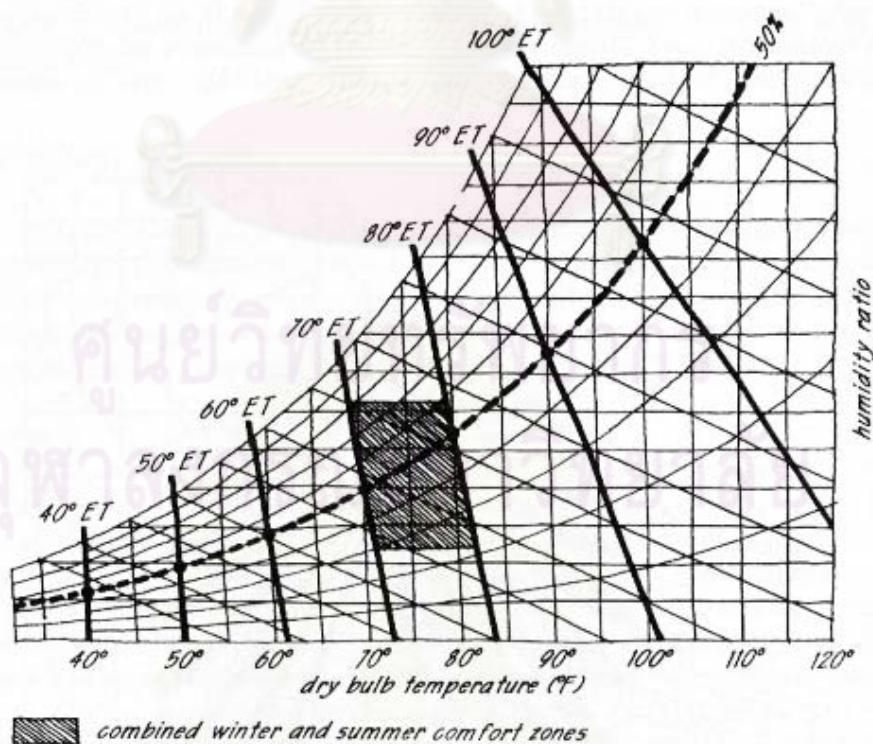
มากเพื่อรักษาระดับสมดุลไว้ ความร้อนที่ร่างกายผลิตออกมาถูกวัดเป็น metabolic หรือหน่วย met เมื่อบุคคล 2 คนทำกิจกรรมต่างกันในสภาพแวดล้อมเดียวกันคนหนึ่งนั่งพักผ่อน อีกคนหนึ่งกำลังออกกำลังกายอยู่ คนที่กำลังออกกำลังกายอยู่จะรู้สึกอุ่นหรือร้อนกว่าผู้ที่นั่งพักผ่อนอยู่เฉยๆ ทั้งนี้เพราะผู้ที่ออกกำลังกายอยู่ผลิตความร้อนออกมามากกว่า

2.6.7 ช่วงของสภาวะน่าสบาย

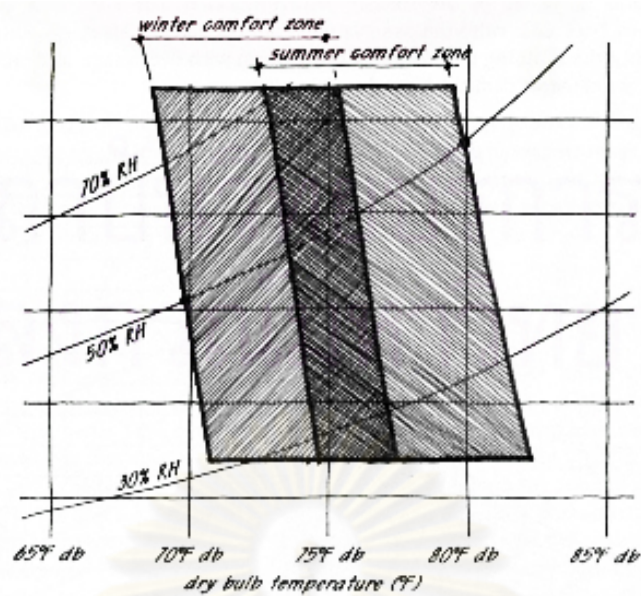
ช่วงของสภาวะที่อยู่ในสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ (thermal comfort) ได้มีการศึกษากำหนดขึ้นมาโดยเป็นการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศ และตัวแปรทางด้านสภาวะแวดล้อมทั้งสาม คือ MRT ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม โดยในการศึกษาวิเคราะห์ช่วงของสภาวะน่าสบายจะกำหนดมาเป็นช่วง หรือบริเวณซึ่งคนส่วนใหญ่รู้สึกสบาย ไม่ร้อน หรือไม่หนาวจนเกินไป ซึ่งเป็นช่วงของการประมาณ ทั้งนี้เนื่องจากยังมีตัวแปรอื่น ๆ อีกหลายตัวที่มีผลต่อความสบายของมนุษย์ เช่น ความชอบ ความคุ้นเคยของแต่ละบุคคล ลักษณะทางกายภาพและจิตใจวัฒนธรรม ระดับกิจกรรมที่ทำอยู่ และเสื้อผ้าที่สวมใส่

2.6.8 Effective Temperature

effective temperature (ET) เป็นอุณหภูมิที่นิยมใช้ในการวัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมเป็นแนวทางสำคัญที่ใช้กันมากสุดในการพิจารณาสภาพสภาวะน่าสบายของมนุษย์ โดยมุ่งสนใจในปัจจุบันแวดล้อมภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนที่ของอากาศ โดยไม่พิจารณาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์



ภาพที่ 2.11 แสดงช่วงของสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิใน psychrometric chart (ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Buildings , 8th Edition , p.41)



ภาพที่ 2.12 แสดงช่วงของสภาวะนำสบายทางด้านอุณหภูมิในฤดูหนาวและฤดูร้อน
(ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Buildings , 8th Edition , p.40)

2.6.9 Environmental Conditions

ร่างกายคนเราจะถ่ายเทความร้อนส่วนเกินไปสู่สภาพแวดล้อม 4 ทางคือ

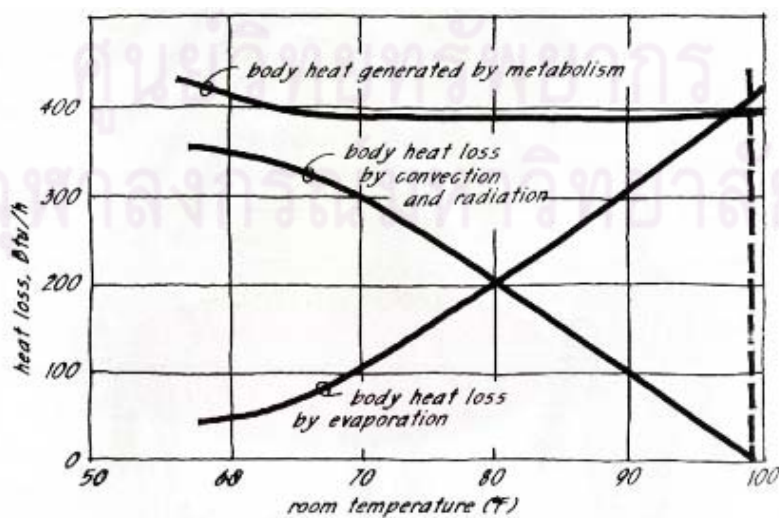
2.6.9.1 การนำ (conduction) โดยการสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นกว่า

2.6.9.2 การพา (convection) โดยโมเลกุลของอากาศจะพัดผ่านผิวร่างกายและพาความร้อนออกไป

ร้อนออกไป

2.6.9.3 การแผ่รังสี (radiation) เมื่อผิวร่างกายมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นผิวรอบๆร่างกาย (โดยไม่มี การสัมผัส) ผิวร่างกายสูญเสียความร้อนไปสู่พื้นผิวที่เย็นกว่า

2.6.9.4 การระเหย (evaporation) ของเหลวจะระเหยได้โดยการดึงความร้อนจากพื้นผิวที่ของเหลวระเหยโดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ และสัดส่วนการสูญเสียความร้อนของร่างกายได้เป็น Diagram ดังนี้



ภาพที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ และสัดส่วนการสูญเสียความร้อนของร่างกาย
(ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Buildings ,8th Edition , p.37)

จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศ และ พื้นผิวรอบๆร่างกายขึ้นสูงใกล้เคียงอุณหภูมิของร่างกาย การสูญเสียความร้อนของร่างกายโดย convection และ radiation จะลดน้อยลง การสูญเสียความร้อนโดยวิธี evaporation เป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญ ดังนั้นอากาศที่แห้ง และมีการเคลื่อนไหวจะช่วยได้มากและถ้าอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวรอบๆลดต่ำลง การสูญเสียความร้อนโดยวิธี evaporation จะลดน้อยลง ในขณะที่ convection conduction และ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง radiation จะเพิ่มขึ้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังวัสดุก่อของอาคารพักอาศัยในเขตร้อนชื้น (THERMAL PERFORMANCE OF MASONRY CONSTRUCTIONS FOR HOT HUMID CLIMATE)

การวิจัยทำการศึกษาดังพฤติกรรมในการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังที่ใช้วัสดุก่อและศึกษาถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวผนังเพื่อที่จะนำไปพัฒนารูปแบบ และความเหมาะสมของวัสดุก่อผนังสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย (อุทัย ศุภิสกุลวงศ์, 2543)

ขั้นตอนในการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- ขั้นตอนที่1** การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุก่อทั้งในกรณีปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง และในกรณีไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง
- ขั้นตอนที่2** การเลือกวัสดุที่มีศักยภาพในการป้องกันความร้อนที่ดีที่สุด ได้แก่ ผนังก่ออิฐ 8 นิ้วมีช่องอากาศและผนังที่มีระบบฉนวน
- ขั้นตอนที่3** การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศภายใน ได้แก่ การได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยตรง และค่าการดูดซับความร้อนที่แตกต่างกัน ทั้งในกรณีปรับอากาศตลอดตลอด 24 ชั่วโมง และในกรณีไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

การวิจัยการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังวัสดุก่อทำการศึกษาผนังทดสอบวัสดุต่าง ๆ 5 ชนิด ดังนี้

- ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว
- ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว
- ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีช่องอากาศ
- ผนังวัสดุก่อมวลเบา
- ผนังที่มีฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 3 นิ้ว

จากการศึกษาวิจัยพบว่า

ในกรณีไม่ปรับอากาศ พบว่าผนังก่ออิฐ 4 นิ้วและผนังวัสดุมวลเบา มีศักยภาพในการป้องกันความร้อนน้อยที่สุดเนื่องจากมวลสารมีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ และมีค่าความหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้น้อยกว่าผนังอิฐฉาบปูน 8 นิ้ว และผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีช่องว่างอากาศ ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนจากภายนอกมีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกใกล้เคียงกับผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว

ในกรณีปรับอากาศ 24 ชั่วโมง พบว่าผนังที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายนอกและภายในต่ำสุด ส่วนผนังมวลเบาที่มีค่าความแตกต่างดังกล่าวสูงสุด และจากการศึกษาถึงอิทธิพลของการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ และค่าการดูดซับของผิวผนังวัสดุที่ต่างกันส่งผลต่ออุณหภูมิภายใน โดยผนังที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกซึ่งมีค่าความต้านทานความร้อนสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในน้อยมาก

2.7.2 การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตมาประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น (A STUDY OF EPS FOAM CONCRETE PANEL APPLICATION FOR RESIDENTIAL BUILDING ENVELOPE)

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน โดยเน้นการใช้วัสดุชนิดเดียวกันมาประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคารทั้งหมด (ผนังพื้น และหลังคา) เพื่อลดขั้นตอนและระยะเวลาในการก่อสร้าง (ณัฐภณ วัชรประทีป, 2550)

ขั้นตอนการวิจัย

ทำการสร้างอาคารทดลองผนัง 8 ทิศและจำลองสภาพการใช้งานจริง เพื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นภายในอาคารบ้านพักอาศัย โดยวัสดุทดลองแต่ละชนิดมีขนาด 80 x 80 ซม. การทดลองได้ทำการวัดผลจากสภาพจริง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่ 36°C มีแดดจัดตลอดวัน และมีการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในอาคารทดลองที่ 23°C คงที่ วัสดุที่นำมาทดลองเปรียบเทียบมี 4 ชนิด ได้แก่

- ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 10 ซม.
- ผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 20 ซม.
- ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก EIFS หนา 10 ซม. และ
- ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 10 ซม.

จากผลการวิจัยพบว่า

ทิศทางของการติดตั้งผนังที่ได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมภายนอกมากที่สุด คือ ทิศตะวันตกของผนังทดลองทั้ง 4 ชนิด โดยระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ของวัสดุผนังทดลองอยู่ระหว่าง 2-4 ชั่วโมง ผนังทดลองที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจากน้อยไปหามาก ได้แก่ ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก EIFS หนา 10 ซม., วัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 20 ซม., วัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 10 ซม. และวัสดุผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 10 ซม. ตามลำดับ การคำนวณเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรวมตลอดปีของอาคารบ้านพักอาศัย พบว่าอาคารที่ใช้ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก EIFS หนา 10 ซม. มีภาระการทำความเย็นน้อยที่สุด (15,187.3 Btu/h.ft2 ต่อปี) รองลงมาคือวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 20 ซม. (15,781.9 Btu/h.ft2 ต่อปี) วัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 10 ซม. (16,295.9 Btu/h.ft2 ต่อปี) และผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 10 ซม. มีภาระความเย็นสูงที่สุด (19,115.6 Btu/h.ft2 ต่อปี) ผลสรุปจากการประยุกต์ใช้วัสดุใน

อาคารจริงพบว่า วัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตหนา 20 ซม. มีศักยภาพสูงสุดในการประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคารทั้งหมด เนื่องจากสามารถก่อสร้างได้จริงและรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารบ้านพักอาศัยทั่วไป และพบว่าสามารถลดภาระการทำความเย็นในส่วนของเปลือกอาคารได้ 6 เท่าลดขั้นตอนในการก่อสร้างและลดน้ำหนักโครงสร้างอาคารได้มากกว่าเท่าตัว นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน

2.7.3 อิทธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน (THE EFFECTS OF HEAT TRANSFER DUE TO THE COMBINATION OF MASS AND INSULATION)

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการเลือกแห้งมวลสารและฉนวน ในการทดสอบจะมีทั้งในสภาพไม่ปรับอากาศและสภาพปรับอากาศ จากนั้นจึงนำผลที่ได้รับมาวิเคราะห์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารจริง (รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ, 2543)

ขั้นตอนในการศึกษา แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการจัดวางฉนวนและมวลสารที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบพฤติกรรมของหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการใช้งานในสภาวะไม่ปรับอากาศและปรับ

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบตัวแปรจากอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

ในการศึกษาเพื่อหาตำแหน่งฉนวนและมวลสารที่เหมาะสมได้ใช้ฉนวนโพลีโอสไตรีน ความหนา 1 นิ้ว ติดตั้งกับมวลสารคอนกรีตความหนา 4 นิ้ว 2 ชุด การติดตั้งฉนวนได้ทำการติดตั้งฉนวนด้านนอกแผ่นคอนกรีต กึ่งกลางแผ่นคอนกรีต และด้านในแผ่นคอนกรีต

จากผลการวิจัยพบว่า

ตำแหน่งของฉนวนและมวลสารที่เหมาะสม คือ การใช้วัสดุฉนวนด้านนอกเพื่อลดอิทธิพลที่รุนแรงจากสภาพภูมิอากาศภายนอก และใช้วัสดุมวลสารที่มีค่าความจุความร้อนสูงไว้ด้านในเพื่อหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ผ่านวัสดุฉนวนเข้ามา วัสดุทดสอบชนิดนี้มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดในเขตทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดประมาณ 7 องศาเซลเซียส ส่วนวัสดุทดสอบอีก 2 รูปแบบคือ วัสดุทดสอบที่มีฉนวนอยู่กึ่งกลางมวลสารและวัสดุทดสอบที่มีฉนวนอยู่ด้านในมวลสาร มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดในเขตทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ประมาณ 6 องศาเซลเซียสและ 5 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลการทดสอบการใช้งานในสภาพไม่ปรับอากาศและปรับอากาศ พบว่าควรใช้การติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารด้านในทั้งสองกรณี

ผลการทดสอบตัวแปรจากอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อน พบว่าการใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน ส่งผลให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในเขตทดสอบ วัสดุทดสอบที่เคลือบผิวด้วยสีดำส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าวัสดุทดสอบชนิดเดียวกันที่

เคลือบผิวด้วยสีขาวประมาณ 1 องศาเซลเซียส ชุดวัสดุที่ไม่มีการบังแดดให้กับผิวภายนอกจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าวัสดุทดสอบชนิดเดียวกันที่มีการบังแดด ประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกันมีความเหมาะสมทั้งการใช้งานในสภาพไม่ปรับอากาศและปรับอากาศ อาคารที่ไม่ปรับอากาศควรใช้ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารปริมาณมากภายในอาคารเพื่อให้อุณหภูมิอากาศภายในเข้าใกล้สภาวะน่าสบายในช่วงเวลากลางวัน อาคารที่มีการปรับอากาศควรใช้การติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร และใช้มวลสารปริมาณน้อยภายในอาคารเพื่อให้เครื่องปรับอากาศไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการลดความร้อนสะสมในมวลสารเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ

2.7.4 อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและภาระการปรับอากาศในการออกแบบอาคาร. (THE IMPACT OF EXTERIOR WALL MASS ON THERMAL COMFORT AND COOLING LOAD IN BUILDING DESIGN)

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการออกแบบผนังภายนอกที่มีปริมาณมวลสาร และมีรูปแบบของอาคารที่มีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานทั้งในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ และสภาวะที่มีการปรับอากาศตามเวลาที่กำหนดไว้ (สรณญา ประวิตรราษฎร์, 2543)

ขั้นตอนในการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดสภาพการใช้งานอาคารที่จะทำการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็นสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ ปรับอากาศตลอด 24 ชม. ปรับอากาศเวลากลางวัน (8.00-18.00น.) และปรับอากาศเวลากลางคืน (20.00-6.00 น.)

ขั้นตอนที่ 2 การจัดกลุ่มผนังมวลสารภายนอก ที่จะทำการทดลองโดยแยกประเภทตามคุณลักษณะของมวลสาร ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่างๆ ได้ดังนี้ กลุ่ม 1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 3.979-3.989 W/m²C ได้แก่ ผนังไม้เนื้อแข็งหนา 12 มม., ผนังอิฐ 7 ซม.กับปูนทรายข้างละ 8 มม., ผนังคอนกรีตหนา 12.5 ซม. กลุ่ม 2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 0.953-0.959 W/m²C ได้แก่ ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 7 ซม. กับปูนขนาดกลางข้างละ 5 มม., ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 17 ซม.กับปูนหนาเบาข้างละ 1 ซม., ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 27 ซม. กับปูนหนาเบาข้างละ 1 ซม.

ขั้นตอนที่ 3 การจำลองสภาพการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม DOE 2.1 D. ซึ่งจะทำการเก็บวัดผลข้อมูลทางด้านอุณหภูมิภายในอาคารและค่าภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และการนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และประเมินผลการใช้งานผนังมวลสารภายนอกกับอาคารรูปแบบต่างๆ ที่มีรูปร่างภายนอกของอาคารต่างกันแต่มีพื้นที่ใช้สอยของอาคารเท่ากัน

จากผลการวิจัยพบว่า

รูปแบบผนัง และรูปแบบอาคารที่มีจำนวนชั่วโมงของอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วงสภาวะน่าสบายมากที่สุดภายใต้สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ ได้แก่ ผนังมวลสารน้อยและรูปแบบอาคารที่มีลักษณะผังพื้นแบบแผ่นสี่-มีพื้นที่ผนังอาคารมาก สภาพการใช้งานในสภาวะที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชม.และปรับอากาศ

เฉพาะเวลากลางวันนั้นจะให้ผลการทดลองเหมือนกัน คือ แบบผนังที่มีผลรวมของค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุดคือ ผนังมวลสารมาก รูปแบบอาคารที่เหมาะสมที่สุดคือ อาคารที่มีพื้นที่ผนังน้อยที่สุด (คืออาคารสี่เหลี่ยมจัตุรัส) สำหรับในสภาวะที่มีการปรับอากาศเฉพาะกลางวัน ผลการทดลองของแบบผนังและรูปแบบอาคารที่มีค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุด ได้แก่ ผนังมวลสารน้อยและรูปแบบอาคารที่มีพื้นที่ผนังอาคารที่น้อยที่สุด



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

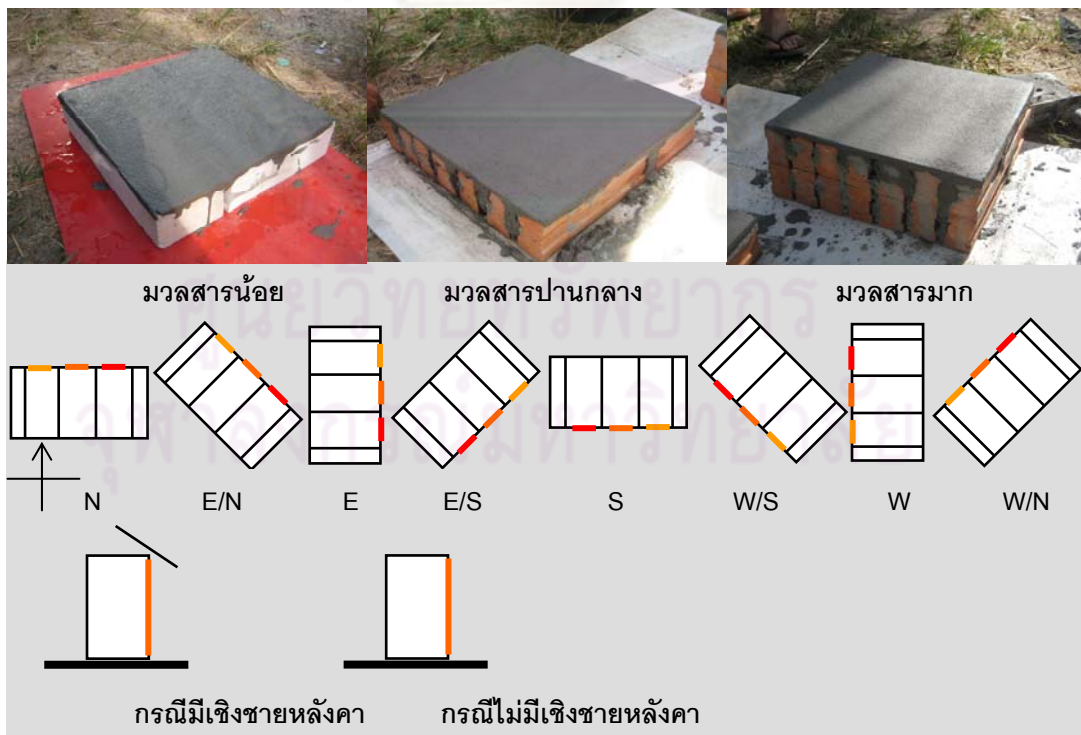
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ สรุปผล ประยุกต์ใช้กับวัสดุผนังกับทิศทางอาคารพักอาศัยอย่างมีประสิทธิภาพในภูมิภาคร้อนชื้น การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) กำหนดให้มีการสร้างห้องทดลอง (mockup for temperature testing) ณ จังหวัดสงขลา(หาดใหญ่) ตั้งอยู่ที่ละติจูด $6^{\circ} 55'N$ และลองจิจูด $100^{\circ} 26'E$ อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 34 เมตร ทำการทดลองเดือนเมษายน-กรกฎาคม เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารและทิศทาง มีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวแปรที่ทำการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) กำหนดให้มีการสร้างห้องทดลอง (mockup for temperature testing) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเข้าสู่อาคารและสภาวะน่าสบาย ตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ คือ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะด้านมวลสารของวัสดุ (thermal mass) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลทิศทาง(orientation) และตัวแปรเชิงชายหลังคา จากตัวแปรที่ทำการศึกษา ทำให้มีจำนวนกรณีศึกษาเปรียบเทียบทั้งสิ้น 48 กรณี (ภาพที่3.1)



ภาพที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ

3.1.1.1 การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะด้านมวลสารของวัสดุ (thermal mass)

พิจารณาเกณฑ์ค่าน้ำหนักของวัสดุหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเมตรเป็นตัวกำหนดวัสดุในการทดลอง และจัดกลุ่มแยกประเภทตามค่าน้ำหนักออกเป็น 3 ระดับตามเกณฑ์ข้อกำหนดของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน คือ ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก

กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) เป็นตัวแปรควบคุม การทดลองทำการศึกษาคูสมบัติของวัสดุ 3 ชนิด การทดลองนี้กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับวัสดุผนังมวลสารน้อย (Light weight4") คือ U-Value เท่ากับ 0.35 Btu/h.ft²F รายละเอียดดังนี้

- **ผนังมวลสารน้อย (low thermal mass)** มีน้ำหนัก 0-125 กิโลกรัม/ตารางเมตร กำหนดใช้วัสดุคอนกรีตมวลเบา (Light weight4") พิจารณาค่า U-Value เท่ากับ 0.35 Btu/h.ft²F กำหนดเป็นตัวแปรอ้างอิงหรือตัวแปรตั้งต้น

- **ผนังมวลสารปานกลาง (medium thermal mass)** มีน้ำหนัก 126-195 กิโลกรัม/ตารางเมตร กำหนดใช้วัสดุอิฐมวลเบาปูนครึ่งแผ่น (Brick4") ติดฉนวนโฟมหนา 0.27" พิจารณาค่า U-Value ของวัสดุผนังมวลสารปานกลาง (Brick4") เปรียบเทียบกับ U-Value ของวัสดุผนังมวลสารน้อยปรากฏว่ามีค่ามากกว่าจึงต้องลดค่า U-Value ของผนังมวลสารปานกลางโดยการติดฉนวนโฟมหนา 0.27" ซึ่งมีค่า U-Value เท่ากับ 0.21 Btu/h.ft²F ทำให้ค่า U-Value ของผนังมวลสารปานกลางเทียบเท่ากับค่า U-Value ของผนังมวลสารน้อย

- **ผนังมวลสารมาก (high thermal mass)** มีน้ำหนัก >195 กิโลกรัม/ตารางเมตร กำหนดใช้วัสดุอิฐมวลเบาปูนเต็มแผ่น (Brick8") ติดฉนวนโฟมหนา 0.12" พิจารณาค่า U-Value ของวัสดุผนังมวลสารมาก (Brick8") เปรียบเทียบกับ U-Value ของวัสดุผนังมวลสารน้อยปรากฏว่ามีค่ามากกว่าจึงต้องลดค่า U-Value ของวัสดุผนังมวลสารมากโดยการติดฉนวนโฟมหนา 0.1075" ซึ่งมีค่า U-Value เท่ากับ 0.06 Btu/h.ft²F ทำให้ค่า U-Value ของผนังมวลสารมาก เทียบเท่ากับค่า U-Value ของผนังมวลสารน้อย



ภาพที่ 3.2 การติดฉนวนโฟมวัสดุอิฐมวลเบาปูนครึ่งแผ่น Brick 4" และอิฐมวลเบาปูนเต็มแผ่น Brick 8"

	Light weight	Brick 4"	Brick 8"
$U_{old} = 1/\sum R_{old}$ (Btu/h.ft ² F)	0.35	0.56	0.41
$U_{Insulation} = 1/\sum R_{Insulation}$ (Btu/h.ft ² F)	-	0.21	0.06
$U_{new} = 1/\sum R_{new}$ (Btu/h.ft ² F)	0.35	0.56-0.21 = 0.35	0.41-0.06 = 0.35
Insulation Thickness	-	0.27"	0.1075"

ตารางที่ 3.1 การปรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ Brick 4", Brick 8" โดยการเพิ่มฉนวน (Insulation)

low thermal mass (light weight4")			medium thermal mass (brick4")			high thermal mass (brick8")		
	X/K	R		X/K	R		X/K	R
Ro		0.25	Ro		0.25	Ro		0.25
R1	0.5/5	0.10	R1	0.5/5	0.10	R1	0.5/5	0.10
R2		1.75	R2	3/4.5454	0.66	R2	3/4.5454	0.66
R3	0.5/5	0.10	R3	0.5/5	0.10	R3	3/4.5454	0.66
Ri		0.68	R4	0.2725/0.25	1.09	R4	0.5/5	0.10
			Ri		0.68	R5	0.1075/0.25	0.43
						Ri		0.68
ΣR (ft ² o F.h/Btu)		2.88	ΣR (ft ² o F.h/Btu)		2.88	ΣR (ft ² o F.h/Btu)		2.88
$U= 1/\Sigma R$ (Btu/h.ft ² oF)		0.35	$U= 1/\Sigma R$ (Btu/h.ft ² oF)		0.35	$U= 1/\Sigma R$ (Btu/h.ft ² oF)		0.35

low thermal mass Ro=Outside air layer, R1=Sand aggregate 0.5", R2=Common brick, R3=Sand aggregate 0.5" ,Ri=Inside air layer

medium thermal mass Ro=Outside air layer, R1=Sand aggregate 0.5" , R2=Common brick, R3=Sand aggregate 0.5" , R4=Insulation foam, Ri=Inside air layer

high thermal mass Ro=Outside air layer, R1=Sand aggregate 0.5" , R2=Common brick R3 = Common brick, R4=Sand aggregate 0.5" , R5=Insulation foam, Ri=Inside air layer

ตารางที่ 3.2 การปรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนให้เท่ากันทั้ง 3 วัสดุ (U-Value = 0.35 Btu/h.ft²oF)

การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะด้านมวลสารของวัสดุ (thermal mass) พิจารณาวัสดุที่นิยมใช้มากในก่อสร้างผนังอาคารพักอาศัยในประเทศไทย รายละเอียดวัสดุมีดังนี้

คอนกรีตมวลเบา

วัสดุคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่ออีกชนิดหนึ่งใช้รับน้ำหนัก (Load Bearing Wall) และผนังปกติ (Non Load Bearing Wall) ขนาด 20x60 ซม. การทดลองพิจารณาความหนา 7.5 ซม. (ผนัง 1 ตร.ม. ใช้คอนกรีตมวลเบา 8.33 ก้อน) พบว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีคุณสมบัติพื้นฐานดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.3 วัสดุคอนกรีตมวลเบา

คุณสมบัติ	คอนกรีตมวลเบา
ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$)	1.04318 m ² °C/ W
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	0.95860 W /m ² °C
ค่าความจุความร้อนรวม (C)	10.53 kcal/ m ² °C
มวลของผนัง (W)	56.04 kg/m ²

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบา

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปี 2536 และ Mechanical and Electrical Equipment for Buildings , 8th Edition

อิฐมอญ

อิฐมอญเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างผนังอาคารมานาน เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่ายราคาถูก อิฐมอญทำจากดินเหนียวผสมซีเมนต์แล้วเผา และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยอาจผสมวัสดุอื่นกวนด้วยเครื่องกวนจนเป็นเนื้อเดียวกันใส่แบบพิมพ์อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำไปเผาจนสุก คุณสมบัติของอิฐมอญเป็นวัสดุที่ยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่าย และยังดูดเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานานกว่าจะเย็นตัวลง



ภาพที่ 3.4 วัสดุอิฐมอญครึ่งแผ่น (Brick4")

คุณสมบัติ	อิฐมอญฉาบปูนครึ่งแผ่น (Brick4")
ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$)	0.25126 m ² °C/ W
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	3.9799 W /m ² °C
ค่าความจุความร้อนรวม (C)	29.90 kcal/ m ² °C
มวลของผนัง (W)	156.12 kg/m ²

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังอิฐมอญ

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปี 2536 และ Mechanical and Electrical Equipment for Buildings , 8th Edition

อิฐมอญฉาบปูนเต็มแผ่น



ภาพที่ 3.5 อิฐมอญฉาบปูนเต็มแผ่น

คุณสมบัติ	อิฐมอญฉาบปูนเต็มแผ่น (brick8")
ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$)	0.30906 m ² °C/W
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	3.2356 W/m ² °C
ค่าความจุความร้อนรวม (C)	59.80 kcal/m ² °C
มวลของผนัง (W)	312.24 kg/m ²

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังอิฐมอญฉาบปูนเต็มแผ่น (brick8")

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปี 2536 และ Mechanical and Electrical Equipment for Buildings , 8th Edition

3.1.1.2 การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลทิศทาง (orientation)

การวิจัยศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลทิศทาง (orientation) เพื่อพิจารณาการถ่ายเทความร้อนจากอิทธิพลรังสีดวงอาทิตย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยพิจารณาทิศทางอาคาร 8 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

3.1.1.3 การศึกษาตัวแปรเชิงชายหลังคา

การวิจัยศึกษาตัวแปรเชิงชายหลังคา (ระยะยื่น 1.50 ม. ลาดเอียง 30 องศา) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อน 2 กรณี คือ กรณีมีเชิงชายหลังคา และกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

3.1.2 ห้องทดลอง (Mockup for Temperature Testing)

ห้องทดลองสร้างขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอก และทิศทางในสภาวะแวดล้อมจริงกำหนดให้ทำการสร้างห้องทดลองขนาด 2.88 ตารางเมตร (1.2x2.4x2.4m³) ในอัตราส่วน 1:1 จำนวน 3 ห้อง 2 กรณี คือ กรณีมีเชิงชายหลังคา และกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา โดยกำหนดให้มีฐานสามารถหมุนทิศทางการทดลองได้ทั้ง 8 ทิศ กำหนดห้องทดลองเป็นระบบปิดเพื่อลดตัวแปรแทรกซ้อนในการทดลองโดยกำหนดผนังให้มีค่าความเป็นฉนวนเพื่อป้องกันปัจจัยจากอิทธิพลภายนอกห้องทดลอง เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ลม และรังสีแสงอาทิตย์

3.1.2.1 ทิศทางการวางตัวอาคาร (Direction) ทำการพิจารณาทั้งหมด 8 ทิศ คือทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

3.1.2.2 ผนังห้องทดลอง ก่อสร้างผนังอาคารโดยใช้มวลสารผนังภายนอก 3 ชนิด คือ มวลสารน้อย มวลสารปานกลาง และมวลสารมาก เพื่อทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่เข้ามาภายในห้องทดลอง กำหนดให้มีวัสดุในการทดลอง

3.1.2.3 สถานที่ทำการทดลอง กำหนด ณ จังหวัดสงขลา(หาดใหญ่) ตั้งอยู่ที่ละติจูด $6^{\circ} 55'N$ และลองจิจูด $100^{\circ} 26'E$ อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 34 เมตร ทำการทดลองเดือนเมษายน-กรกฎาคม ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น สภาพท้องฟ้าส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky) กำหนดพื้นที่ก่อสร้าง บริเวณลานโล่ง โดยทำการหมุนห้องทดลองตามทิศทางที่ต้องการ เพื่อนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ของมวลสาร และทิศทางที่เกิดขึ้น

ประเภท	วัสดุ
1. โครงสร้าง	Steel 2X4 in.
2. ผนัง หลังคาห้องทดลอง	Insulation foam 4 in.
3. พื้น	Viva board 12 mm.
4. เซึ่งชาย	Viva board 15 mm.

ตารางที่ 3.6 วัสดุที่ใช้ในการทำห้องทดลอง

รายละเอียดห้องทดลอง

1. ห้องทดลองขนาด 2.88 ตารางเมตร $1.2 \times 2.4 \times 2.4$ เมตร ทำการก่อสร้างห้องทดลองจำนวน 3 ห้อง
2. ผนังห้องทดลองด้านหน้า ใช้มวลสารผนังภายนอก 3 ชนิด คือ มวลสารน้อย มวลสารปานกลาง และมวลสารมาก ขนาด 1.2×2.4 เมตร
3. ผนังด้านหลัง ทำประตูขนาด 1.2×1.2 เมตร เพื่อติดตั้งอุปกรณ์และเก็บข้อมูลอากาศภายใน
4. ผนังและหลังคา เป็นผนังทึบใช้วัสดุฉนวนโฟมเพื่อป้องกันอิทธิพลจากปัจจัยภายนอก เช่น ความร้อน และความชื้น
5. พื้นห้องทดลอง ใช้วัสดุพื้นวีว้าบอร์ดหนา 15 มม. โครงสร้างฐานห้องทดลองให้เหล็กกล่องขนาด 2X4 นิ้ว สามารถปรับหมุนตามตัวแปรการทดลองได้ทั้ง 8 ทิศ

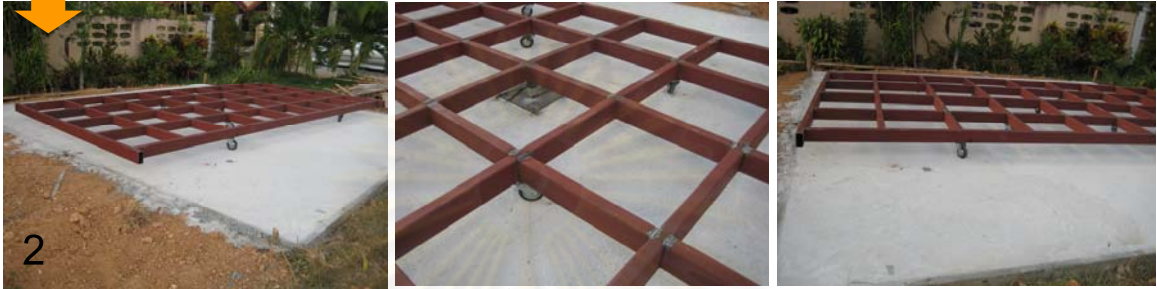


ภาพที่ 3.6 ห้องทดลอง



1

ขั้นตอนที่ 1 การปรับพื้นที่และการทำงานฐานห้องทดลอง



2

ขั้นตอนที่ 2 การทำฐานห้องทดลองเพื่อรับน้ำหนัก และสามารถปรับมุมทิศทางห้องทดลอง



3

ขั้นตอนที่ 3 การวางแผ่นโฟมเพื่อกันความชื้น และวางแผ่นพื้นวีว้าบอร์ด 15 มม.



4

ขั้นตอนที่ 4 การประกอบผนังโฟมหนา โฟมหนา 4 นิ้ว



5

ขั้นตอนที่ 5 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของอุณหภูมิกายในห้องทดลอง

ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการทำห้องทดลอง



ขั้นตอนที่6 การก่อสร้างมวลสารผนังภายนอกทั้ง 3 ชนิด



ขั้นตอนที่7 การก่อสร้างห้องทดลอง



ขั้นตอนที่8 การก่อสร้างมวลสารผนังภายนอกทั้ง 3 ชนิด



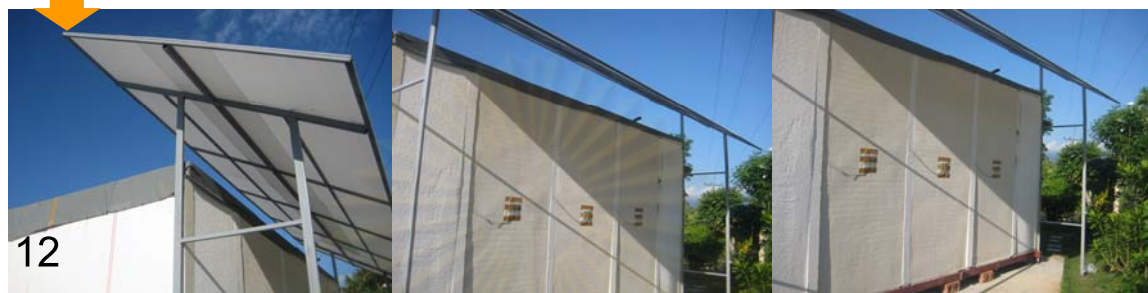
ขั้นตอนที่9 การฉาบผิวมวลสารผนังภายนอก



ขั้นตอนที่10 การปิดวัสดุฉนวนโฟมเพื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ
ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการทำห้องทดลอง



ขั้นตอนที่ 11 การวัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศทุกทิศทาง กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา



ขั้นตอนที่ 12 การวัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศทุกทิศทาง กรณีมีเชิงชายหลังคา

ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการทำห้องทดลอง(ต่อ)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล

การเก็บบันทึกข้อมูลการทดลองอิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองเป็นหลัก รวมถึงเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลองทุกชั่วโมงเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้



ภาพที่ 3.10 อุปกรณ์ใช้ในการทดลองวัดอุณหภูมิ(Hobo)

3.2.1.1 เครื่องมือบันทึกข้อมูลด้านอุณหภูมิ(Hobo)การวิจัยทำการเก็บบันทึกการวิจัย มีดังนี้

- อุณหภูมิอากาศภายนอก ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature)
- อุณหภูมิผิวภายนอกมวลสาร
- อุณหภูมิผิวภายในมวลสาร
- อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature)

3.2.1.2 หัวSensor วัดอุณหภูมิ (Termistor) มีการทำงานโดยการวัดค่าอุณหภูมิผิวผนังภายในและผิวผนังภายนอกมวลสารผนังภายนอกทั้ง 3 ชนิด และส่งเป็นสัญญาณไปยังเครื่องบันทึกข้อมูล Hobo ภายในอาคาร

3.2.1.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer)

3.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ก่อนการทดลองกำหนดให้ทำการทดสอบความน่าเชื่อถือเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อความถูกต้องเที่ยงตรงของข้อมูล อุปกรณ์ที่ทำการทดสอบความน่าเชื่อถือ มีดังนี้

1. การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัวSensor
2. การตรวจสอบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (Mockup for temperature testing)



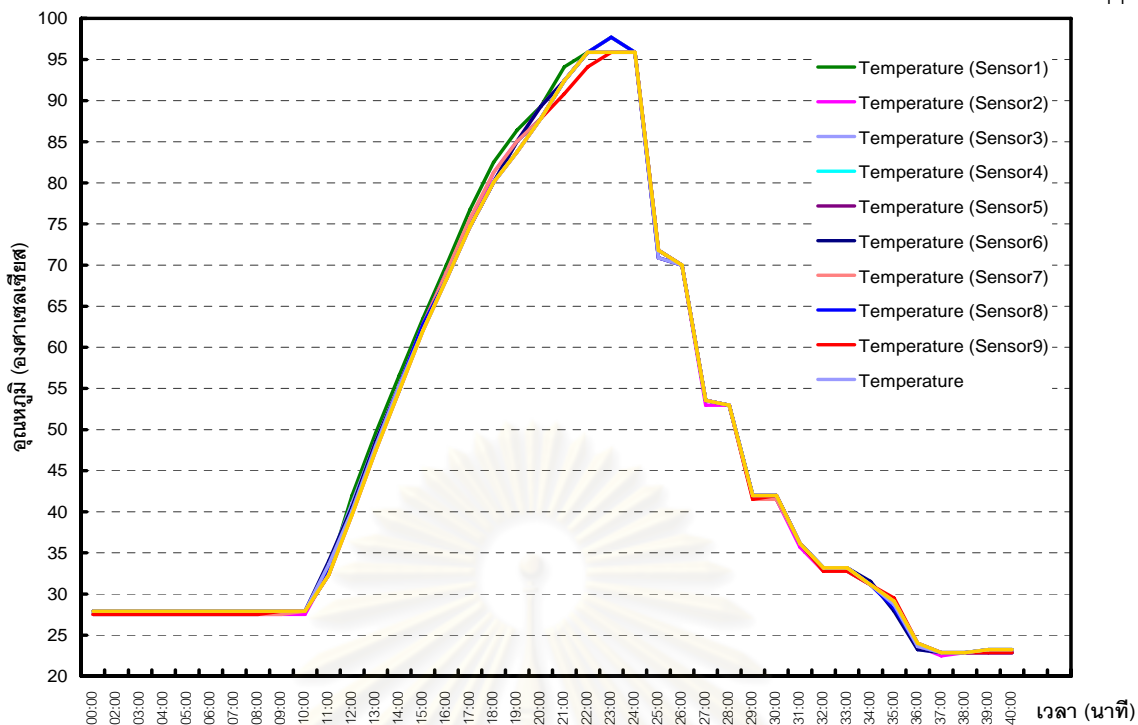
ภาพที่ 3.11 การวัดค่าความถูกต้องเครื่องมือวัดอุณหภูมิ หัว Sensor และการตรวจสอบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลอง

3.3.1 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัวSensor

การตรวจสอบทำโดยการต่ออุปกรณ์ในการวัดเก็บข้อมูลให้ถูกต้อง จากนั้นนำหัว Sensor ทั้งหมดจุ่มลงในน้ำร้อน กวนหัว Sensor ทั้งหมดเพื่อให้ Sensor อ่านอุณหภูมิน้ำได้ทั่วถึงและทิ้งไว้ให้น้ำมีอุณหภูมิลดลงอย่างช้าๆ นำข้อมูลดิบที่ได้มาการตรวจสอบข้อมูลอุณหภูมิ โดยการศึกษาทิศทาง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากกราฟ และหากหัว Sensor อุณหภูมิคลาดเคลื่อนทำการคัดแยกไม่นำมาใช้ในการทดลอง

Time	Temperature Sensor (°C)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
00:00	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91
02:00	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91
03:00	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91
04:00	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91
05:00	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91
06:00	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91
07:00	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91
08:00	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91
09:00	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91
10:00	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91
11:00	32.76	32.76	33.59	32.34	32.34	34.01	32.34	32.76	32.34	33.59	32.34	32.34
12:00	41.99	40.59	41.05	40.13	40.13	40.59	40.13	40.13	39.67	40.13	39.67	39.67
13:00	49.56	48.49	48.49	47.96	47.96	48.49	47.96	47.96	47.43	47.96	47.43	47.43
14:00	56.6	55.35	55.35	54.74	54.74	55.35	55.35	55.35	54.74	55.35	54.74	54.74
15:00	63.48	62.74	62.74	62.74	62.74	62.74	62.74	62.74	62.01	62.01	62.01	62.01
16:00	69.98	69.11	69.11	69.11	69.11	69.11	69.11	68.25	68.25	68.25	68.25	68.25
17:00	76.76	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	75.71	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69
18:00	82.49	81.27	80.09	80.09	80.09	80.09	81.27	80.09	80.09	80.09	80.09	80.09
19:00	86.42	85.06	85.06	85.06	85.06	85.06	85.06	83.75	83.75	83.75	83.75	83.75
20:00	89.3	89.3	87.83	87.83	87.83	89.3	87.83	87.83	87.83	87.83	87.83	87.83
21:00	94.11	92.44	92.44	92.44	92.44	92.44	92.44	92.44	90.83	92.44	92.44	92.44
22:00	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	94.11	95.87	95.87	95.87
23:00	97.72	95.87	97.72	95.87	95.87	95.87	95.87	97.72	95.87	95.87	95.87	95.87
24:00	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87
25:00	71.8	71.8	70.88	71.8	71.8	70.88	70.88	70.88	71.8	70.88	71.8	71.8
26:00	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98
27:00	53.53	52.95	53.53	53.53	53.53	53.53	53.53	53.53	53.53	53.53	53.53	53.53
28:00	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95
29:00	41.99	41.99	41.99	41.99	41.99	41.99	41.52	41.99	41.52	41.99	41.99	41.99
30:00	41.52	41.52	41.99	41.99	41.99	41.99	41.52	41.99	41.99	41.99	41.99	41.99
31:00	36.13	35.7	36.13	36.13	36.13	36.13	36.13	36.13	36.13	36.13	36.13	36.13
32:00	32.76	32.76	33.17	33.17	33.17	33.17	32.76	33.17	32.76	33.17	33.17	33.17
33:00	32.76	32.76	33.17	33.17	33.17	33.17	32.76	33.17	32.76	33.17	33.17	33.17
34:00	31.12	31.12	31.12	31.12	31.12	31.52	31.12	31.12	31.12	31.12	31.12	31.12
35:00	29.10	28.70	28.31	29.10	29.10	27.91	29.10	28.31	29.50	28.70	29.10	29.10
36:00	23.63	23.63	23.24	24.01	24.01	23.24	23.63	23.63	24.01	23.63	24.01	24.01
37:00	22.86	22.48	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86
38:00	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86
39:00	22.86	22.86	22.86	23.24	23.24	23.24	22.86	22.86	22.86	23.24	23.24	23.24
40:00	22.86	22.86	22.86	23.24	23.24	23.24	22.86	22.86	22.86	23.24	23.24	23.24

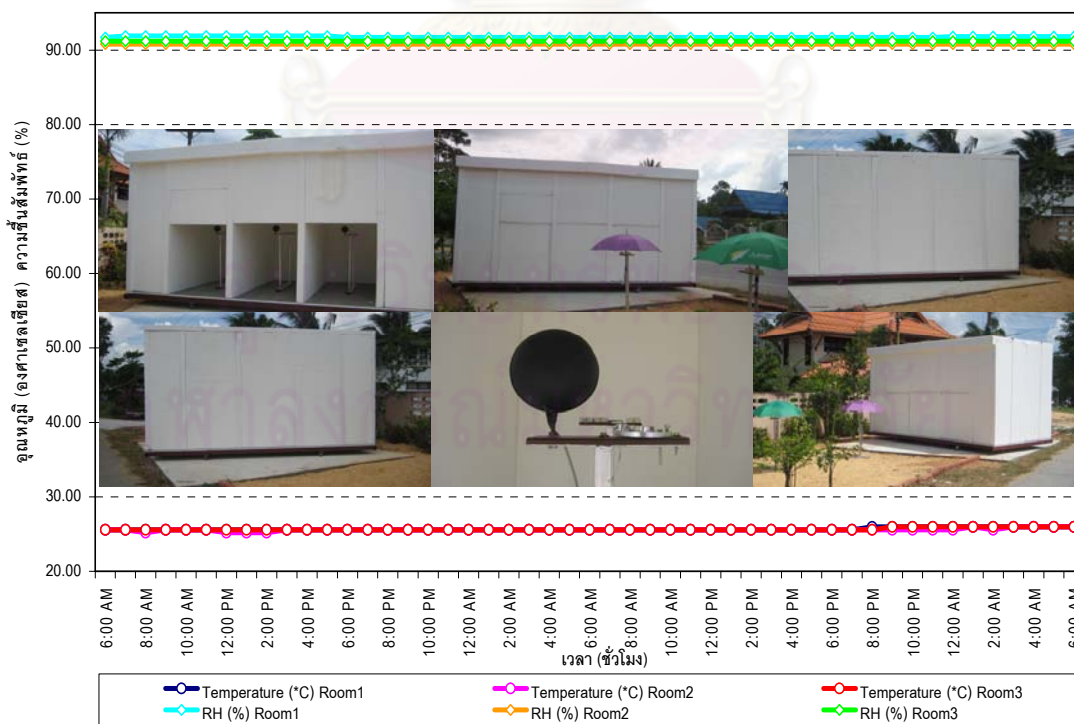
ตารางที่ 3.7 ค่าอุณหภูมิหัว Sensor 12 หัว เวลาทดลอง 40 นาที



แผนภูมิที่ 3.1 ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิหัว Sensor จำนวน 12 หัว เวลา 40 นาทื

3.3.2 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของห้องทดลอง

การทดสอบความน่าเชื่อถือข้อมูลอุณหภูมิภายในห้องทดลองทำโดยการวัดอุณหภูมิห้องทดลองทั้ง 3 ห้อง โดยการปิดไฟมหนา 4 นิ้ว ห้องทดลองทุกด้านจากนั้นทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (temperature °C) ภายในห้องทดลอง



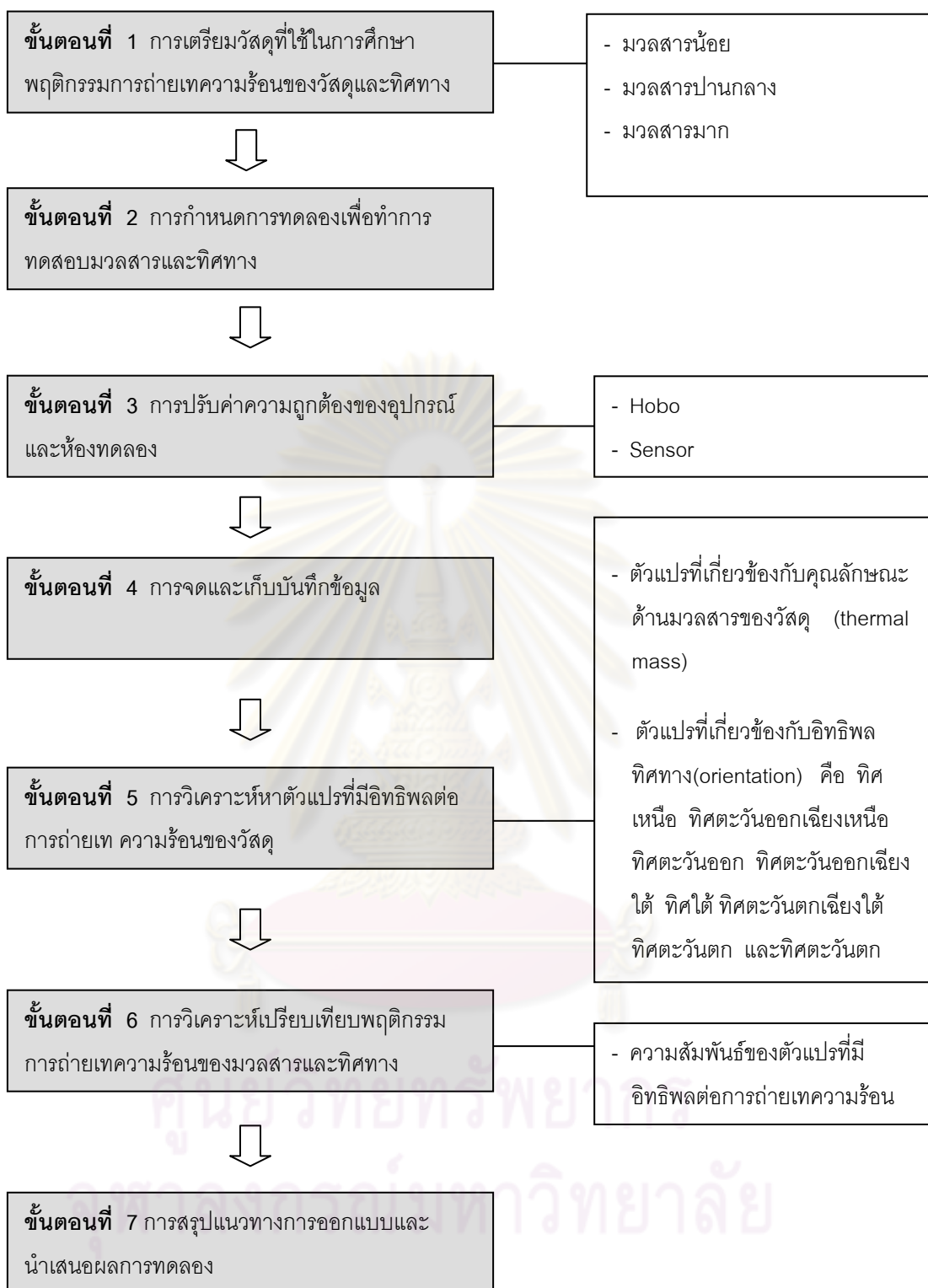
แผนภูมิที่ 3.2 ข้อมูลการตรวจวัดความถูกต้องของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ RH (%) ห้องทดลองทั้ง 3 ห้องทดลองวันที่ 17 ก.พ. 2553 เวลา 48 ชั่วโมง เวลา 06.00น. - 06.00น.

Date Time	Temperature (*C) Room1	Temperature (*C) Room2	Temperature (*C) Room3	Date Time	Temperature (*C) Room1	Temperature (*C) Room2	Temperature (*C) Room3
6:00	25.4	25.56	25.7	7:00	25.4	25.56	25.7
7:00	25.4	25.56	25.7	8:00	25.4	25.56	25.7
8:00	25.4	25.56	25.7	9:00	25.4	25.56	25.7
9:00	25.4	25.56	25.7	10:00	25.4	25.56	25.7
10:00	25.4	25.56	25.7	11:00	25.4	25.56	25.7
11:00	25.4	25.56	25.7	12:00	25.4	25.56	25.7
12:00	25.4	25.56	25.7	13:00	25.4	25.56	25.7
13:00	25.4	25.56	25.7	14:00	25.4	25.56	25.7
14:00	25.4	25.56	25.7	15:00	25.4	25.56	25.7
15:00	25.4	25.56	25.7	16:00	25.4	25.56	25.7
16:00	25.4	25.56	25.7	17:00	25.4	25.56	25.7
17:00	25.4	25.56	25.7	18:00	25.4	25.56	25.7
18:00	25.4	25.56	25.7	19:00	25.4	25.56	25.7
19:00	25.4	25.56	25.7	20:00	25.4	25.56	25.7
20:00	25.4	25.56	25.7	21:00	25.4	25.56	25.7
21:00	25.4	25.56	25.7	22:00	25.4	25.56	25.7
22:00	25.4	25.56	25.7	23:00	25.4	25.56	25.7
23:00	25.4	25.56	25.7	0:00	25.4	25.56	25.7
0:00	25.4	25.56	25.7	1:00	25.4	25.56	25.7
1:00	25.4	25.56	25.7	2:00	25.4	25.56	25.7
2:00	25.4	25.56	25.7	3:00	25.4	25.56	25.7
3:00	25.4	25.56	25.7	4:00	25.4	25.56	25.7
4:00	25.4	25.56	25.7	5:00	25.4	25.56	25.7
5:00	25.4	25.56	25.7	6:00	25.4	25.56	25.7
6:00	25.4	25.56	25.7				

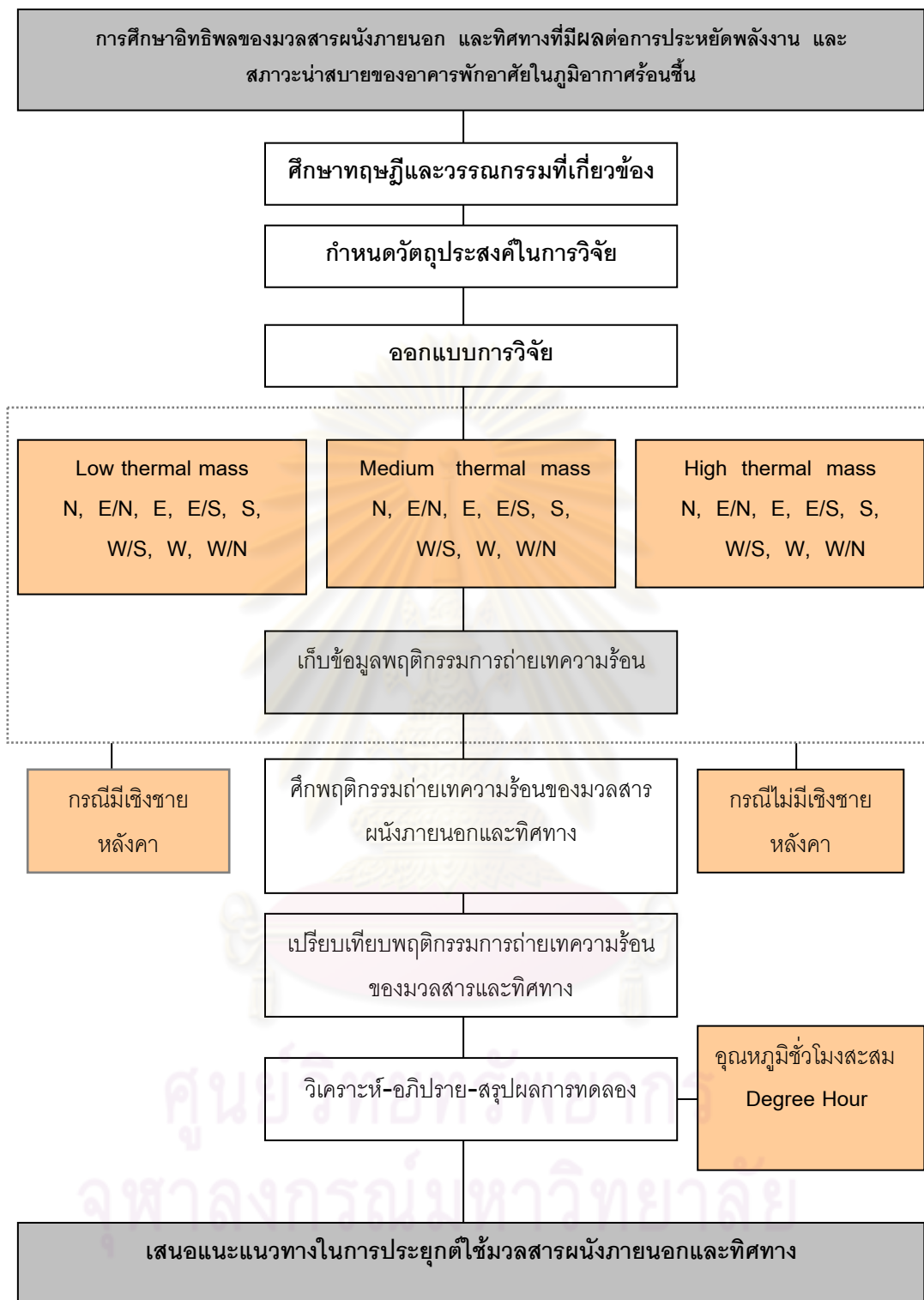
ตารางที่ 3.8 ข้อมูลการตรวจวัดความถูกต้องของอุณหภูมิ ห้องทดลองทั้ง 3 ห้อง ทดลองวันที่ 17 ก.พ. 2553 เวลา 48 ชั่วโมง เวลา 06.00น. - 06.00น.



ภาพที่ 3.12 การทดสอบห้องทดลองโดยการวัดอุณหภูมิทั้ง 3 ห้อง



ภาพที่ 3.13 แสดงขั้นตอนการวิจัยอิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน และ
สภาวาน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น



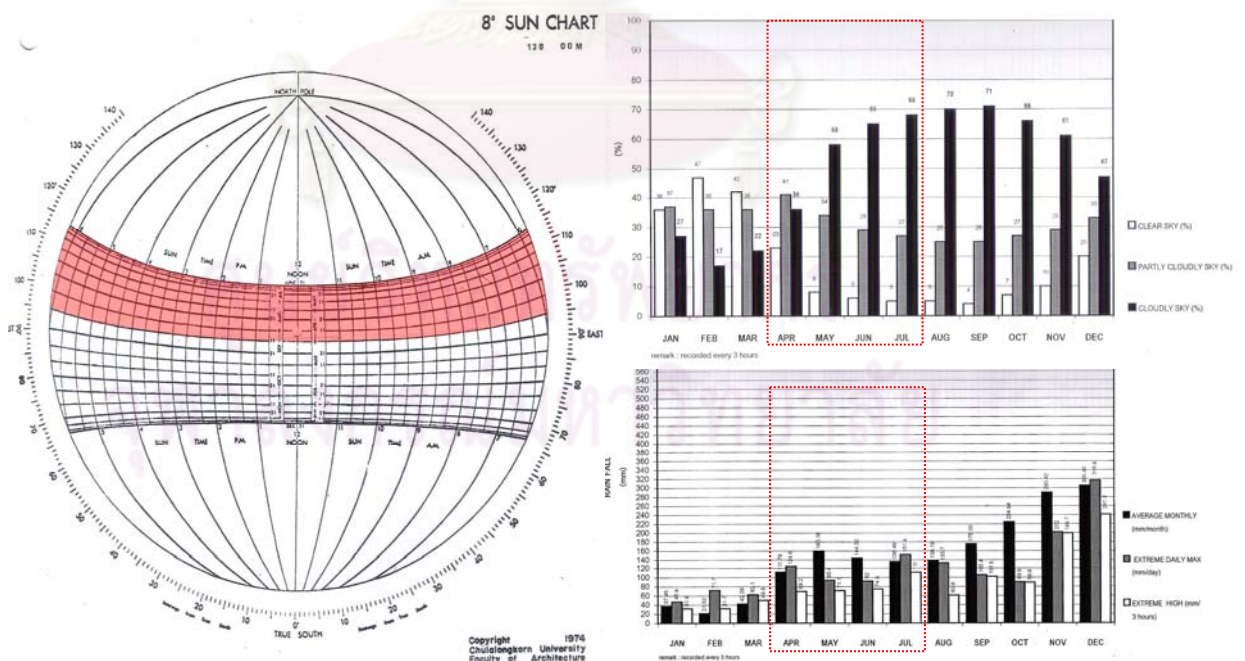
ภาพที่ 3.14 กรอบระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง กำหนดมวลสารผนังภายนอกที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ผนังมวลสารน้อย (light weight 4") ผนังมวลสารปานกลาง (brick 4" + foam 0.27") และผนังมวลสารมาก (brick 8" + foam 0.12") ทำการพิจารณาทั้งหมด 8 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทำการทดลอง 2 กรณี คือ กรณีมีเชิงชายหลังคา และกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา กำหนดห้องทดลอง (Mockup for Temperature Testing) เป็นระบบปิดเพื่อลดอิทธิพลจากปัจจัยภายนอก ห้องทดลองขนาด 2.88 ตารางเมตร (1.2x2.4x2.4m³) ในอัตราส่วน 1:1 จำนวน 3 ห้อง จากนั้นทำการก่อสร้างผนังวัสดุก่อทั้ง 3 ชนิดของผนังห้องทดลองด้านหน้า เก็บข้อมูลตลอด 48 ชั่วโมง เพื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์และสรุปผล

ข้อจำกัดด้านระยะเวลาและสถานที่ การวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลการทดลอง ณ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลามีสภาพอากาศร้อนชื้นตั้งอยู่ที่ละติจูด 6° 55N และลองจิจูด 100° 26E อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 34 เมตร โดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เดือนเมษายน ถึงเดือนกรกฎาคม 2553 มีทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์อ้อมเหนือตลอดวันทำการทดลอง สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky) และมีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า (overcast sky) มีฝนตกมากในตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนกรกฎาคม การเก็บข้อมูลอุณหภูมิเลือกวันที่ได้รับอิทธิพลจากฝนน้อยที่สุด



ภาพที่ 4.1 ทิศทางการโคจรดวงอาทิตย์ (Shading mark) สภาพท้องฟ้า และปริมาณน้ำฝน เดือนเมษายน พฤษภาคม มิถุนายน และเดือนกรกฎาคม
ที่มา : ธนิต จินดาวณิก และคณะ, 2553

4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองอิทธิพลของมวลสารผนังภายนอก และทิศทางทำการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง ผลการทดลองที่ได้แสดงค่าพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาและสภาวะแวดล้อม โดยผนังอาคารที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก จุดที่ทำการเก็บข้อมูลได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิผิวผนังภายนอก อุณหภูมิผิวผนังภายใน อุณหภูมิอากาศภายใน โดยทำการเก็บข้อมูลทุกชั่วโมง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลการทดลองสามารถแบ่งหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

- พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา
- พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา

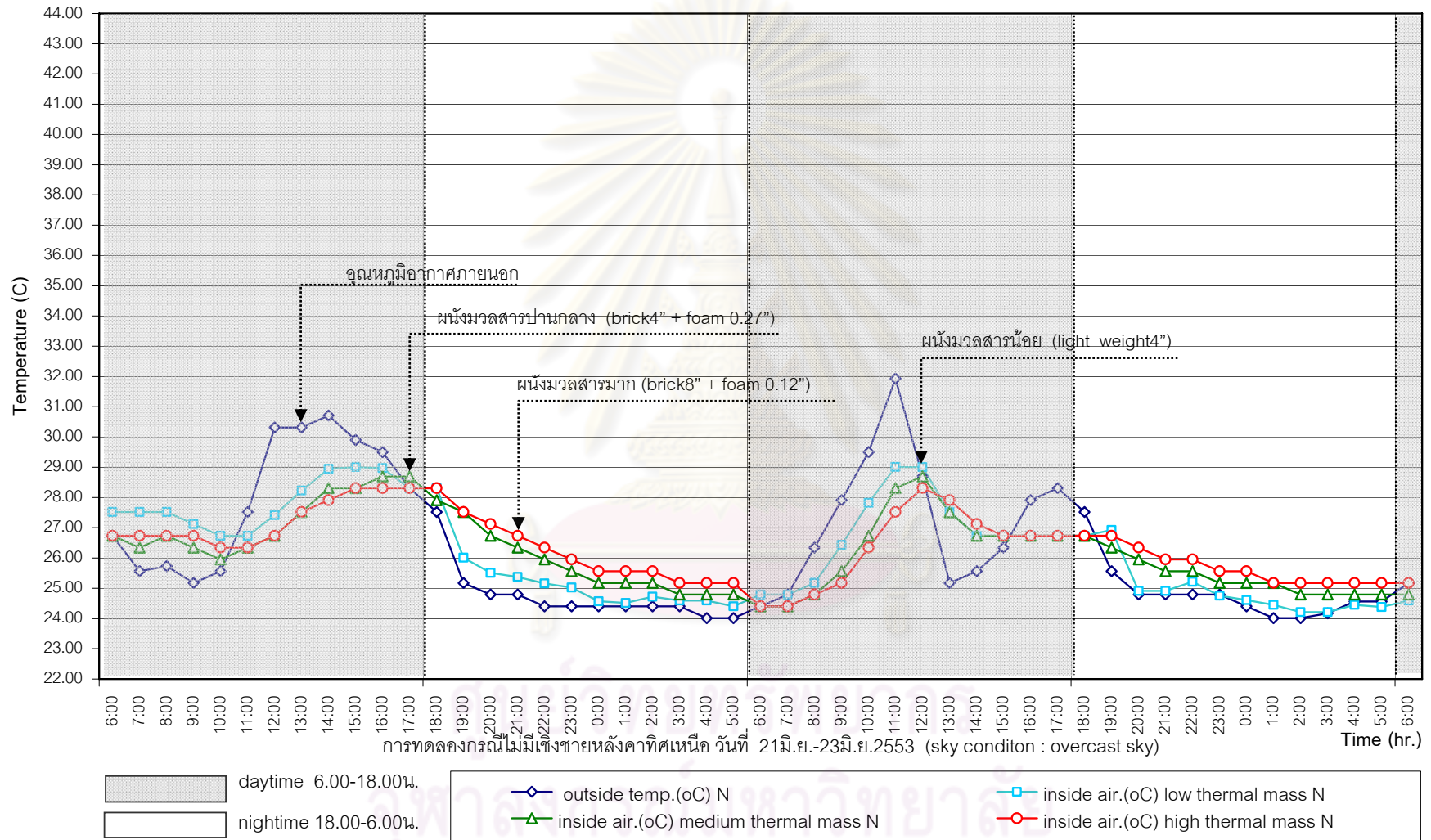
4.1.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอก กรณีไม่มีเชิงชายหลังคามีค่าการถ่ายเทความร้อนแต่ละทิศทางแตกต่างกันตามช่วงเวลาและทิศทางอาคาร ผลการทดลองพบว่ามวลสารผนังภายนอก และทิศทางมีอิทธิพลอย่างมากต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองแปรผันตามสภาพภูมิอากาศในช่วงเวลานั้นๆ

การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาทำการทดลองในเดือนต่างกันเนื่องจาก การทดลองในทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ทำการเก็บข้อมูลใหม่สาเหตุจากการทดลองในเดือนเมษายน สภาพอากาศวันที่ทำการทดลองมีฝนตกหนัก รายละเอียดวันทำการทดลองมีดังนี้

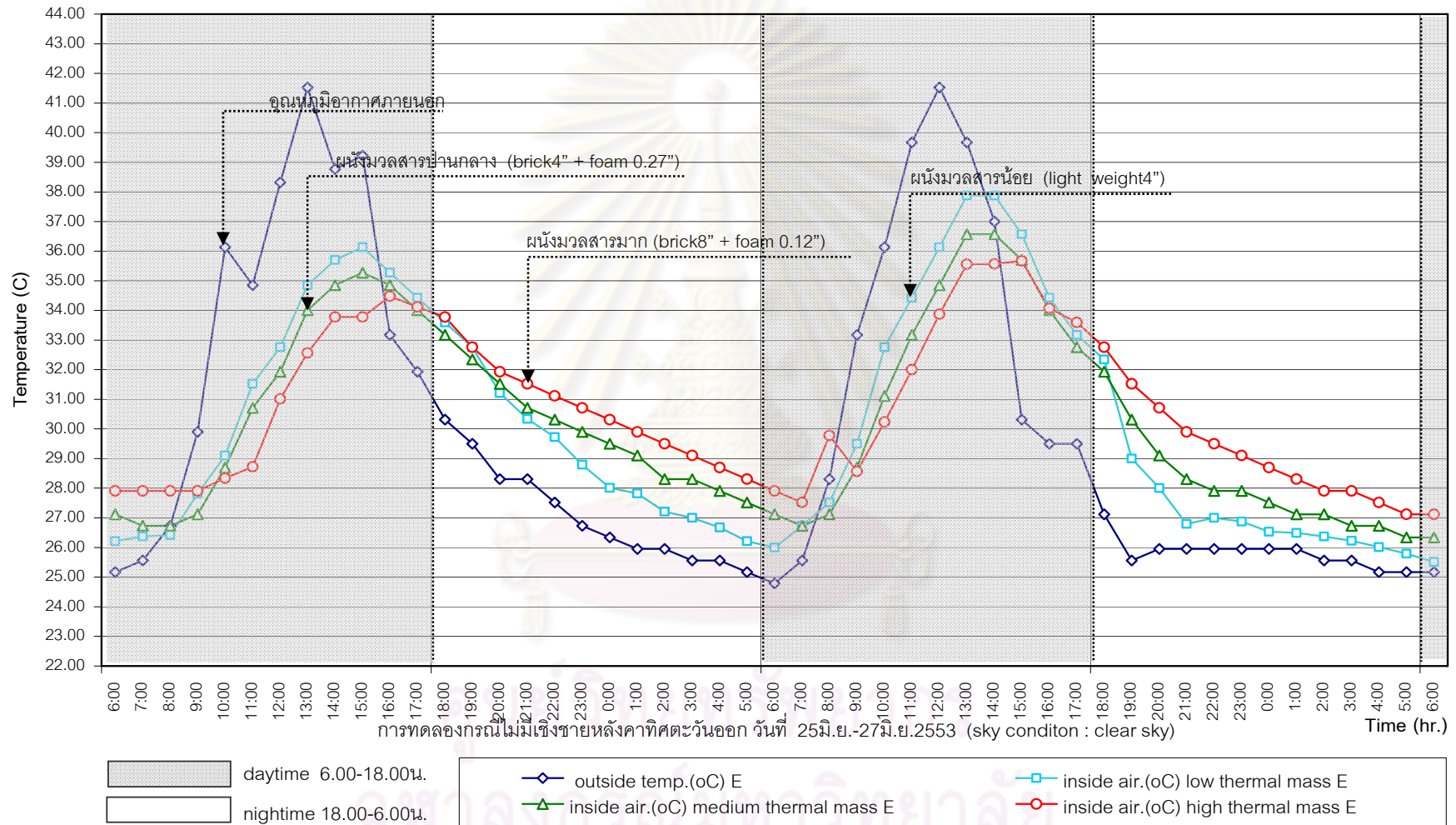
- ทิศเหนือทำการทดลองวันที่ 21 มิ.ย.-23 มิ.ย. 2553 สภาพอากาศมีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า
- ทิศตะวันออกทำการทดลองวันที่ 25 มิ.ย.-27 มิ.ย. 2553 สภาพอากาศท้องฟ้าแจ่มใส
- ทิศใต้ทำการทดลองวันที่ 1 ก.ค.-3 ก.ค. 2553 สภาพอากาศมีเมฆปกคลุมบางส่วน
- ทิศตะวันตกทำการทดลองวันที่ 5 ก.ค.-7 ก.ค. 2553 สภาพอากาศท้องฟ้าแจ่มใส
- ทิศตะวันออกเฉียงเหนือทำการทดลองวันที่ 6 เม.ย.-8 เม.ย. 2553 สภาพอากาศมีเมฆปกคลุมบางส่วน
- ทิศตะวันออกเฉียงใต้ทำการทดลองวันที่ 17 เม.ย.-19 เม.ย. 2553 สภาพอากาศท้องฟ้าแจ่มใส
- ทิศตะวันตกเฉียงใต้ทำการทดลองวันที่ 21 เม.ย.-23 เม.ย. 2553 สภาพอากาศมีเมฆปกคลุมบางส่วน
- ทิศตะวันตกเฉียงเหนือทำการทดลองวันที่ 25 เม.ย.-27 เม.ย. 2553 สภาพอากาศมีเมฆปกคลุมบางส่วน

เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน กับอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองมวลสารผนังภายนอก แต่ละทิศทาง จากแผนภูมิที่ 4.1-4.8 สรุปได้ว่า ช่วงเวลากลางวันเวลา 6.00น. - 18.00น. ทุกทิศทางผนังมวลสารมากมีประสิทธิภาพสูงสุด และช่วงเวลากลางคืนเวลา 18.00น. - 6.00น. ผนังมวลสารน้อยมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลมวลสารผนังภายนอกมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิจากปัจจัยภายนอก ผลการทดลองพิจารณาจากแผนภูมิได้ดังนี้

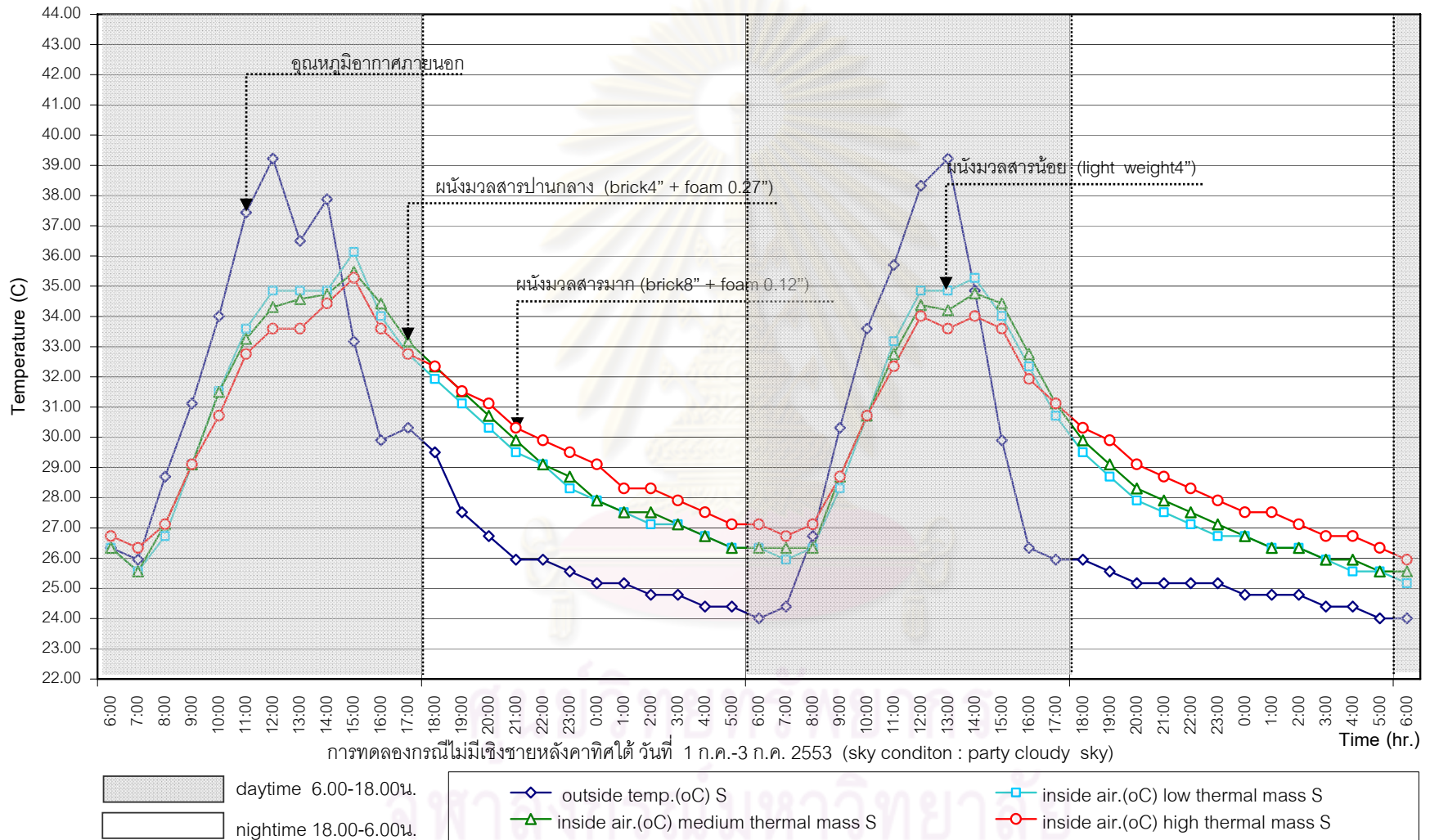


แผนภูมิที่ 4.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก)

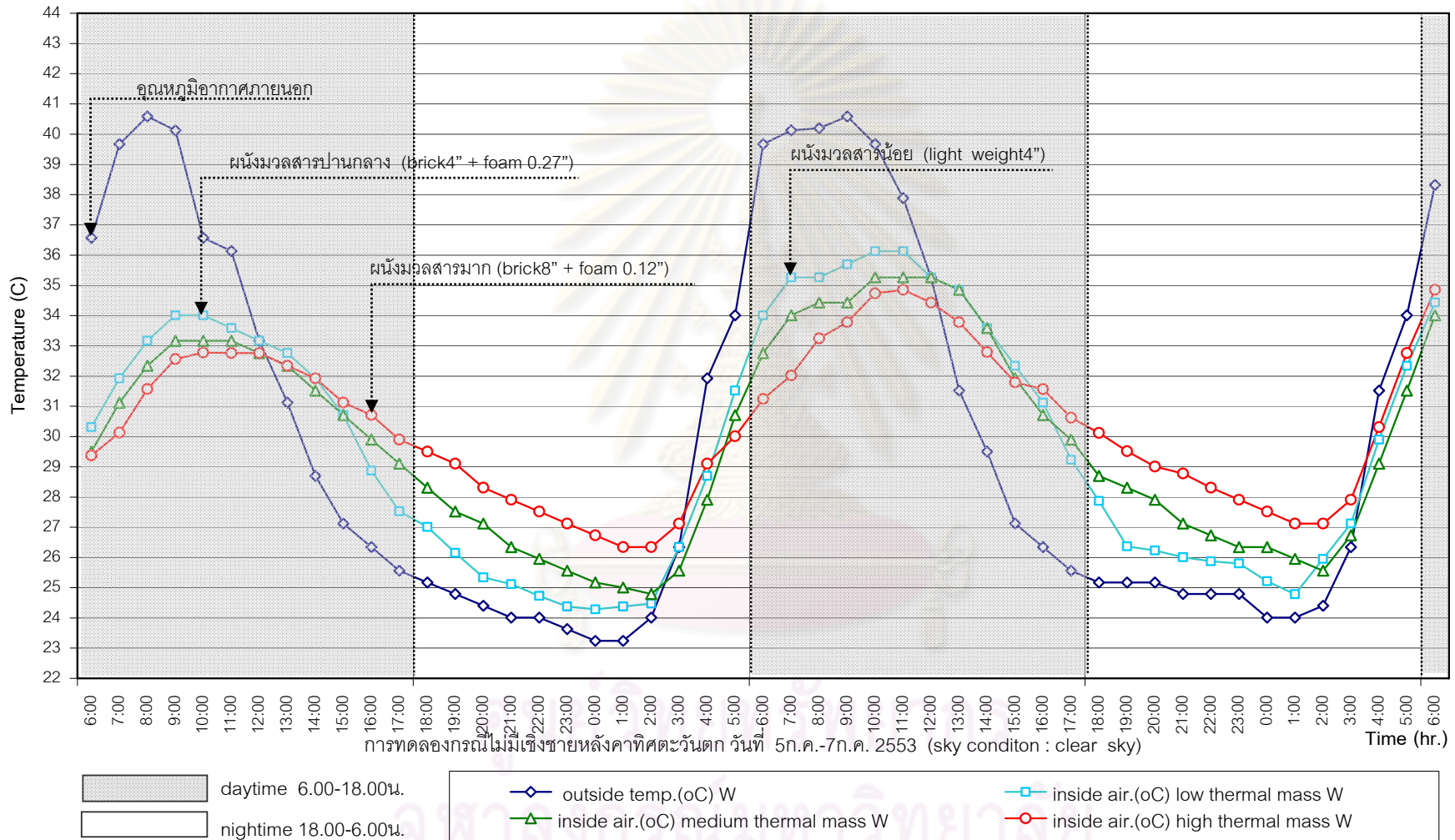
เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 มิถุนายน 2553 – 23 มิถุนายน 2553



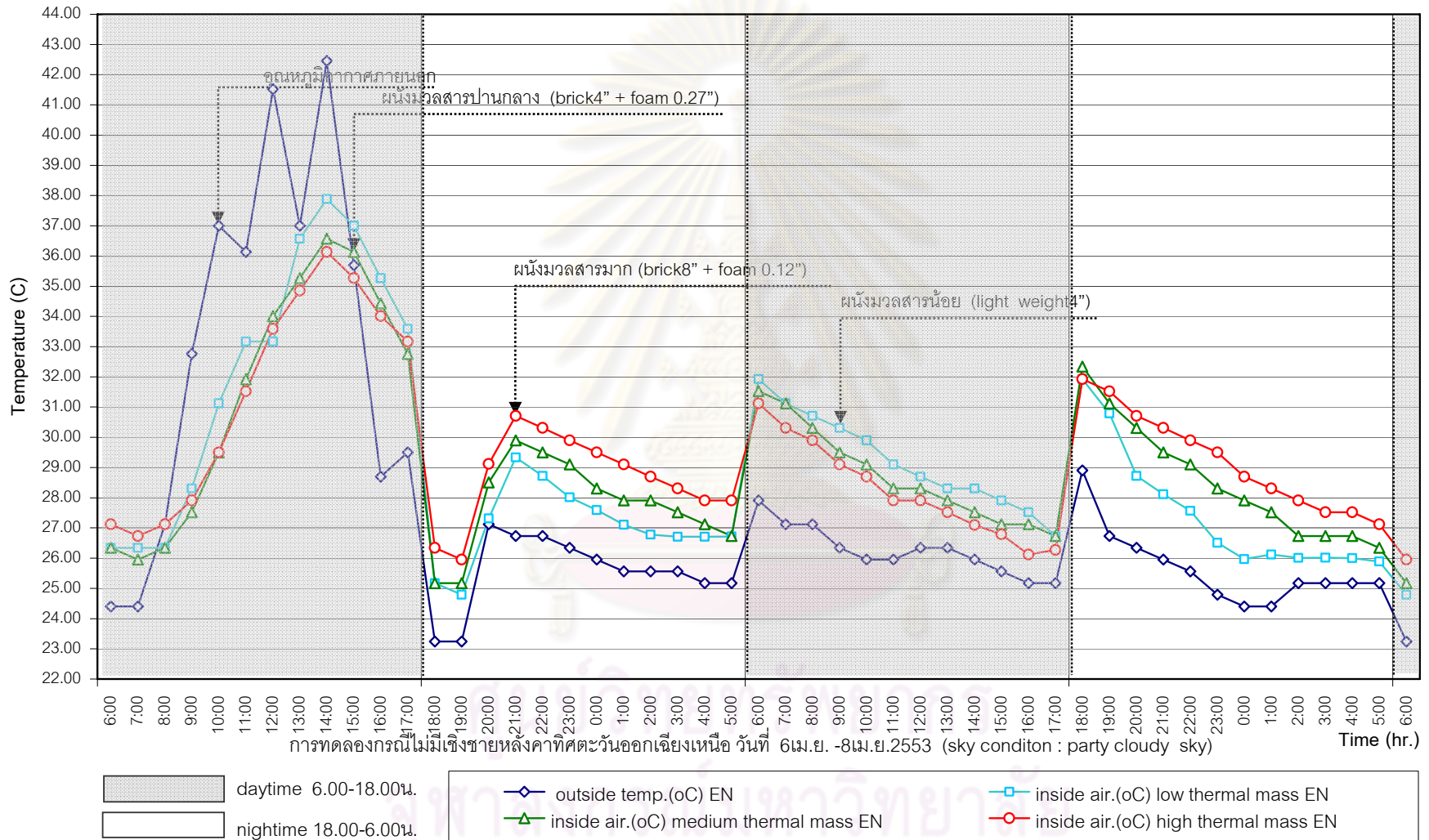
แผนภูมิที่ 4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออก กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 มิถุนายน 2553 – 27 มิถุนายน 2553



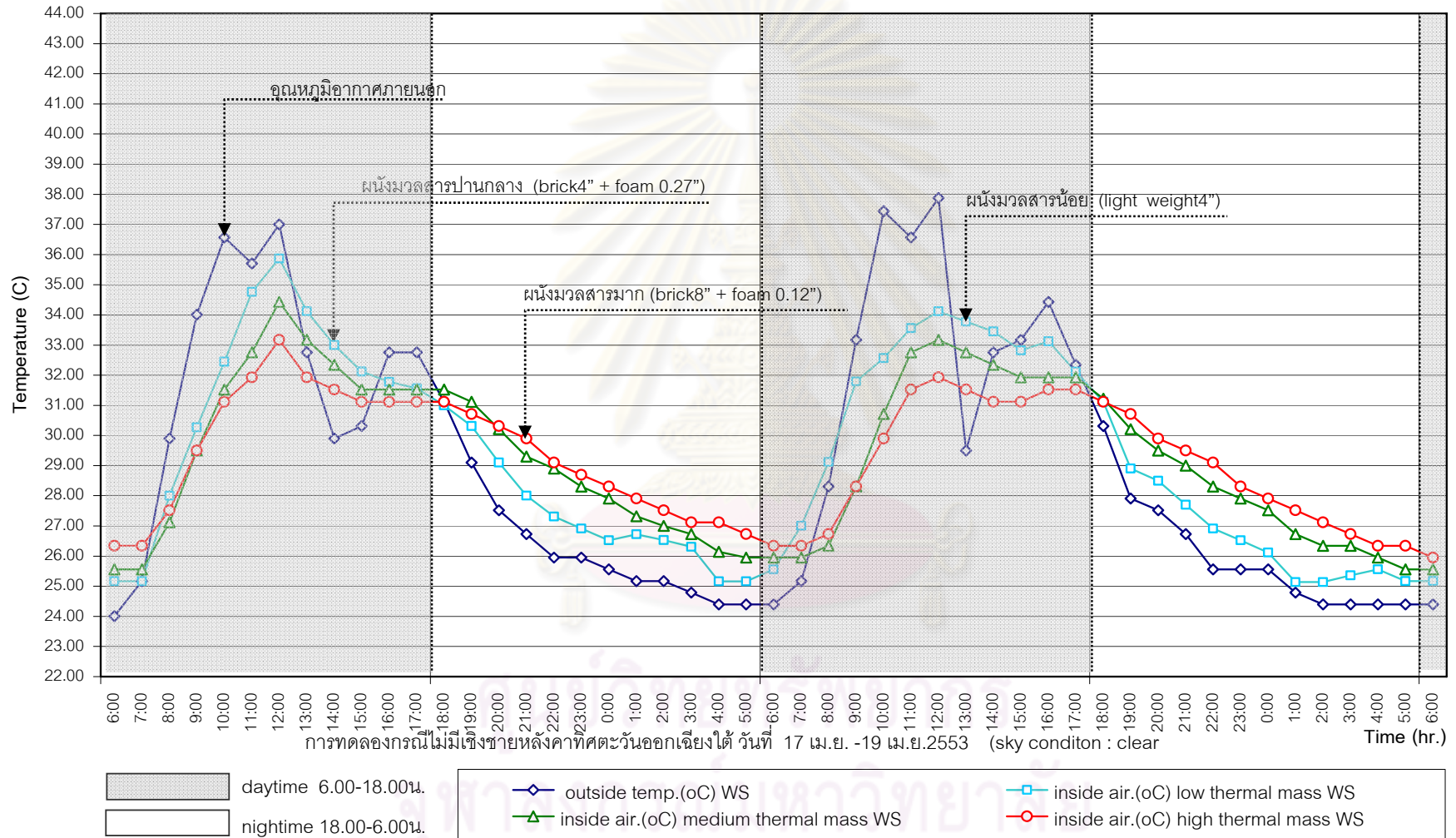
แผนภูมิที่ 4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศใต้ กรณีไม่มีเงาหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2553 – 3 กรกฎาคม 2553



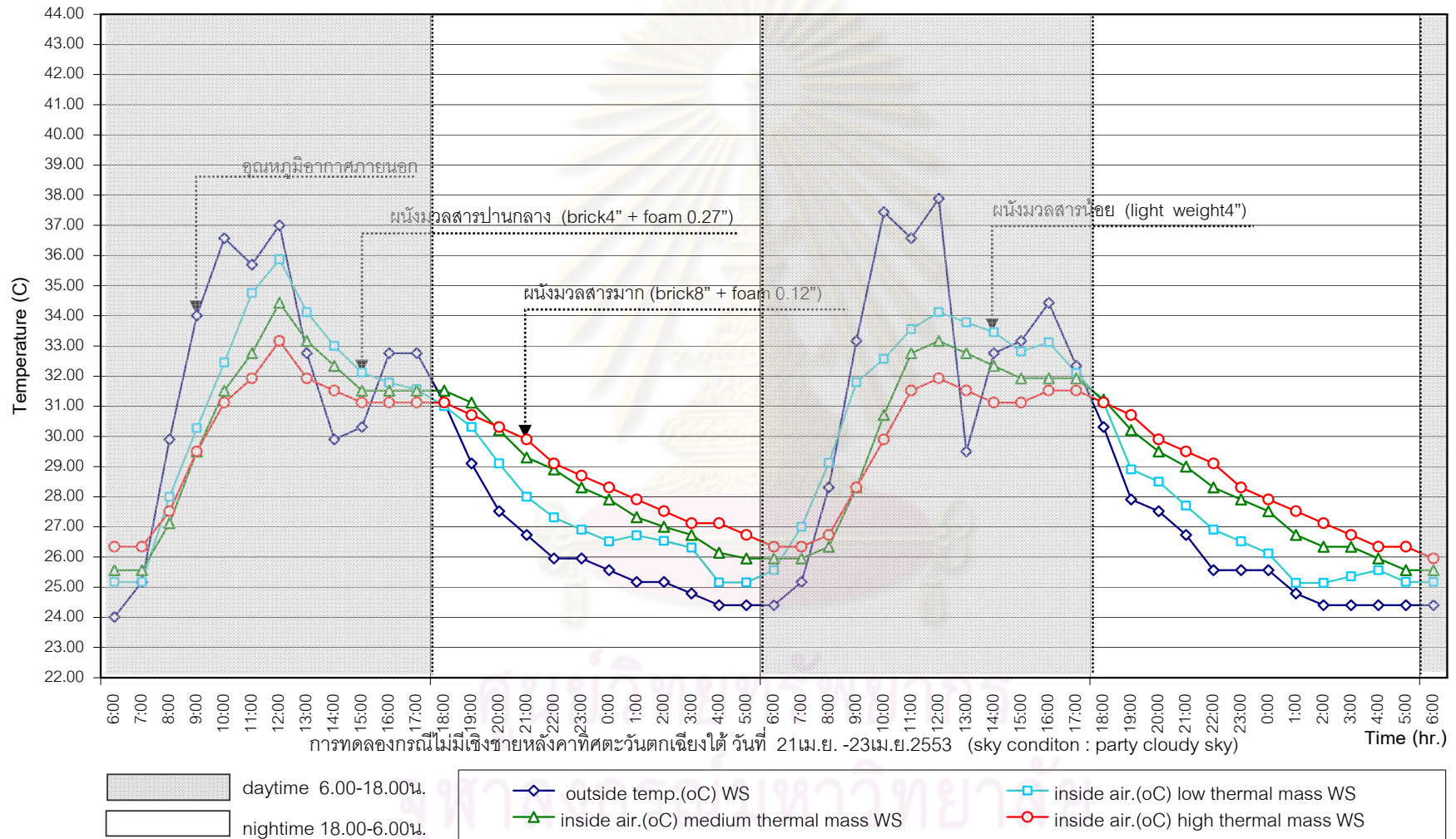
แผนภูมิที่ 4.4 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตก กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม 2553 – 7 กรกฎาคม 2553



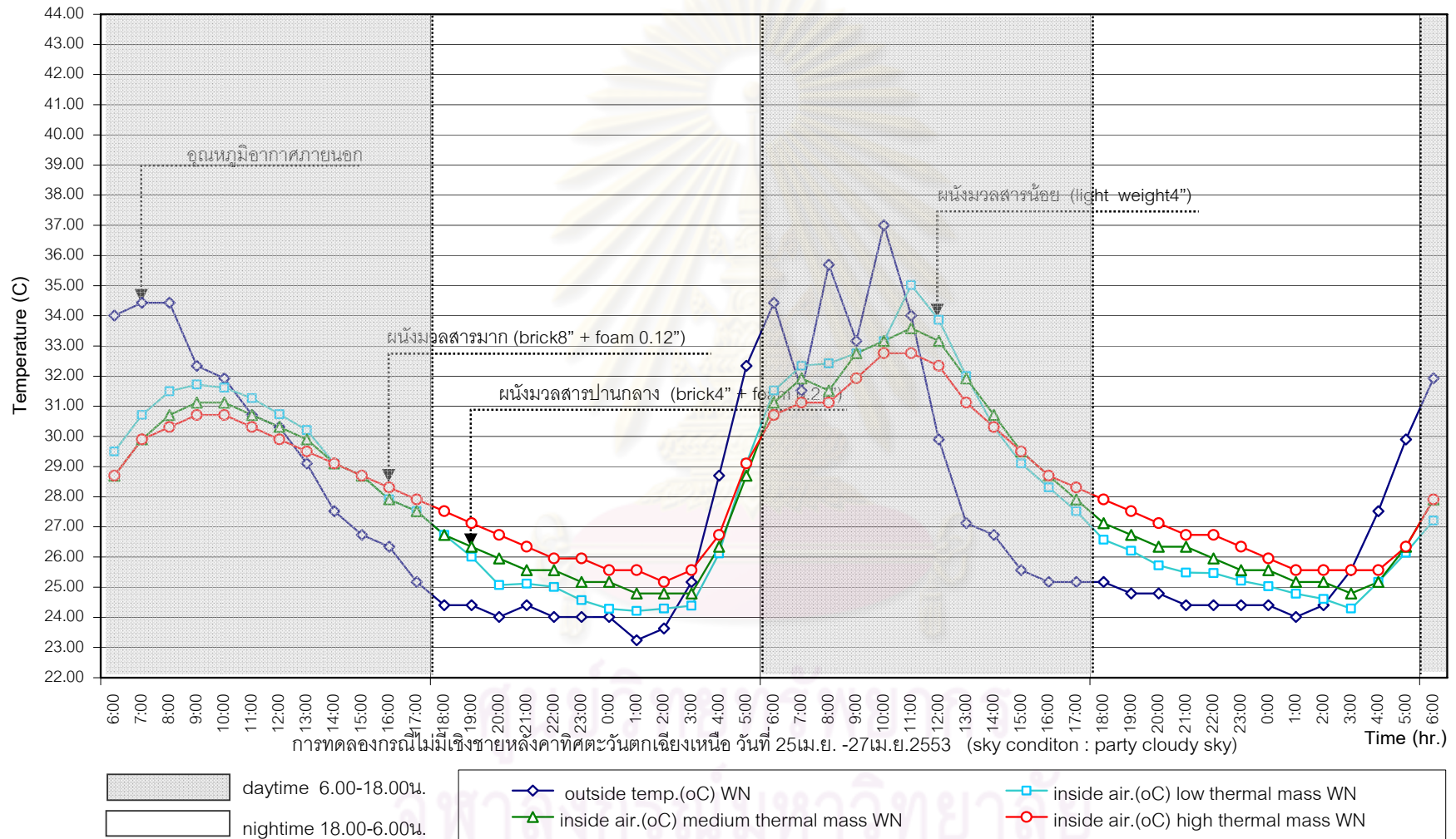
แผนภูมิที่ 4.5 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 6 เมษายน 2553 – 8 เมษายน 2553



แผนภูมิที่ 4.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ กรณีไม่มีเงาหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 17 เมษายน 2553 – 19 เมษายน 2553



แผนภูมิที่ 4.7 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเฉียงใต้ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 เมษายน 2553 – 23 เมษายน 2553



แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 เมษายน 2553 – 27 เมษายน 2553

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศเหนือ ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 21มิถุนายน-23มิถุนายน2553 กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	26.16	31.93	11.00 น.	24.01	1.00 - 2.00 น.
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	26.17	29.01	15.00 น.	24.21	2.00 - 3.00 น.
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	26.19	28.70	14.00 - 15.00 น.	24.40	6.00 - 7.00 น.
มวลสารมาก (brick8") (°C)	26.34	28.31	15.00 - 17.00 น.	24.40	6.00 - 7.00 น.
Remark: sky condition 21 - 23 มิถุนายน 2553 = สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า (overcast sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศตะวันออก ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 25มิถุนายน-27มิถุนายน2553 กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	29.73	41.52	12.00 น.	24.79	6.00 น.
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	30.04	37.88	13.00 - 14.00 น.	25.51	6.00 น.
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	30.17	36.57	13.00 - 14.00 น.	26.34	5.00 - 6.00 น.
มวลสารมาก (brick8") (°C)	30.58	35.67	15.00 น.	27.12	5.00 - 6.00 น.
Remark: sky condition 25 - 27 มิถุนายน 2553 = สภาพอากาศส่วนใหญ่ท้องฟ้าแจ่มใส (overcast sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 1กรกฎาคม-3กรกฎาคม2553 กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	28.43	39.22	12.00 น.	24.01	5.00 - 6.00 น.
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	29.50	36.13	15.00 น.	25.17	6.00 น.
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	29.59	35.47	15.00 น.	25.56	5.00 - 6.00 น.
มวลสารมาก (brick8") (°C)	29.84	35.27	15.00 น.	25.95	6.00 น.
Remark: sky condition 1 - 3 กรกฎาคม 2553 = สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศตะวันตก ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 5กรกฎาคม-7กรกฎาคม2553 กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	30.13	40.59	9.00 น.	23.24	0.00 - 1.00 น.
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	29.82	36.13	10.00 - 11.00 น.	24.28	0.00 น.
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	29.91	35.27	10.00 - 12.00 น.	24.79	2.00 น.
มวลสารมาก (brick8") (°C)	30.39	34.85	11.00 น.	26.34	1.00 - 2.00 น.
Remark: sky condition 5 - 7 กรกฎาคม 2553 = สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า (clear sky)					

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในการทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศใต้
ตลอด 48 ชั่วโมง กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ตลอด 48 ชั่วโมง					
วันที่ 6 เมษายน - 8 เมษายน 2553 กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	27.53	42.46	14.00 น.	23.24	6.00 น.
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	28.88	37.88	14.00 น.	24.79	6.00 น.
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	29.02	36.57	14.00 น.	25.17	6.00 น.
มวลสารมาก (brick8") (°C)	29.31	36.13	14.00 น.	25.95	6.00 น.
Remark: sky condition 6 - 8 เมษายน 2553 = สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองตะวันออกเฉียงใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง					
วันที่ 17 เมษายน - 19 เมษายน 2553 กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	29.37	43.42	13.00 น.	23.24	5.00 - 6.00 น.
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	30.08	38.57	14.00 น.	24.59	6.00 น.
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	30.10	37.88	14.00 น.	25.17	5.00 - 6.00 น.
มวลสารมาก (brick8") (°C)	30.17	36.13	14.00 น.	25.95	6.00 น.
Remark: sky condition 17 - 19 เมษายน 2553 = สภาพอากาศส่วนใหญ่ท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศตะวันตกเฉียงใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง					
วันที่ 21 เมษายน - 23 เมษายน 2553 กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	28.93	37.88	12.00 น.	24.01	6.00 น.
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	29.18	35.87	12.00 น.	25.14	1.00 - 2.00 น.
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	29.21	34.43	12.00 น.	25.56	5.00 - 6.00 น.
มวลสารมาก (brick8") (°C)	29.22	33.17	12.00 น.	25.95	6.00 น.
Remark: sky condition 21 - 23 เมษายน 2553 = สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ตลอด 48 ชั่วโมง					
วันที่ 25 เมษายน - 27 เมษายน 2553 กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	27.89	37.00	11.00 น.	23.24	1.00 น.
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	28.07	35.02	11.00 น.	24.21	1.00 น.
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	28.16	33.59	11.00 น.	24.79	1.00 - 3.00 น.
มวลสารมาก (brick8") (°C)	28.30	32.76	11.00 น.	25.17	2.00 น.
Remark: sky condition 25 - 27 เมษายน 2553 = สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า (party cloudy sky)					

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

4.1.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารผนังภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา

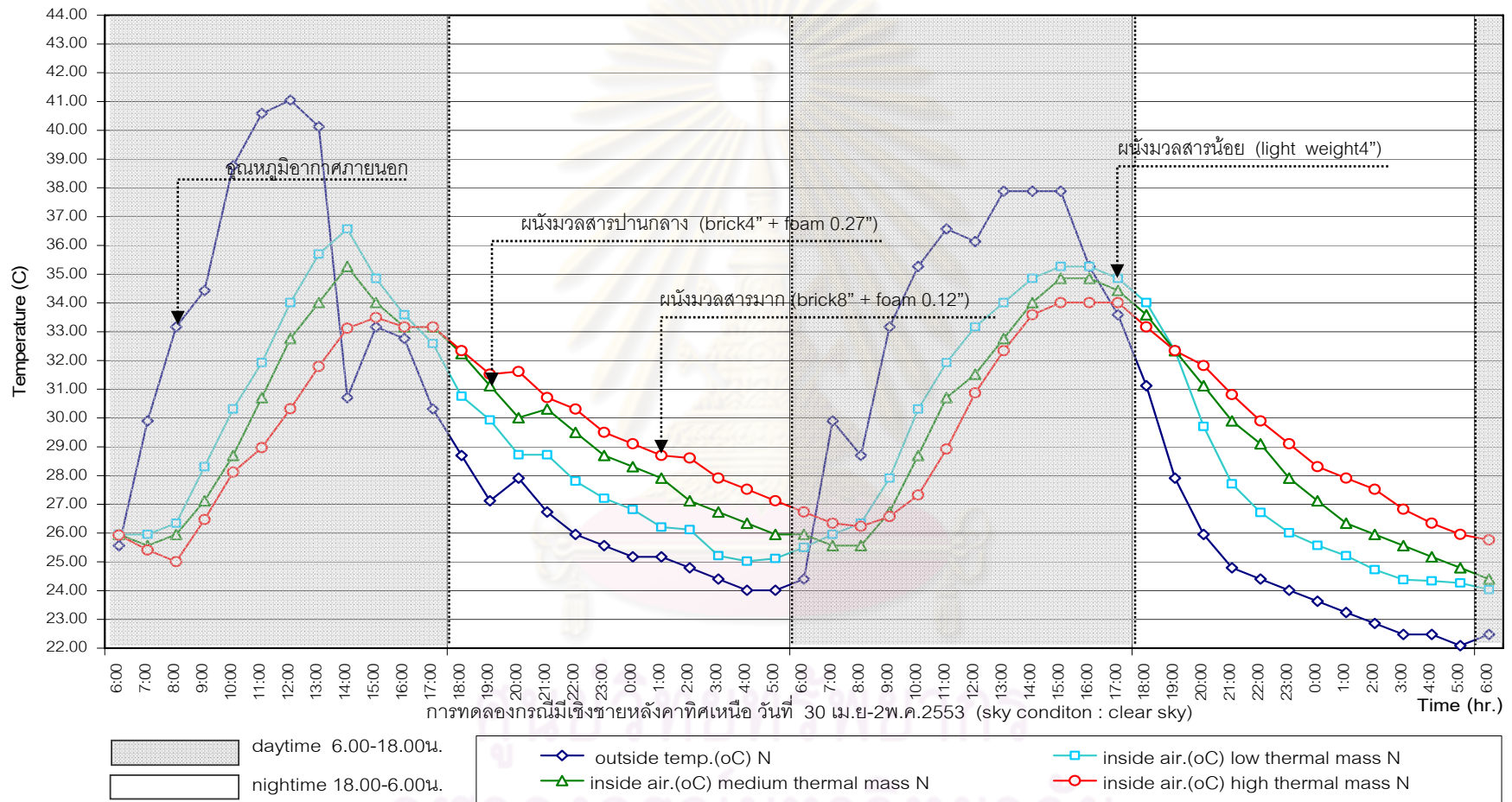
การทดลองมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีมีเชิงชายหลังคา ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของเชิงชายหลังคาที่มีผลต่อการลดพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของมวลสารและทิศทาง การศึกษาพบว่าพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนมีค่าแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศ เช่นเดียวกับการทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา อิทธิพลจากสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky) และมีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า (overcast sky) ในวันทำการทดลองส่งผลให้อุณหภูมิอากาศลดลงส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองแปรผันตามสภาพภูมิอากาศในช่วงเวลานั้นๆ รายละเอียดวันทำการทดลองมีดังนี้

- ทิศเหนือทำการทดลองวันที่ 30 เม.ย.-2พ.ค.2553 สภาพอากาศท้องฟ้าแจ่มใส
- ทิศตะวันออกทำการทดลองวันที่ 13 พ.ค.-15พ.ค. 2553 สภาพอากาศมีเมฆปกคลุมบางส่วน
- ทิศใต้ทำการทดลองวันที่ 30พ.ค.-1มิ.ย. 2553 สภาพอากาศมีเมฆมาก
- ทิศตะวันตกทำการทดลองวันที่ 11มิ.ย. -13มิ.ย. 2553 สภาพอากาศมีเมฆมาก
- ทิศตะวันออกเฉียงเหนือทำการทดลองวันที่ 4พ.ค. -6พ.ค.2553 สภาพอากาศมีเมฆปกคลุมบางส่วน
- ทิศตะวันออกเฉียงใต้ทำการทดลองวันที่ 26พ.ค. -28พ.ค.2553 สภาพอากาศท้องฟ้าแจ่มใส
- ทิศตะวันตกเฉียงใต้ทำการทดลองวันที่ 3มิ.ย. -5มิ.ย.2553 สภาพอากาศท้องฟ้าแจ่มใส
- ทิศตะวันตกเฉียงเหนือทำการทดลองวันที่ 15มิ.ย. -17มิ.ย.2553 สภาพอากาศท้องฟ้าแจ่มใส

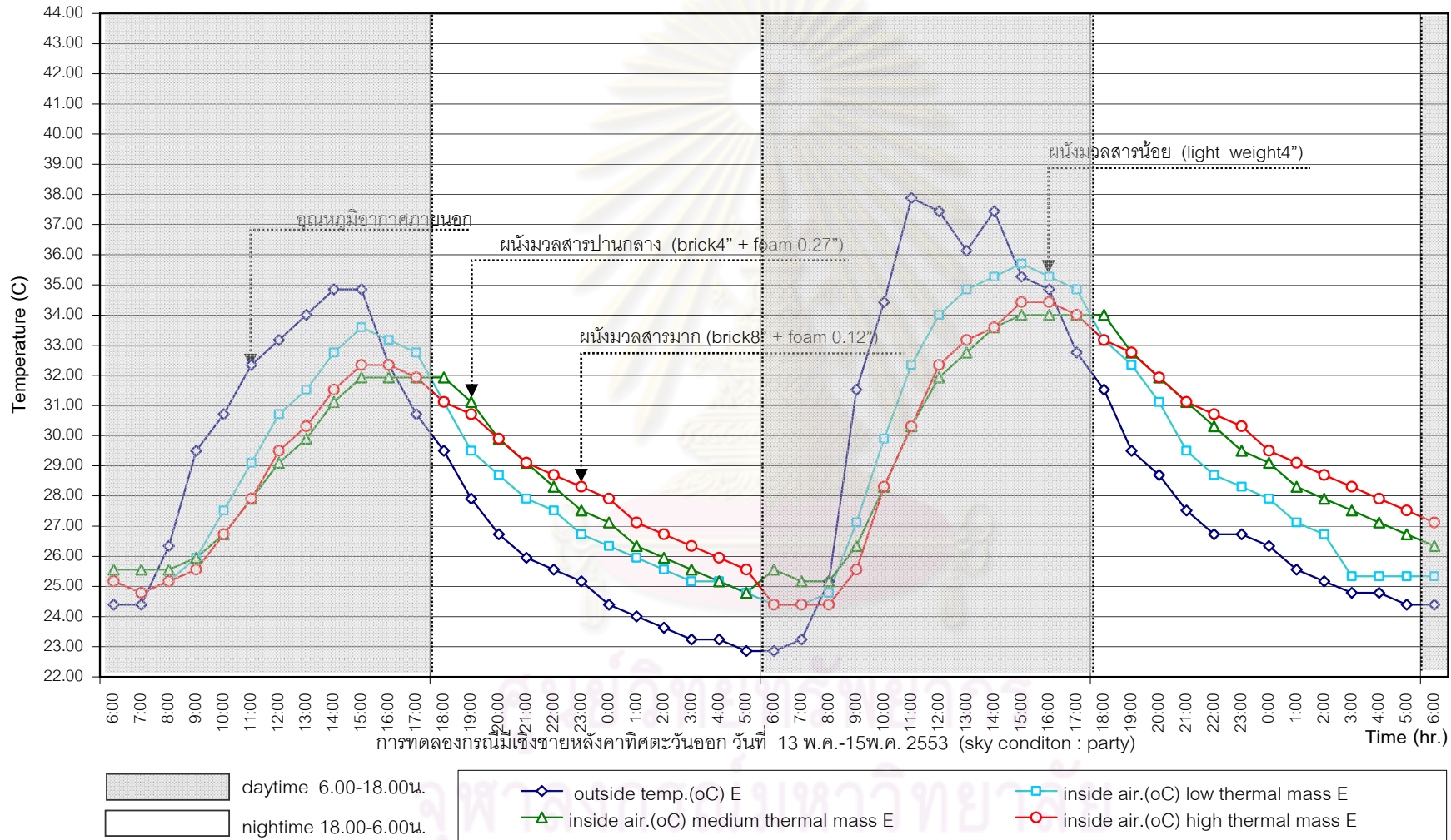


ภาพที่ 4.2 การบังแดดจากมุมมองศาลวงอาทิตย์การทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เวลา 8.00 น. และ 10.00 น. วันที่ 4 พฤษภาคม - 6 พฤษภาคม 2553

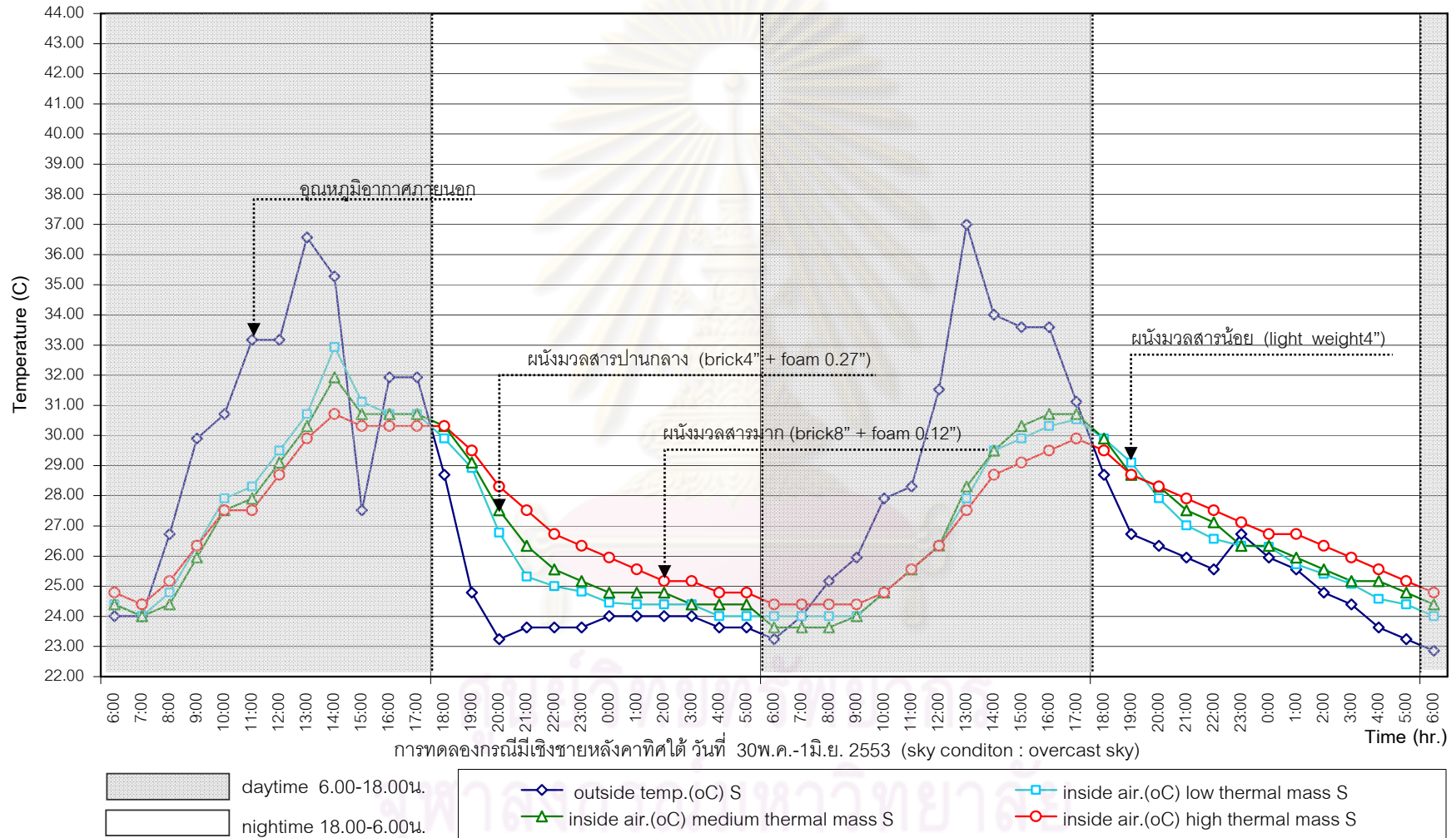
เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน กับอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลองมวลสารผนังภายนอกแต่ละทิศทาง จากแผนภูมิที่ 4.9-4.16 สรุปได้ว่า ช่วงเวลากลางวันเวลา 6.00น.-18.00น. ทุกทิศทางผนังมวลสารมากมีประสิทธิภาพสูงสุด และช่วงเวลากลางคืนเวลา 18.00น.-6.00น. ผนังมวลสารน้อยมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ผลการทดลองพิจารณาจากแผนภูมิได้ดังนี้



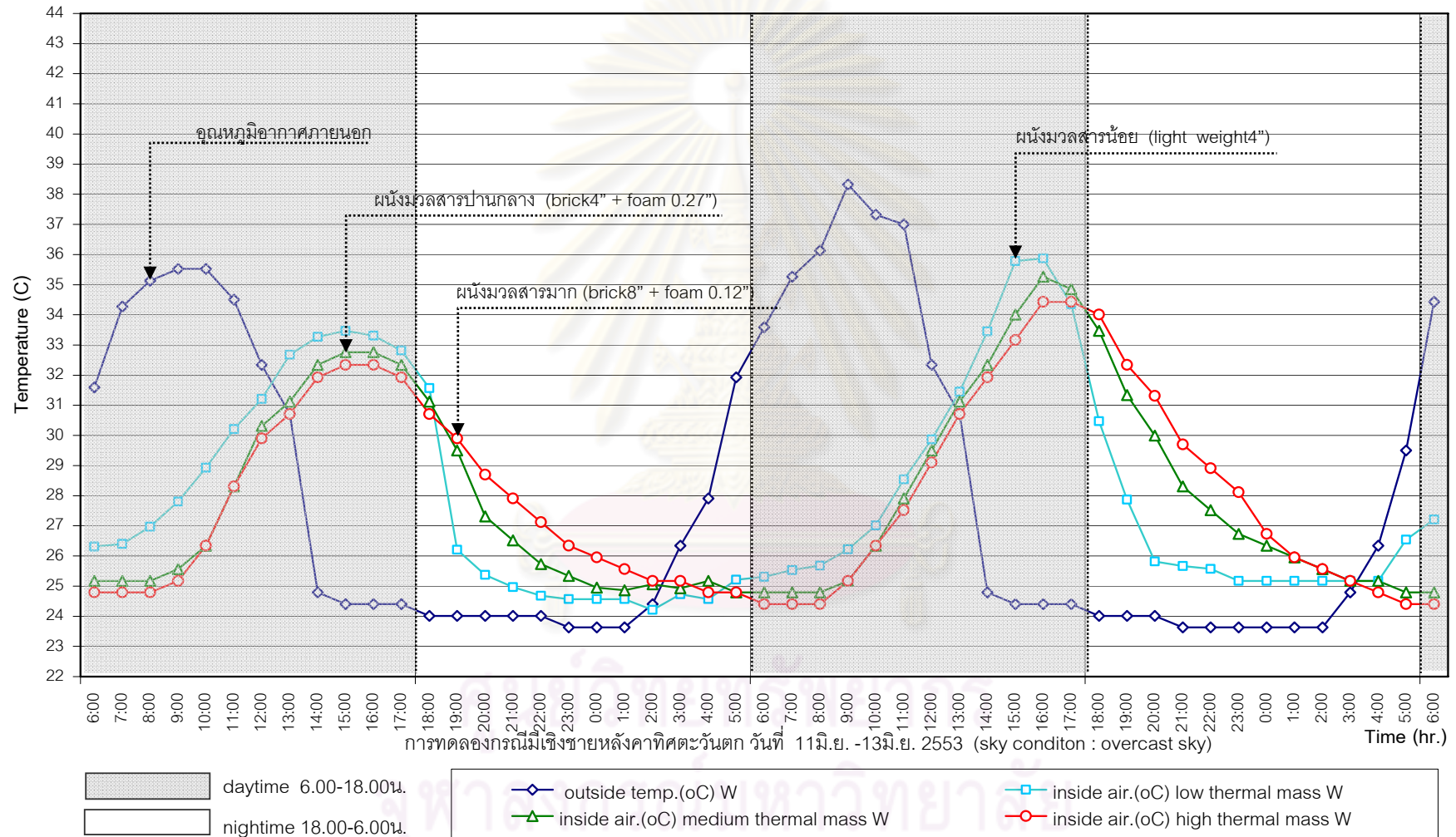
แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 เมษายน 2553 – 2 พฤษภาคม 2553



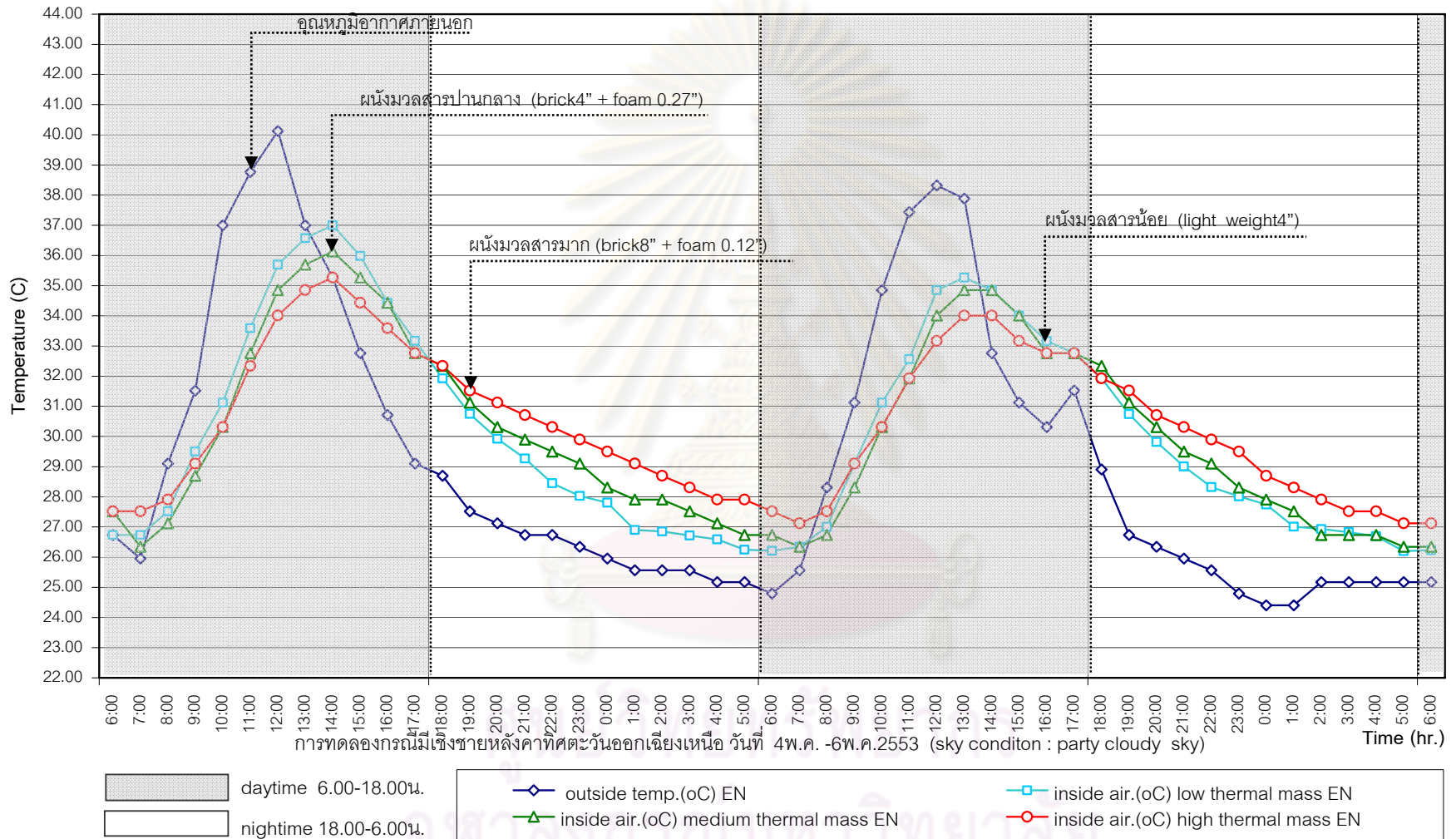
แผนภูมิที่ 4.10 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออก กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2553



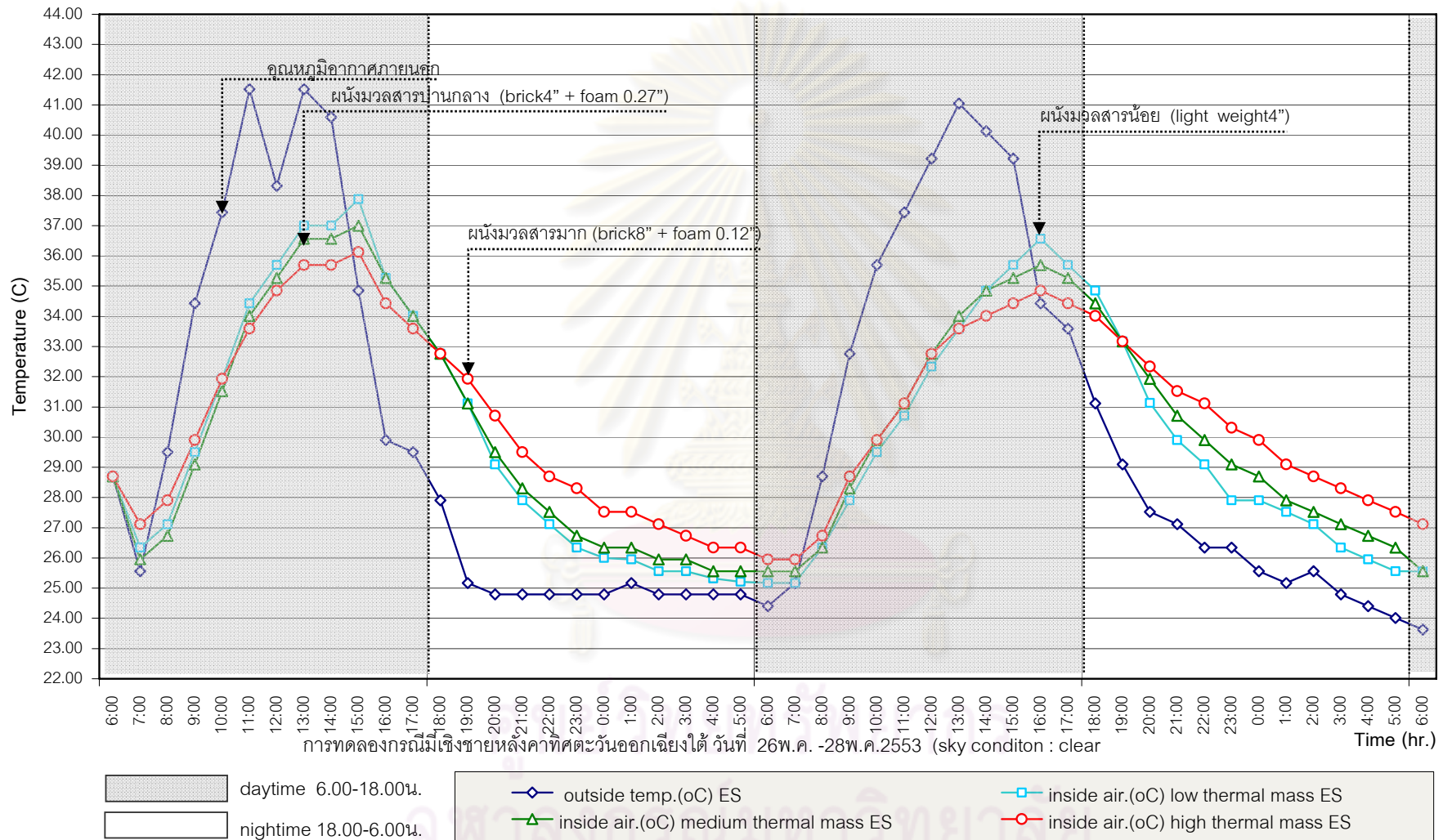
แผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศใต้ กรณีมีเงาหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 พฤษภาคม 2553 – 1 มิถุนายน 2553



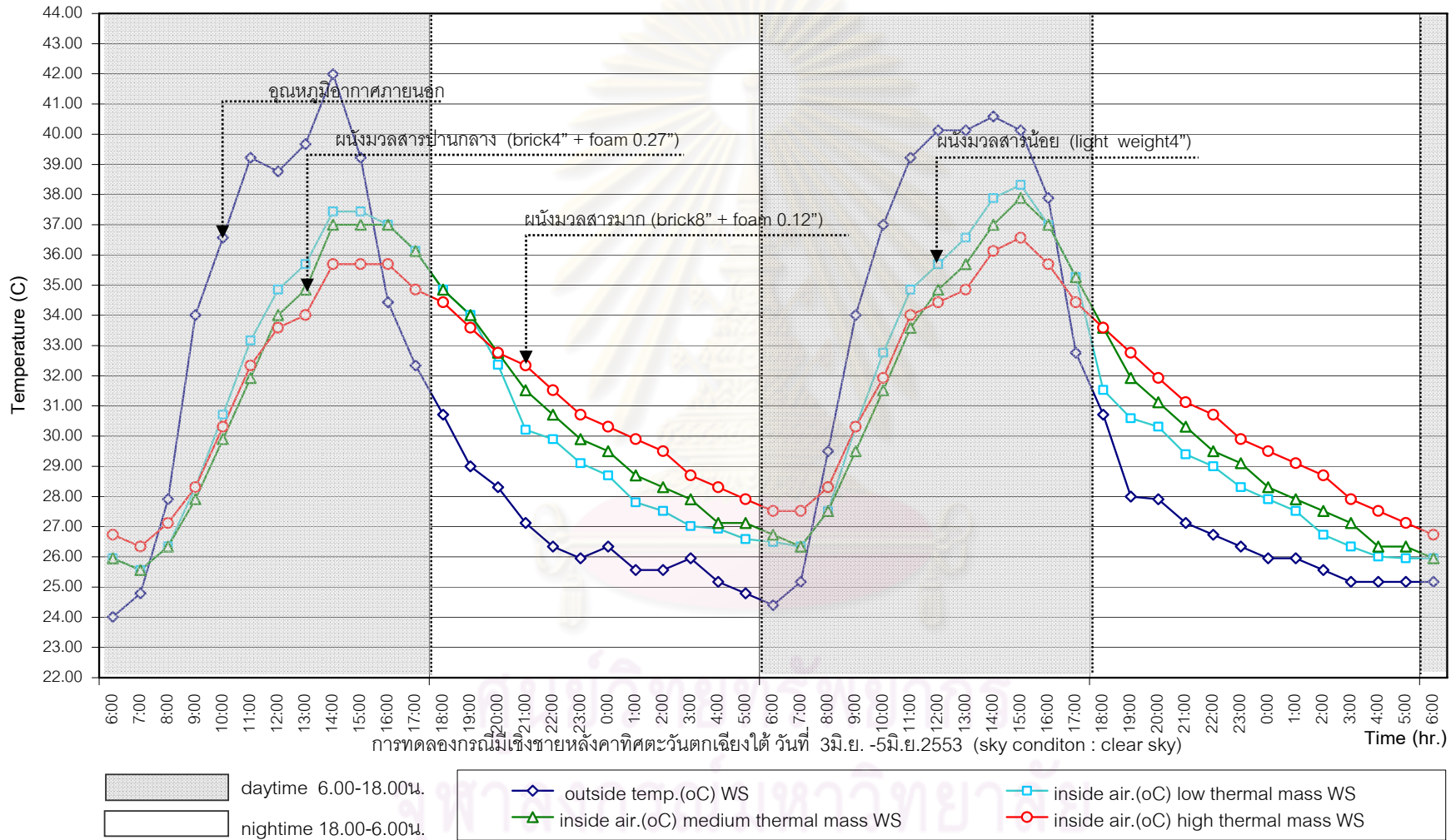
แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตก กรณีมีเงาหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 11 มิถุนายน 2553 – 13 มิถุนายน 2553



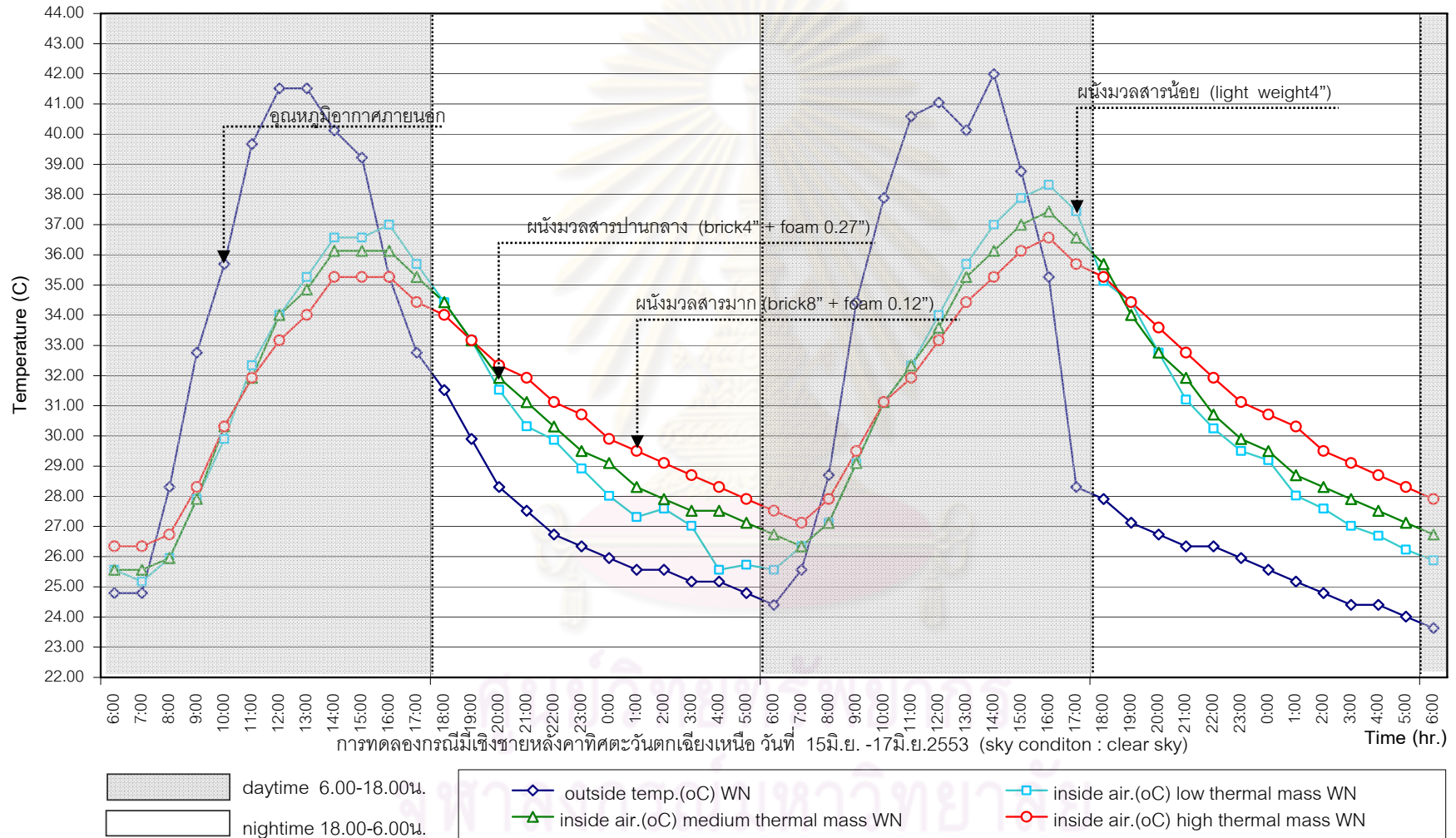
แผนภูมิที่ 4.13 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ กรณีมีเงาหลังคา(ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 4 พฤษภาคม 2553 – 6 พฤษภาคม 2553



แผนภูมิที่ 4.14 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 26 พฤษภาคม 2553 – 28 พฤษภาคม 2553



แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเฉียงใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3 มิถุนายน 2553 – 5 มิถุนายน 2553



แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 15 มิถุนายน 2553 – 17 มิถุนายน 2553

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายใต้การทดลองที่ศเหนือ ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 30 เมษายน-2 พฤษภาคม 2553					
กรณีมีเชิงชายหลังคา					
	ค่า อุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่า อุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	29.47	41.05	12.00 (30 เม.ย.53)	22.09	5.00(2 พ.ค.53)
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	29.15	36.57	14.00 (30 เม.ย.53)	24.04	6.00(2 พ.ค.53)
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	29.38	35.27	14.00 (30 เม.ย.53)	24.40	6.00(2 พ.ค.53)
มวลสารมาก (brick8") (°C)	29.52	34.01	15.00-17.00 (30 เม.ย.53)	25.01	8.00 (30 เม.ย.53)
Remark: sky condition 30 เม.ย. 53- 2 พ.ค. 53 = สภาพอากาศส่วนใหญ่ท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายใต้การทดลองที่ศตะวันออก ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 13 พฤษภาคม-15 พฤษภาคม 2553					
กรณีมีเชิงชายหลังคา					
	ค่า อุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่า อุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	28.67	37.88	11.00(14 พ.ค.53)	22.86	5.00(14 พ.ค.53)
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	28.89	35.70	15.00(14 พ.ค.53)	24.40	6.00-7.00(14 พ.ค.53)
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	28.98	34.01	15.00-18.00(14 พ.ค.53)	24.79	5.00(14 พ.ค.53)
มวลสารมาก (brick8") (°C)	29.15	34.43	15.00-16.00(14 พ.ค.53)	24.40	6.00-8.00(14 พ.ค.53)
Remark: sky condition 13 พ.ค. 53- 15 พ.ค. 53 = สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายใต้การทดลองที่ศใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 30 พฤษภาคม-1 มิถุนายน 2553					
กรณีมีเชิงชายหลังคา					
	ค่า อุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่า อุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	27.38	37.00	13.00(31 พ.ค.53)	22.86	6.00(1 มิ.ย.53)
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	26.76	32.93	14.00(30 พ.ค.53)	24.01	4.00-9.00 (31 พ.ค.53)
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	26.85	31.93	14.00(30 พ.ค.53)	23.63	6.00-8.00 (31 พ.ค.53)
มวลสารมาก (brick8") (°C)	27.05	30.71	14.00(30 พ.ค.53)	24.40	6.00-10.00 (31 พ.ค.53)
Remark: sky condition 30 พ.ค. 53 - 1 มิ.ย. 53 = สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า (overcast sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายใต้การทดลองที่ศตะวันตก ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 11 มิถุนายน-13 มิถุนายน 2553					
กรณีมีเชิงชายหลังคา					
	ค่า อุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่า อุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	28.09	38.32	9.00 (12มิ.ย.53)	23.63	23.00-1.00(11-12 มิ.ย.53)
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	27.92	35.87	16.00(12มิ.ย.53)	24.21	2.00 (12มิ.ย.53)
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	27.93	35.27	16.00(12มิ.ย.53)	24.79	5.00-8.00(12มิ.ย.53)
มวลสารมาก (brick8") (°C)	28.02	34.43	16.00-17.00(12มิ.ย.53)	24.40	6.00-8.00(12มิ.ย.53)
Remark: sky condition 11 มิ.ย. 53 - 13 มิ.ย. 53 = สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า (clear sky)					

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใต้การทดลองที่ศเหนือ ที่ศตะวันออก ที่ศใต้ และที่ศตะวันตก
ตลอด 48 ชั่วโมง กรณีมีเชิงชายหลังคา

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 4 พฤษภาคม - 6 พฤษภาคม 2553 กรณีมีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	29.12	40.13	12.00(4 พ.ค.53)	24.40	0.00-1.00(6 พ.ค.53)
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	30.00	37.00	14.00(4 พ.ค.53)	26.20	5.00(6 พ.ค.53)
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	30.05	36.13	14.00(4 พ.ค.53)	26.34	5.00-6.00(6 พ.ค.53)
มวลสารมาก (brick8") (°C)	30.38	35.27	14.00(4 พ.ค.53)	27.12	5.00-6.00(6 พ.ค.53)
Remark: sky condition 4 พ.ค. 53 - 6 พ.ค. 53 = สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศตะวันออกเฉียงใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 26 พฤษภาคม - 28 พฤษภาคม 2553 กรณีมีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	29.91	41.52	11.00(26 พ.ค.53)	23.63	6.00(28 พ.ค.53)
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	29.97	37.88	15.00(26 พ.ค.53)	25.17	6.00-7.00(27 พ.ค.53)
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	30.12	37.00	15.00(26 พ.ค.53)	25.56	4.00-7.00(27 พ.ค.53)
มวลสารมาก (brick8") (°C)	30.54	36.13	15.00(26 พ.ค.53)	25.95	6.00-7.00(27 พ.ค.53)
Remark: sky condition 26 พ.ค.53 - 28 พ.ค. 53 = สภาพอากาศส่วนใหญ่ท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศตะวันตกเฉียงใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 3 มิถุนายน - 5 มิถุนายน 2553 กรณีมีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	30.60	41.99	14.00 (3 มิ.ย.53)	24.01	6.00 (3 มิ.ย.53)
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	30.78	38.32	15.00(4 มิ.ย. 53)	25.56	7.00 (3 มิ.ย.53)
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	30.90	37.88	15.00(4 มิ.ย. 53)	25.56	7.00 (3 มิ.ย.53)
มวลสารมาก (brick8") (°C)	31.20	36.57	15.00(4 มิ.ย. 53)	26.34	7.00 (3 มิ.ย.53)
Remark: sky condition 3 มิ.ย.53 - 5 มิ.ย. 53 = สภาพอากาศส่วนใหญ่ท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky)					
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในการทดลองทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ตลอด 48 ชั่วโมง วันที่ 15 มิถุนายน - 17 มิถุนายน 2553 กรณีมีเชิงชายหลังคา					
	ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ย	ค่าอุณหภูมิ สูงสุด	ช่วงเวลา	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด	ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	30.38	41.99	14.00(16 มิ.ย.53)	23.63	6.00(17 มิ.ย.53)
มวลสารน้อย (light weight4") (°C)	30.76	38.32	16.00(16 มิ.ย.53)	25.17	7.00(15 มิ.ย.53)
มวลสารปานกลาง (brick4") (°C)	30.96	37.44	16.00(16 มิ.ย.53)	25.56	6.00-7.00(15 มิ.ย.53)
มวลสารมาก (brick8") (°C)	31.31	36.57	16.00(16 มิ.ย.53)	26.34	6.00-7.00(15 มิ.ย.53)
Remark: sky condition 15 มิ.ย.53 - 17 มิ.ย. 53 = สภาพอากาศส่วนใหญ่ท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky)					

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ตลอด 48 ชั่วโมง กรณีมีเชิงชายหลังคา

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองอิทธิพลมวลสารผนังภายนอก และทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานและสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยทำการเก็บข้อมูลคนละวัน ทำให้ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมในการทดลองมีความแตกต่างกัน การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดลองแต่ละทิศทางกำหนดใช้กระบวนการพิจารณา องศาวันทำความร้อนและความเย็น (heating&cooling degree-hours) เป็นตัวบ่งบอกถึงระยะเวลาของอุณหภูมิโดยรอบ (ambient temperature) ที่อยู่นอกเขตสภาวะน่าสบาย (comfort zone) โดยใช้ผลรวมของความต่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิฐานการออกแบบ ณ รายชั่วโมง(design base temperature)ที่ฐาน 18°C (ชนิดจินดาวณิก, 2550)

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบอิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศภายใน ทำโดยการเก็บข้อมูลทุกชั่วโมง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำอุณหภูมิในทุกชั่วโมงที่เก็บมาลบกับฐาน 18°C ที่ใช้เป็นฐานในการคำนวณ ผลการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์อิทธิพลมวลสารผนังภายนอก
- การวิเคราะห์อิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง
- การวิเคราะห์อิทธิพลของเชิงชายหลังคากรณีมีเชิงชายหลังคา และกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง

4.2.1 การวิเคราะห์อิทธิพลมวลสารผนังภายนอก

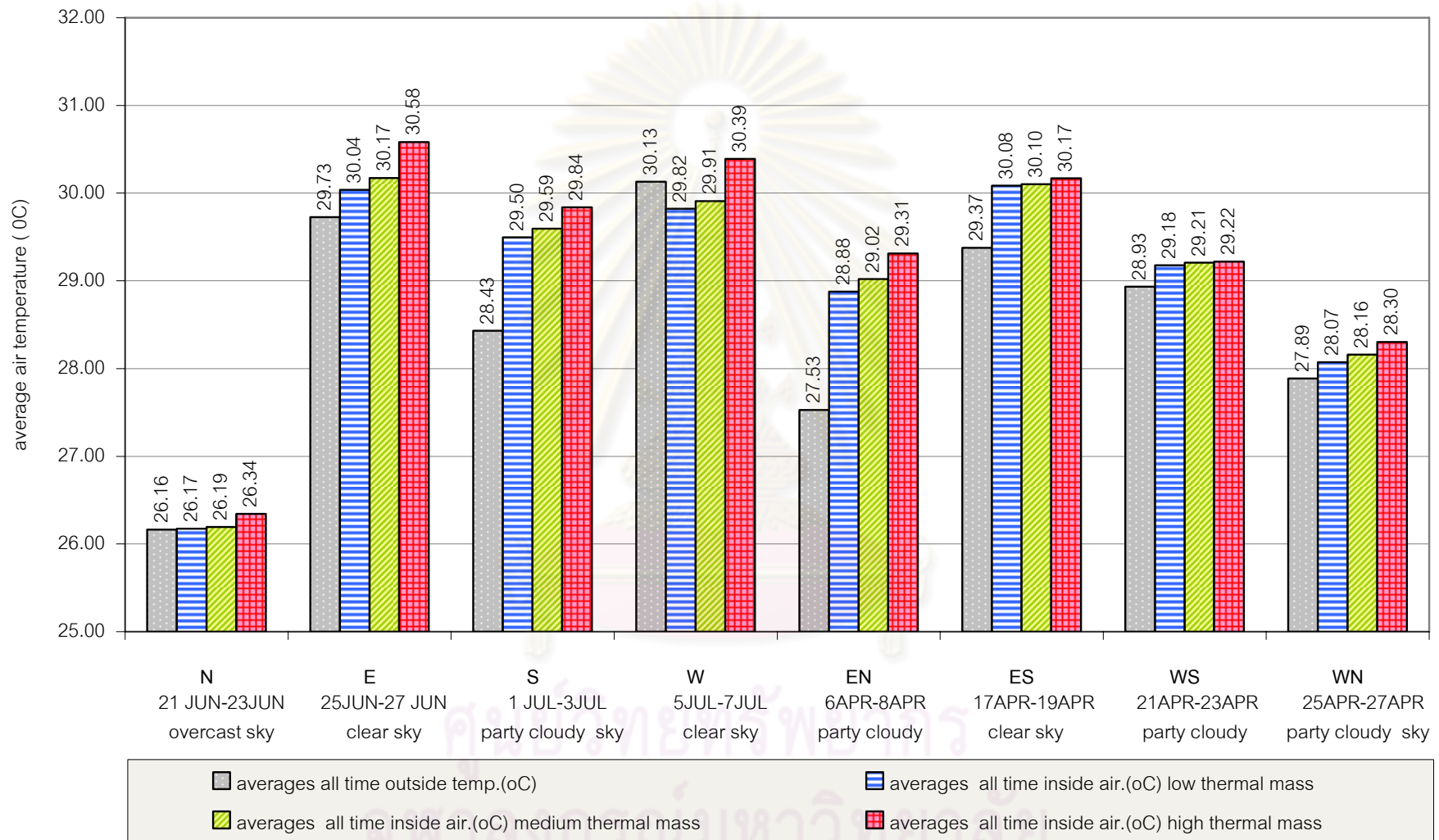
การวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลมวลสาร (thermal mass) ทำโดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก (average outside temperature) กับอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายในห้องทดลอง (average inside temperature) 48 ชั่วโมงตลอดวันทำการทดลอง อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในช่วงเวลากลางวัน (day time) ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่วงเวลากลางคืน (night time) ตั้งแต่เวลา 18.00-6.00น. ของการทดลองทุกทิศทาง สามารถวิเคราะห์โดยพิจารณาจากกราฟได้ดังนี้

4.2.1.1 การวิเคราะห์อิทธิพลมวลสารผนังภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

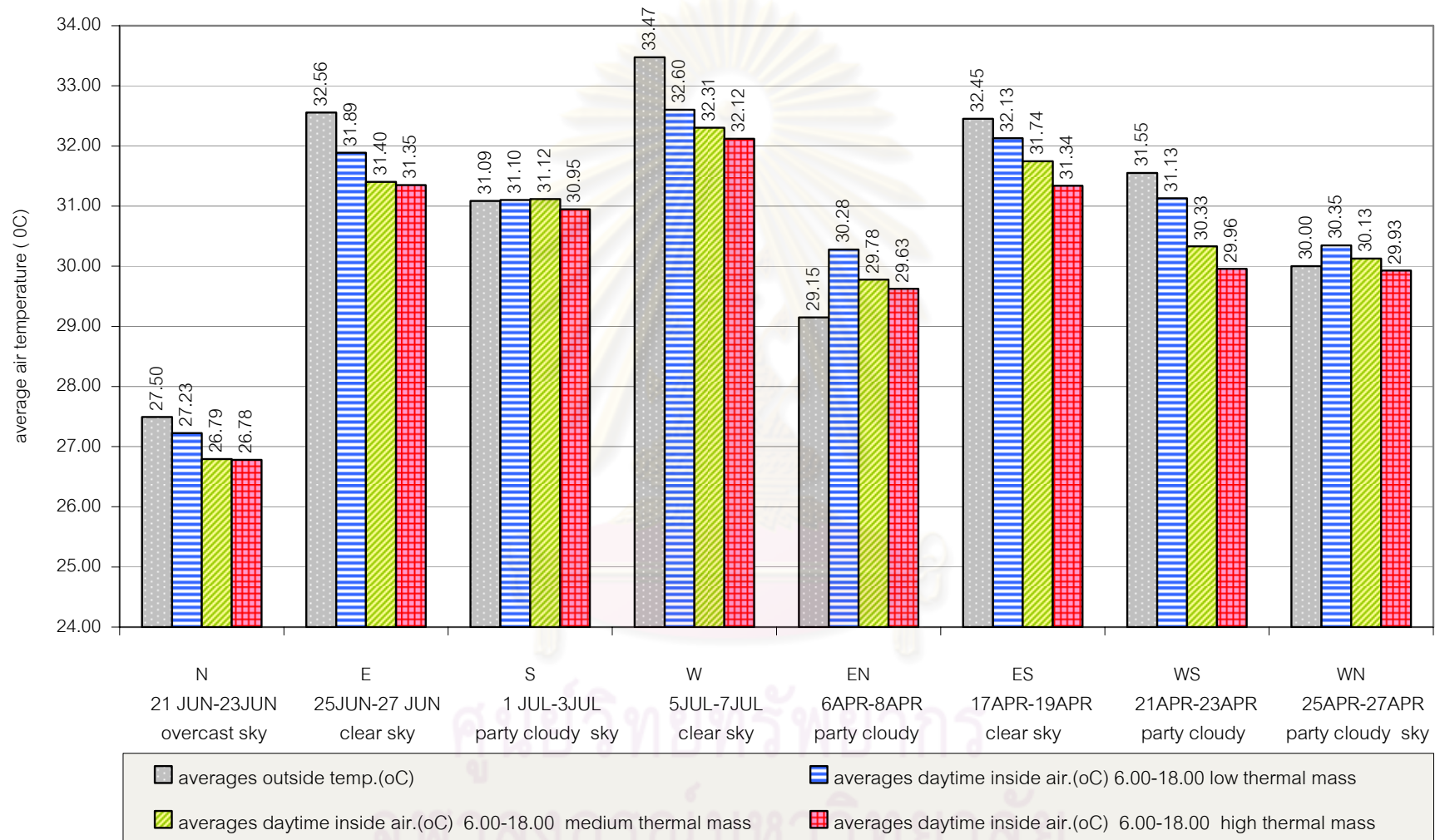
แผนภูมิที่4.17 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

แผนภูมิที่4.18 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

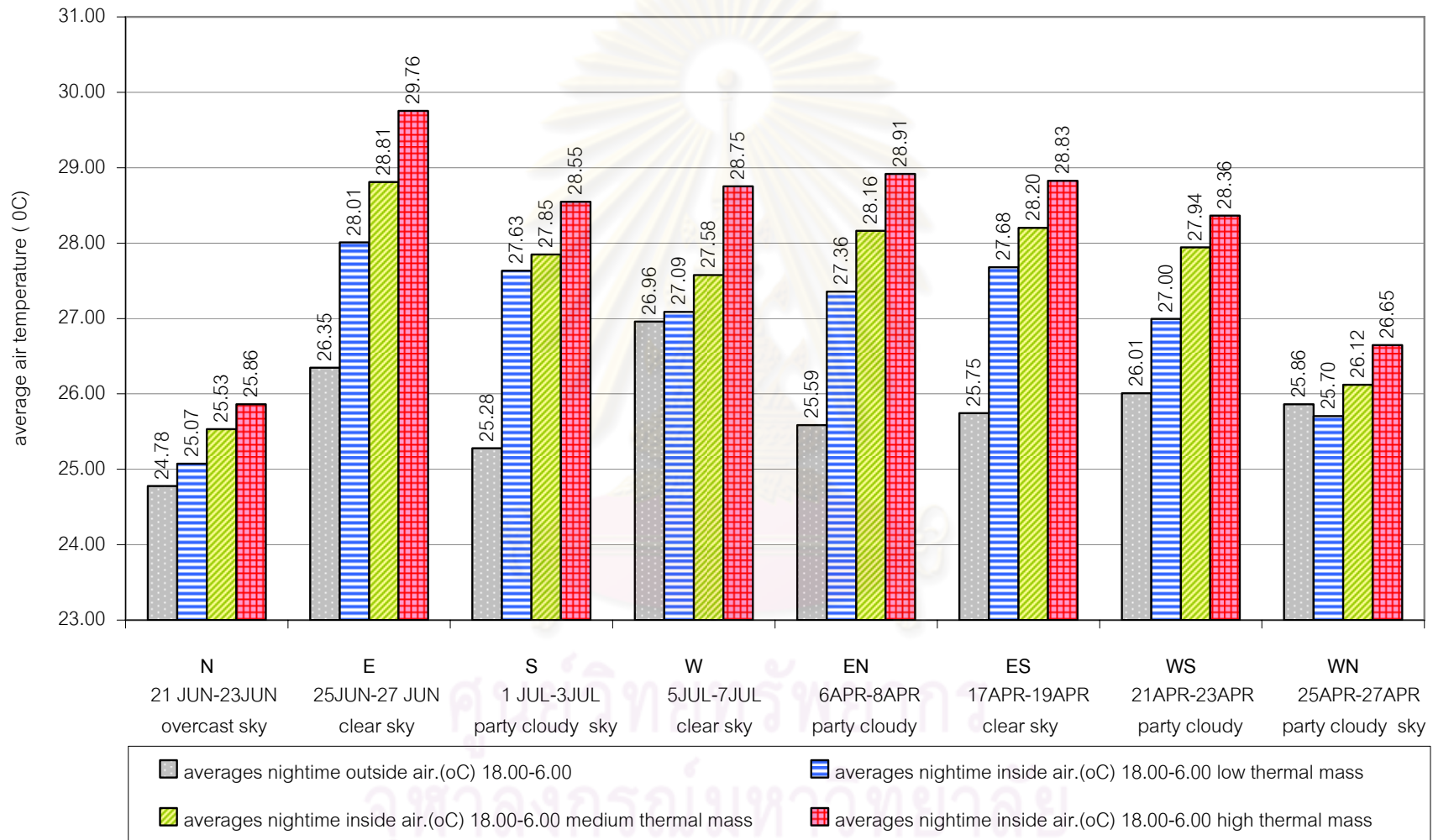
แผนภูมิที่4.19 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00น.-6.00น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 4.17 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา



แผนภูมิที่ 4.18 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00 น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา



แผนภูมิที่ 4.19 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00น.-6.00 น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

พิจารณาแผนภูมิที่ 4.17 สามารถวิเคราะห์ได้ชัดเจนว่า อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ตลอดวันทำการทดลองในทุกทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมากทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร ผนังมวลสารมาก (brick4"+foam0.27") มีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อยส่งผลให้มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร

พิจารณาแผนภูมิที่ 4.18 สามารถวิเคราะห์ได้ชัดเจนว่า อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00 น. ในทุกทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาผนังมวลสารมาก (brick4"+foam0.27") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและเกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารมาก ดังจะเห็นได้ชัดเจนในทิศตะวันตกผนังมวลสารน้อยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุด 32.60 °C รองลงมาคือผนังมวลสารปานกลางมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย 32.31 °C และผนังมวลสารมากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุด 32.12 °C

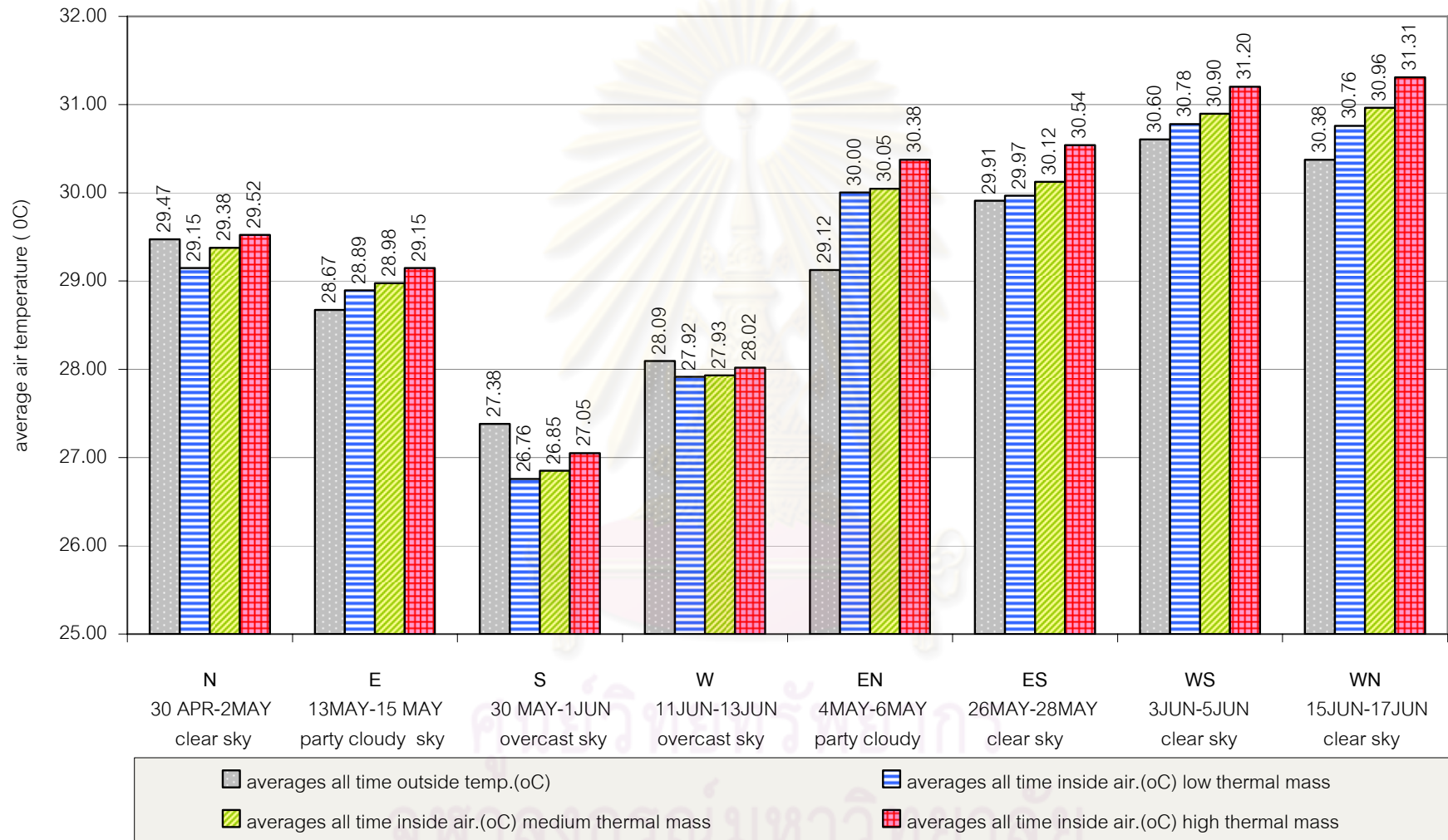
พิจารณาแผนภูมิที่ 4.19 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00น - 6.00 น. ในทุกทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารมาก ผนังมวลสารมาก (brick4" + foam 0.27") มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและเกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารโดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อย ดังจะเห็นได้ชัดเจนในทิศตะวันออกผนังมวลสารมากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุด 29.76 °C รองลงมาคือผนังมวลสารปานกลางมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย 28.81°C และผนังมวลสารมากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุด 29.76 °C

4.2.1.2 การวิเคราะห์ห่อหุ้มมวลสารผนังภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา

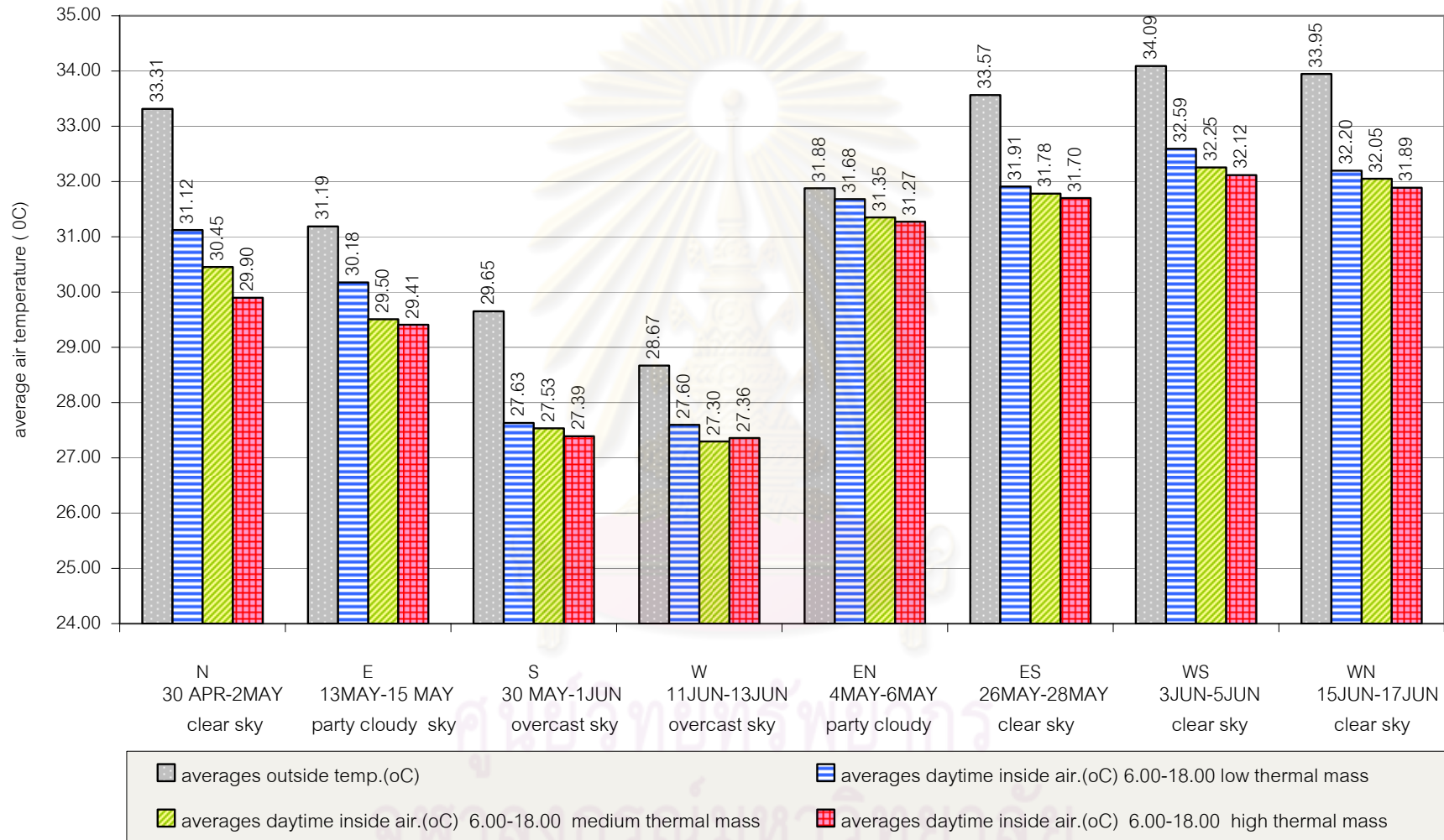
แผนภูมิที่4.20 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

แผนภูมิที่4.21 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

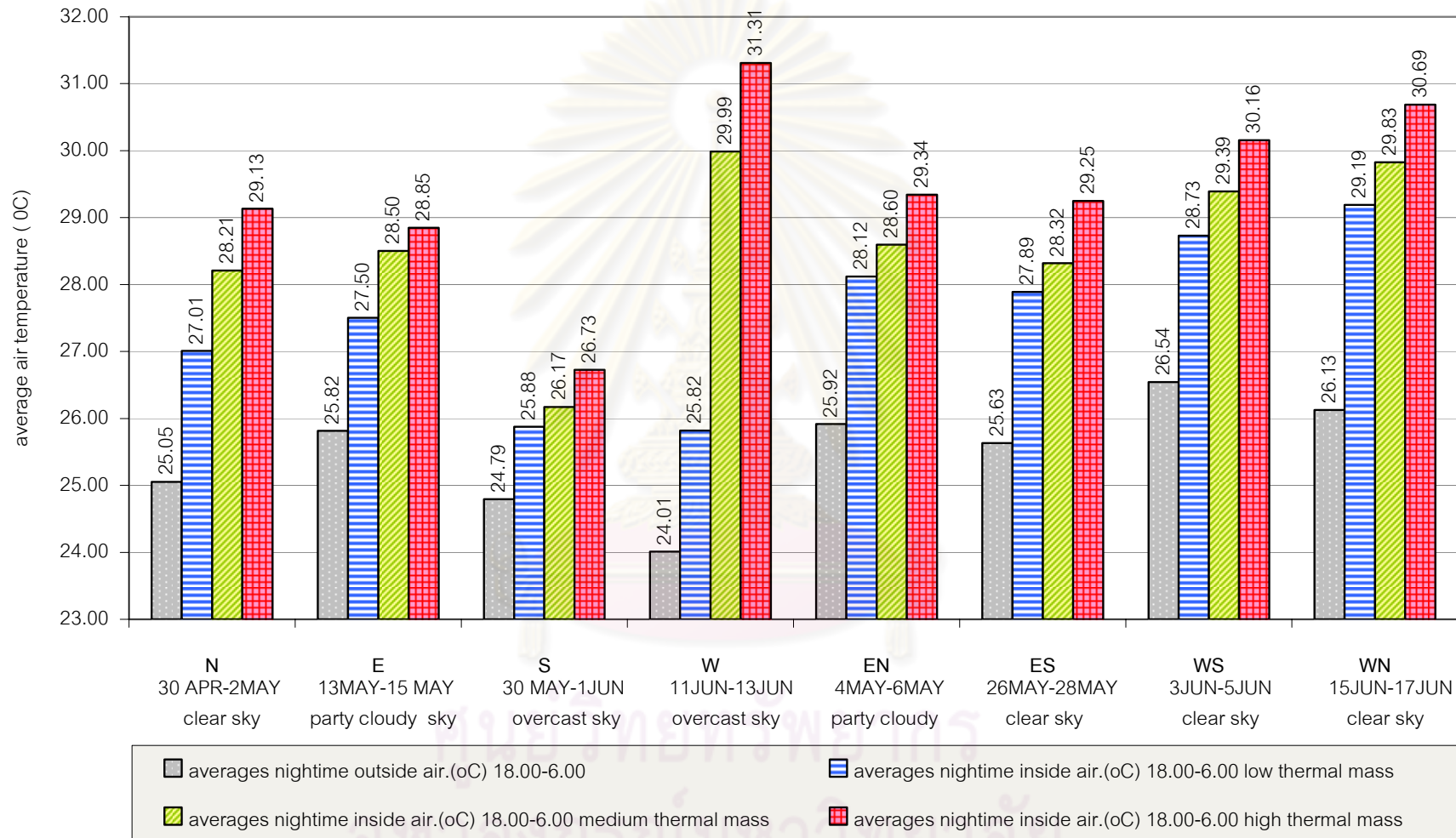
แผนภูมิที่4.22 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00น.-6.00น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 4.20 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 4.21 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 4.22 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00น.-6.00น. ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

พิจารณาแผนภูมิที่ 4.20 สามารถวิเคราะห์ได้ชัดเจนว่า อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ตลอดวันทำการทดลองในทุกทิศทางกรณีมีเชิงชายหลังคาผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมากทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร ผนังมวลสารมาก (brick4"+ foam0.27") มีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อยส่งผลให้มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร เช่นเดียวกับกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

พิจารณาแผนภูมิที่ 4.21 สามารถวิเคราะห์ได้ชัดเจนว่า อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลา กลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00 น. ในทุกทิศทางกรณีมีเชิงชายหลังคาผนังมวลสารมาก (brick4"+ foam0.27") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและเกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมากเช่นเดียวกับกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ดังจะเห็นได้ชัดเจนในทิศเหนือผนังมวลสารน้อยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุด 31.12 °C รองลงมาคือผนังมวลสารปานกลางมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย 30.45 °C และผนังมวลสารมาก มีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุด 29.90 °C

พิจารณาแผนภูมิที่ 4.22 สามารถวิเคราะห์ได้ชัดเจนว่า อุณหภูมิเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ช่วงเวลา กลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00น - 6.00 น. ในทุกทิศทางกรณีมีเชิงชายหลังคาผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้ อาคาร เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวล สารมาก ผนังมวลสารมาก (brick4" + foam 0.27") มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและเกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารโดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวล สารปานกลางและผนังมวลสารน้อยเช่นเดียวกับกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ดังจะเห็นได้ชัดเจนในทิศตะวันตกผนัง มวลสารมากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุด 31.31 °C รองลงมาคือผนังมวลสารปานกลางมีอุณหภูมิ อากาศภายในเฉลี่ย 29.99°C และผนังมวลสารมากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุด 25.82 °C

4.2.2 การวิเคราะห์อิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง

การวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลทิศทาง (orientation) ทำโดยการเปรียบเทียบผลรวมของ อุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ผลรวมอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลากลางวัน (accumulate degree-hours above 18°C for day time) ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 และเปรียบเทียบผลรวมอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลา กลางคืน (accumulate degree-hours above 18°C for night time) ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00น. โดยวิเคราะห์ อิทธิพลทิศทาง (orientation) 8 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ การวิเคราะห์พิจารณาจากแผนภูมิได้ ดังนี้

4.2.2.1 การวิเคราะห์หัตถิมวลสารผนังภายนอกและทิศทางการหนีไม่มีเชิงชายหลังคา

แผนภูมิที่ 4.23 วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

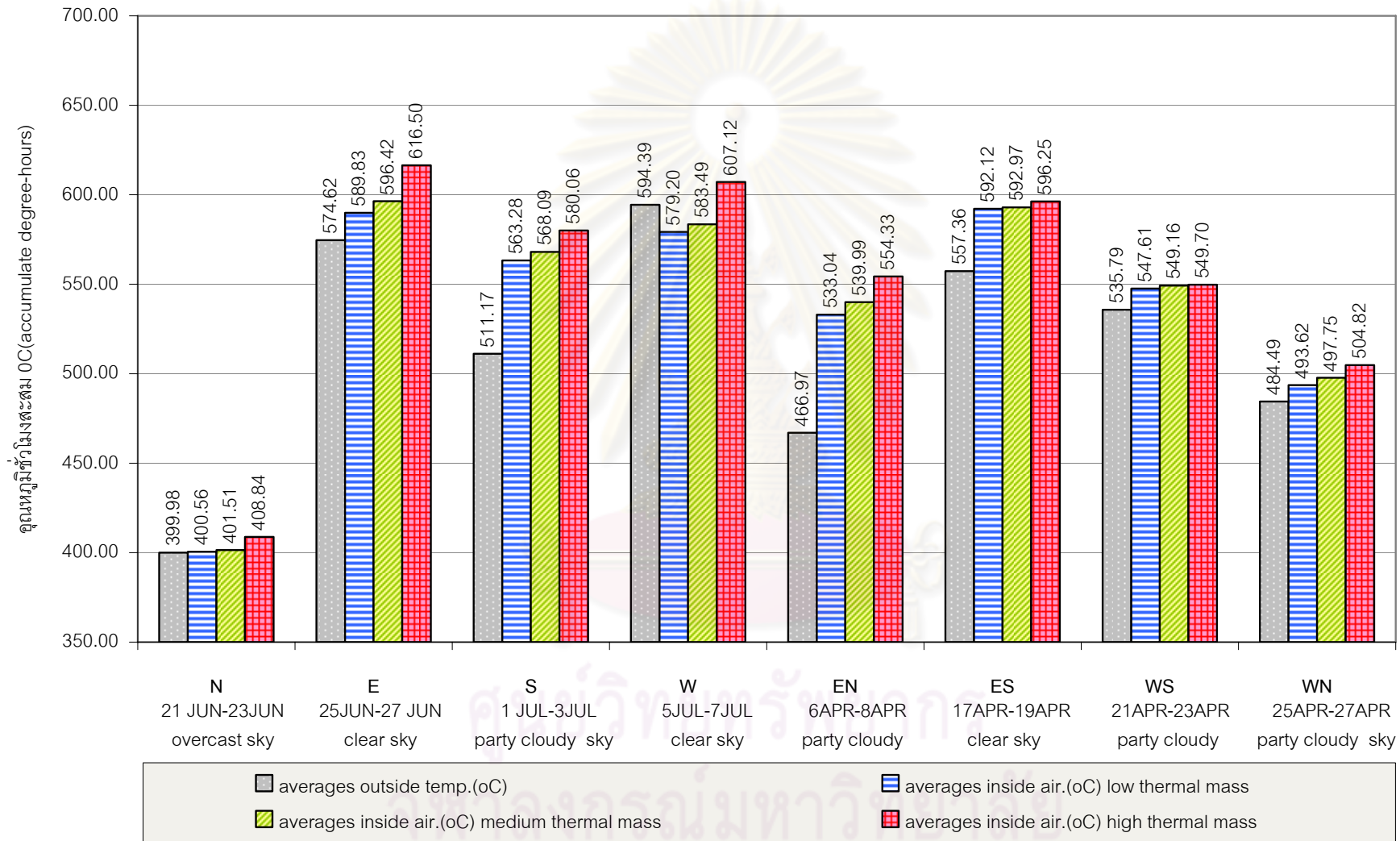
แผนภูมิที่ 4.24 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

แผนภูมิที่ 4.25 วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วันของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

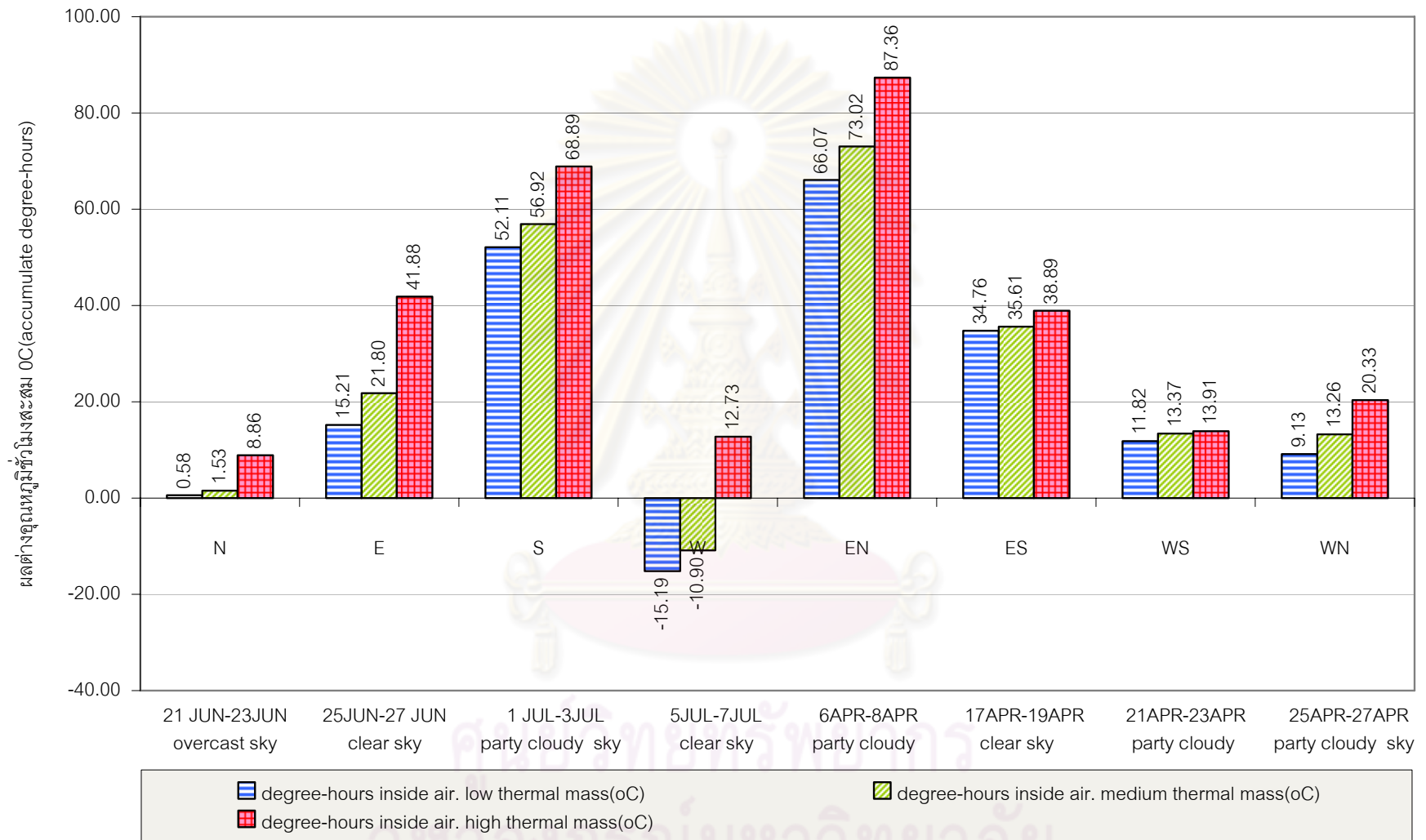
แผนภูมิที่ 4.26 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

แผนภูมิที่ 4.27 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย ทั้ง 2 วัน ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00น.-6.00น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

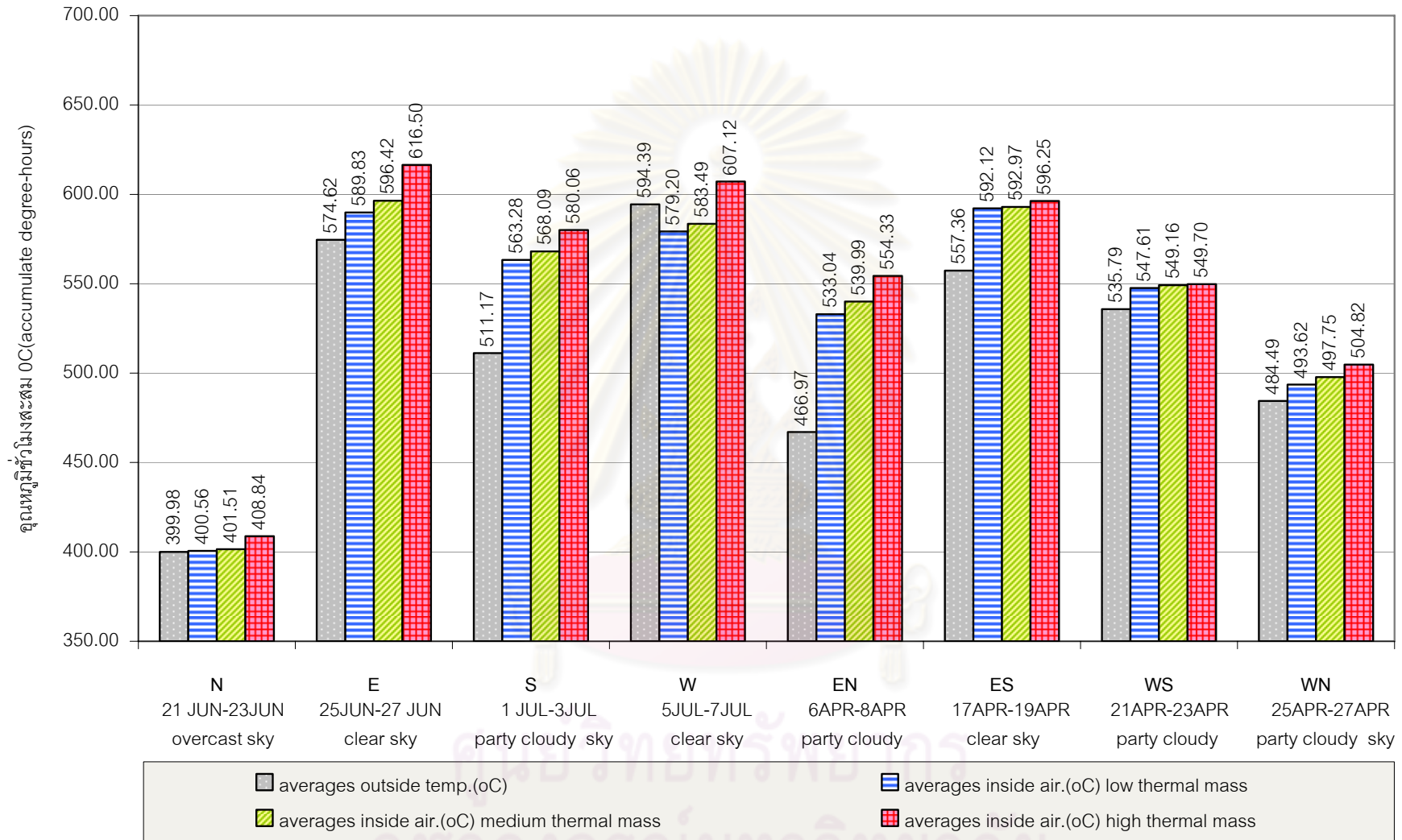
แผนภูมิที่ 4.28 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา



แผนภูมิที่ 4.23 วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

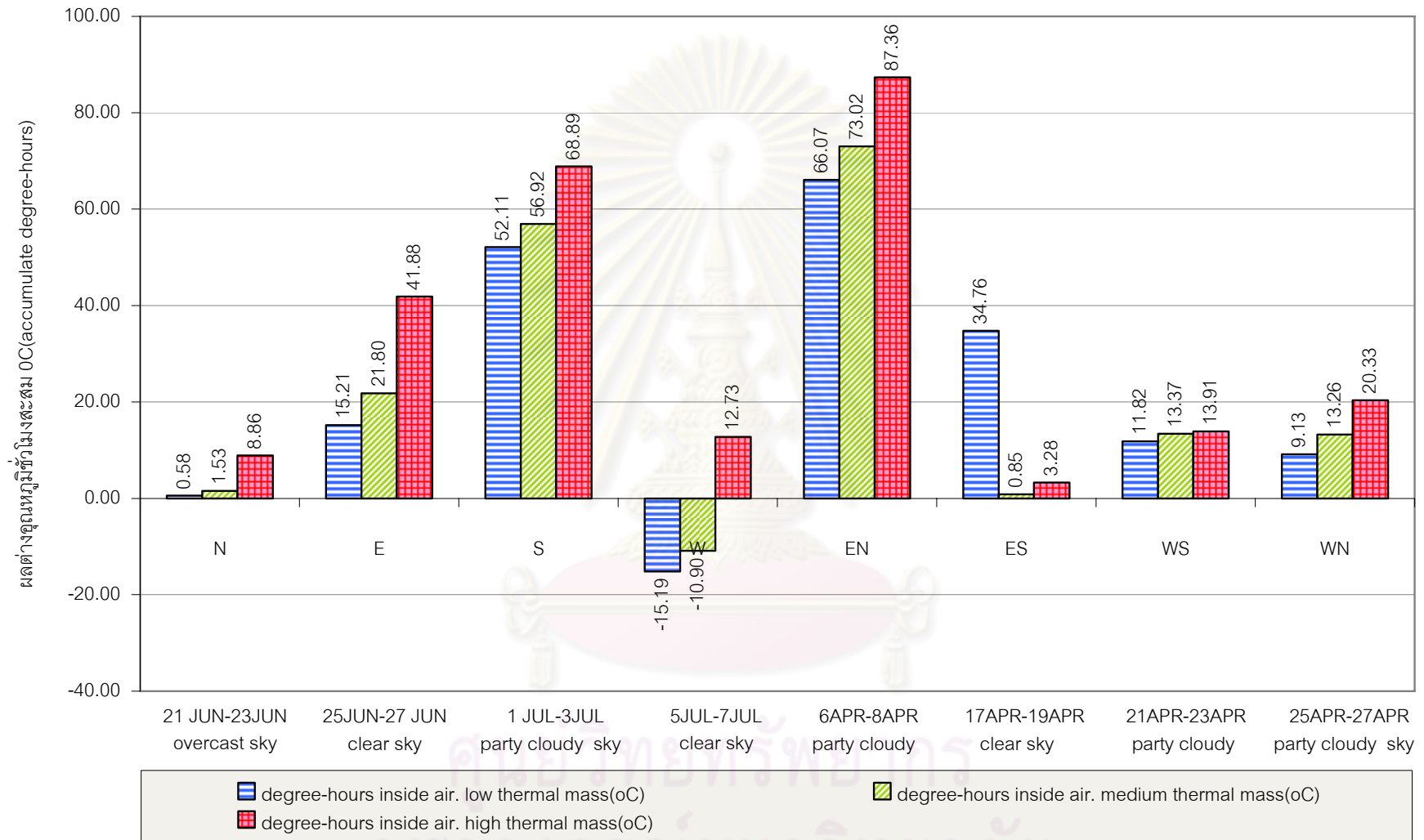


แผนภูมิที่ 4.24 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

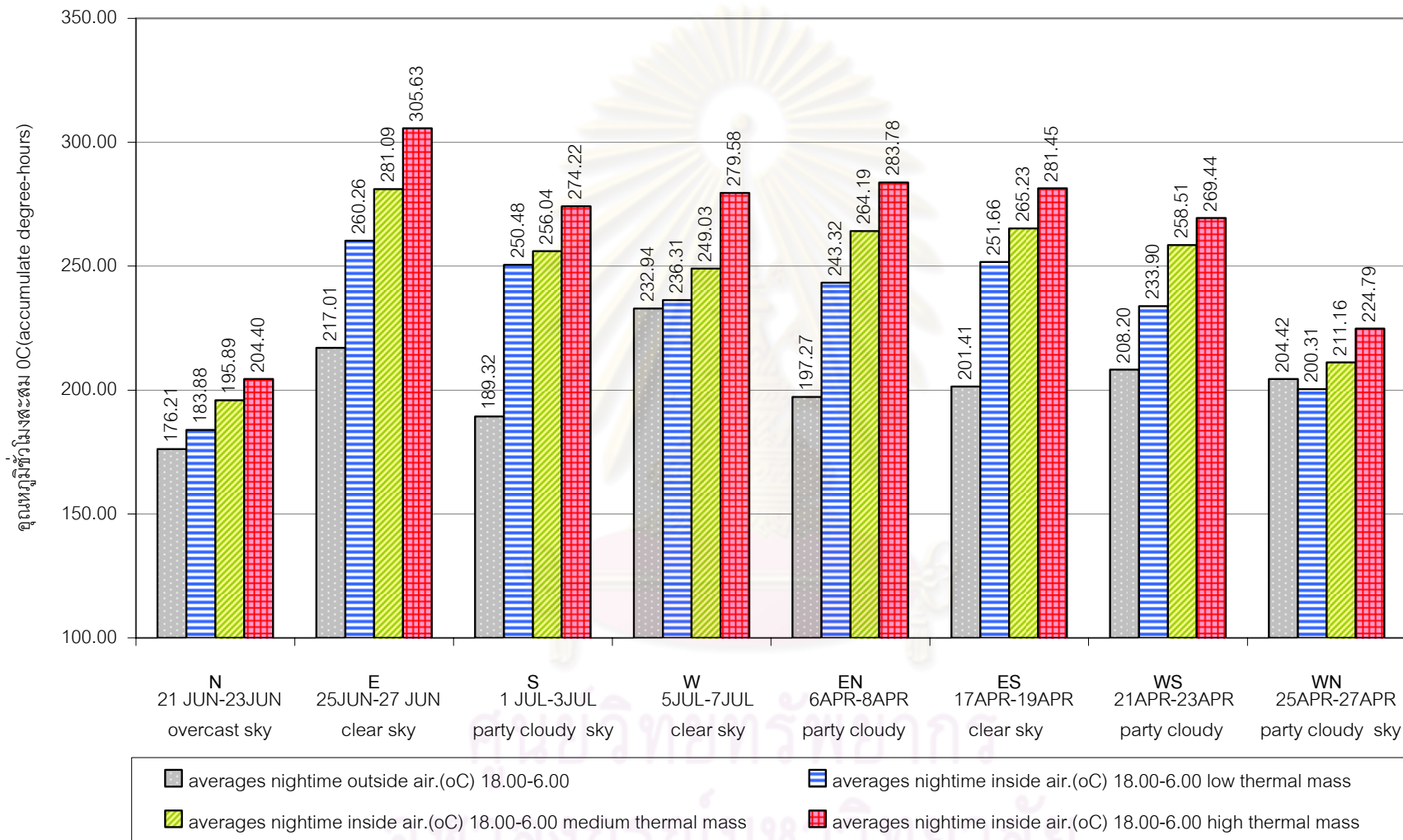


แผนภูมิที่ 4.25 วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง

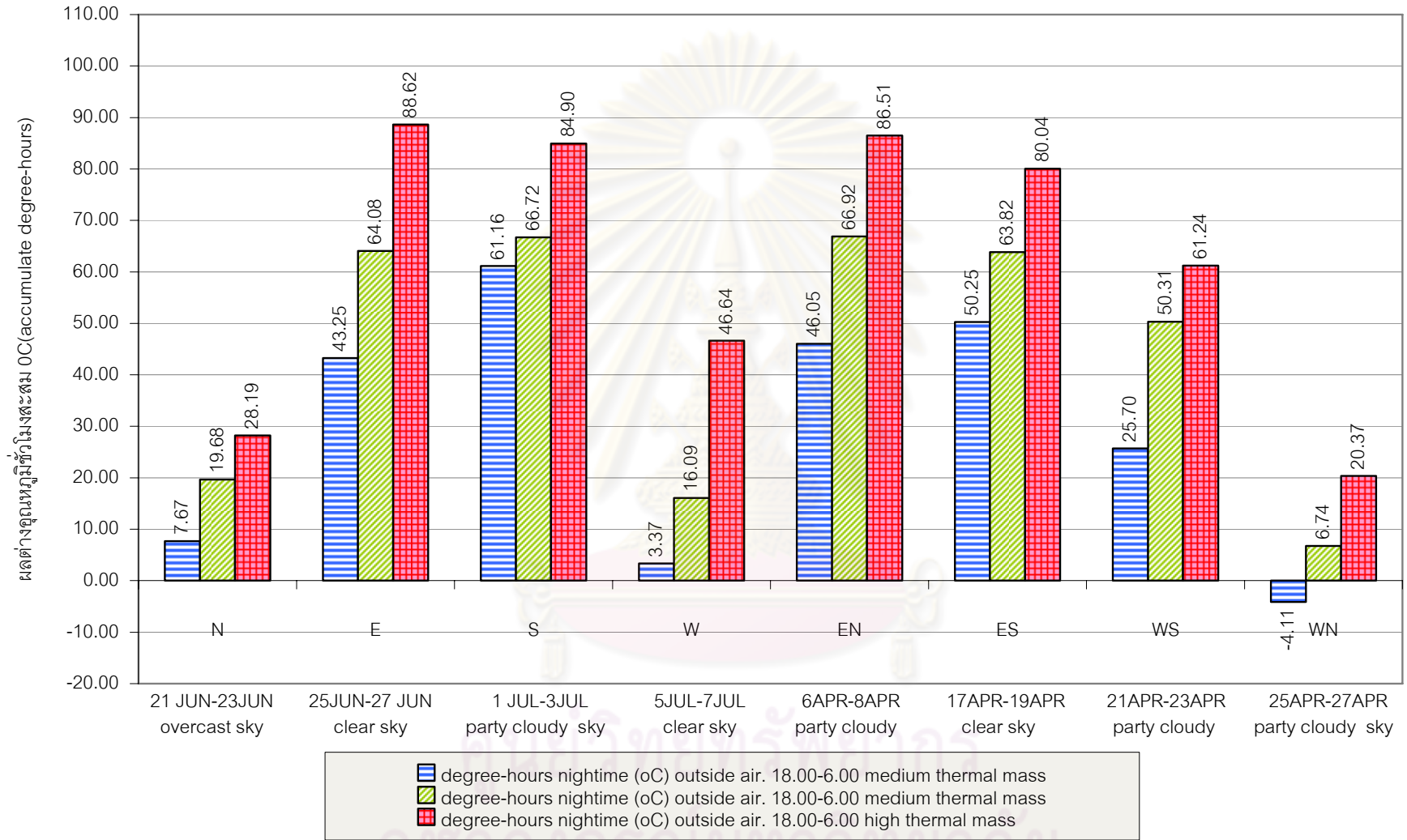
(accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา



แผนภูมิที่ 4.26 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา



แผนภูมิที่ 4.27 วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00-6.00น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา



แผนภูมิที่ 4.28 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ในการลดปริมาณการสะสมความร้อนระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองโดยการเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (C^ohour)

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา			
24 hours X2day	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")	ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")	ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")
ทิศเหนือ	0.58	1.53	8.86
ทิศตะวันออก	15.21	21.80	41.88
ทิศใต้	52.11	56.92	68.89
ทิศตะวันตก	-15.19	-10.90	12.73
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	66.07	73.02	87.36
ทิศตะวันออกเฉียงใต้	34.76	35.61	38.89
ทิศทิศตะวันตกเฉียงใต้	11.82	13.37	13.91
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	9.13	13.26	20.33

ตารางที่ 4.5 ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง (accumulate degree-hours above 18^oC for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

จากการทดลองในภาพรวมทั้งวันตลอด 48 ชั่วโมงอิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารน้อย (light weight4") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารได้ดีที่สุดทุกทิศทาง ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศตะวันตก สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารจากมากไปหาน้อยทั้งวันตลอด 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.5) ได้ดังนี้

1. ทิศตะวันตก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -15.19 c^ohour
2. ทิศเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 0.58 c^ohour
3. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 9.13 c^ohour
4. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 11.82 c^ohour
5. ทิศตะวันออก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 15.21 c^ohour
6. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 34.76 c^ohour
7. ทิศใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 55.11 c^ohour
8. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 66.07 c^ohour

ประสิทธิภาพของทิศทางอาคารทุกทิศทางทั้งวันตลอด 48 ชั่วโมง มีผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศภายในผนังมวลสารน้อยได้ดีทุกทิศทาง สาเหตุมาจากผนังมวลสารน้อยเกิดการสะสมความร้อนน้อย แต่ในทางกลับกันทุกทิศทางอาคารผนังมวลสารมากกลับมีประสิทธิภาพต่ำสุดเนื่องจากมีผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิอากาศสูงสุด สาเหตุมาจากอิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของมวลสารเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์จากอิทธิพลของทิศทางอาคาร

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวัน (day time) การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา			
24 hours X2day 6.00-18.00 (day time)	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")	ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")	ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")
ทิศเหนือ	-7.28	-18.93	-19.33
ทิศตะวันออก	-17.99	-31.11	-32.56
ทิศใต้	0.42	0.87	-3.76
ทิศตะวันตก	-23.57	-31.54	-36.53
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	30.55	17.02	12.90
ทิศตะวันออกเฉียงใต้	-8.65	-19.06	-30.02
ทิศทิศตะวันตกเฉียงใต้	-11.26	-32.92	-43.03
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	9.34	3.47	-1.92

ตารางที่ 4.6 ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

จากการทดลองช่วงเวลากลางวัน 6.00 - 18.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง อิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารมาก (brick8"+foam0.12") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารช่วงเวลากลางวันได้ดีที่สุดทุกทิศทาง ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการดำเนินงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารจากมากไปหาน้อยช่วงเวลากลางวัน 6.00-18.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.6) ได้ดังนี้

1. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -43.03 c^ohour
2. ทิศตะวันตก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -36.53 c^ohour
3. ทิศตะวันออก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -32.56 c^ohour
4. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -30.02 c^ohour
5. ทิศเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -19.33 c^ohour
6. ทิศใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 3.76 c^ohour
7. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -1.92 c^ohour
8. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -12.90 c^ohour

ประสิทธิภาพของทิศทางอาคารช่วงเวลากลางวัน 6.00 - 18.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากมีผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมมากกว่าผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมตลอดเวลาทั้งวัน ผนังมวลสารมากสามารถป้องกันความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์จากอิทธิพลของทิศทางอาคารได้ดี และเกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงเวลากลางวัน แต่ในทางกลับกันทุกทิศทางอาคารผนังมวลสารน้อยกลับมีประสิทธิภาพต่ำสุดในทุกทิศทางไม่สามารถป้องกันความร้อนจากอิทธิพลของทิศทางอาคารได้

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา			
24 hours X2day 18.00-6.00 (nighttime)	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")	ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")	ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")
ทิศเหนือ	7.67	19.68	28.19
ทิศตะวันออก	43.25	64.08	88.62
ทิศใต้	61.16	66.72	84.90
ทิศตะวันตก	3.37	16.09	46.64
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	46.05	66.92	86.51
ทิศตะวันออกเฉียงใต้	50.25	63.82	80.04
ทิศทิศตะวันตกเฉียงใต้	25.70	50.31	61.24
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	-4.11	6.74	20.37

ตารางที่ 4.7 ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

จากการทดลองช่วงเวลากลางคืน 18.00 - 6.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง อิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก เกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงเวลากลางวันและเกิดการคายความร้อนในช่วงเวลากลางคืน ช่วงเวลากลางคืนผนังมวลสารน้อย (light weight4") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารได้ดีที่สุดทุกทิศทางเนื่องจากเกิดการสะสมความร้อนน้อยและแลกเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศได้อย่างรวดเร็วกว่าผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารจากมากไปหาน้อยช่วงเวลากลางคืน 18.00 - 6.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.7) ได้ดังนี้

1. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -4.11 c°hour
2. ทิศตะวันตก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 3.37 c°hour
3. ทิศเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 7.67 c°hour
4. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 25.70 c°hour
5. ทิศตะวันออก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 43.25 c°hour
6. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 46.05 c°hour
7. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 50.25 c°hour
8. ทิศใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 61.16 c°hour

ประสิทธิภาพของทิศทางอาคารทุกทิศทางช่วงเวลากลางคืน 18.00 - 6.00น. ตลอด 48 ชั่วโมง ได้รับประโยชน์จากอิทธิพลของทิศทางอาคารน้อยที่สุด เนื่องจากมีผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมตลอดเวลา 24 ชั่วโมง และผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางวัน

4.2.2.2 การวิเคราะห์ห่อหุ้มมวลสารผนังภายนอกและทิศทางการมีเชิงชายหลังคา

แผนภูมิที่ 4.29 วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา

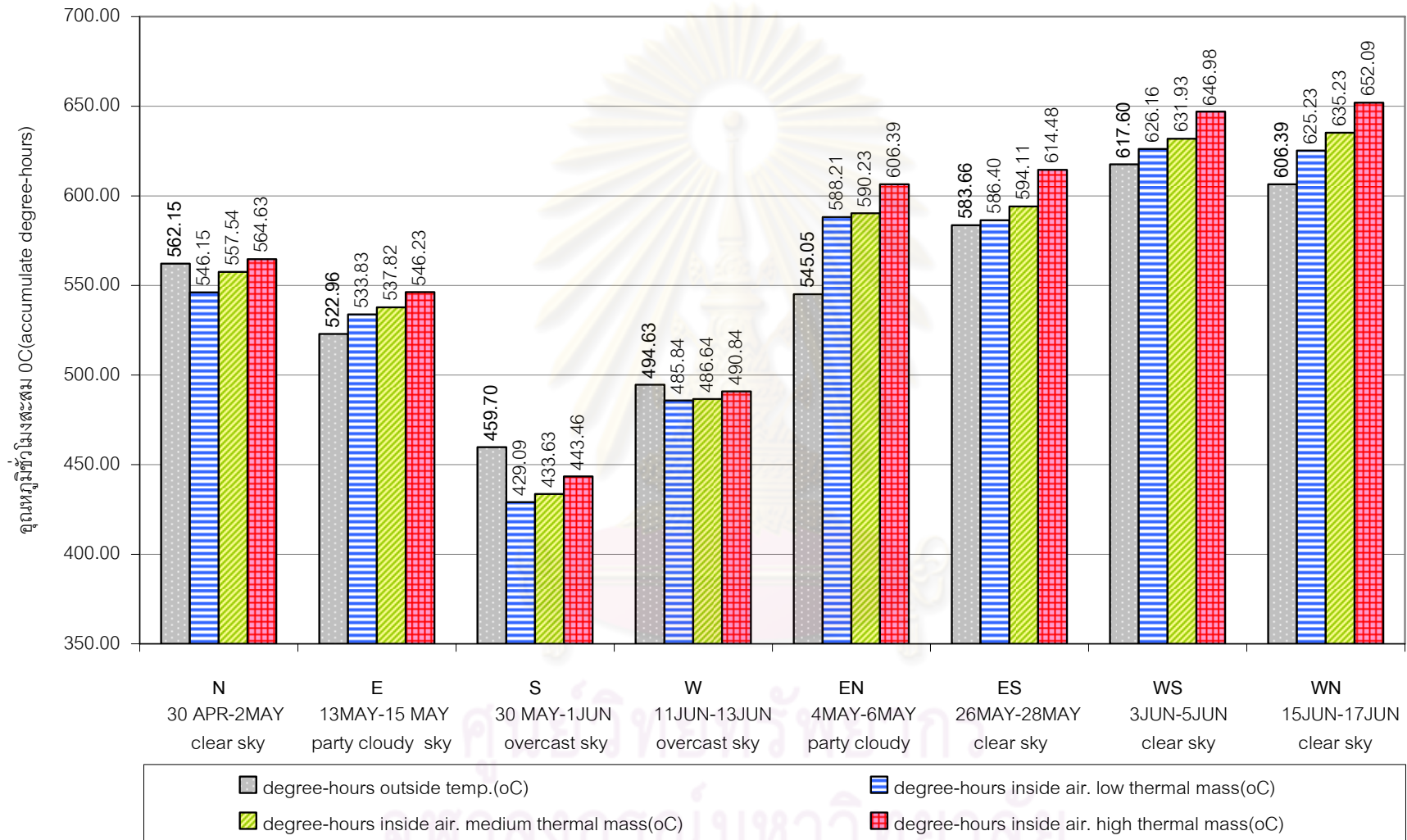
แผนภูมิที่ 4.30 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา

แผนภูมิที่ 4.31 วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วันของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา

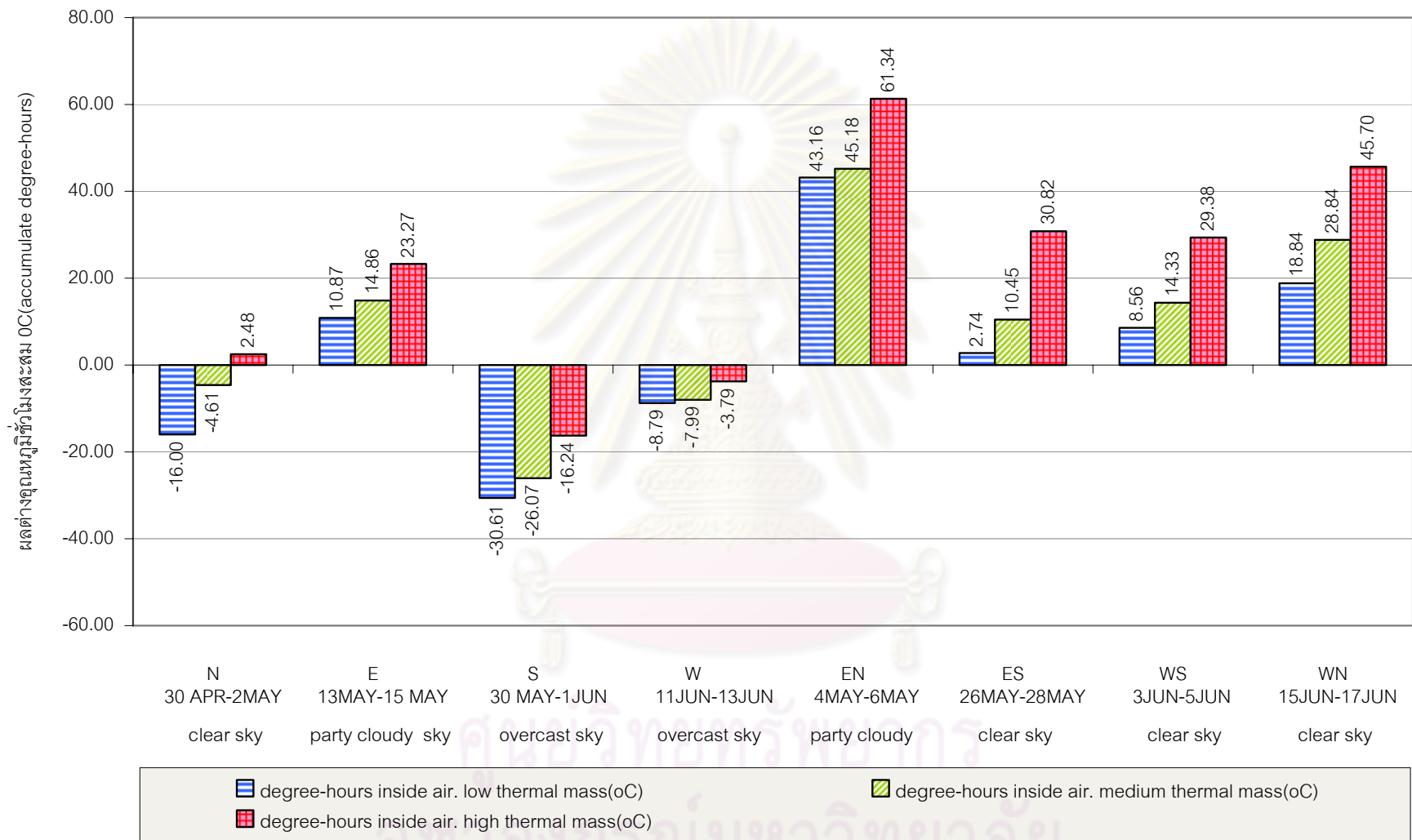
แผนภูมิที่ 4.32 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา

แผนภูมิที่ 4.33 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย ทั้ง 2 วัน ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00น.-6.00น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา

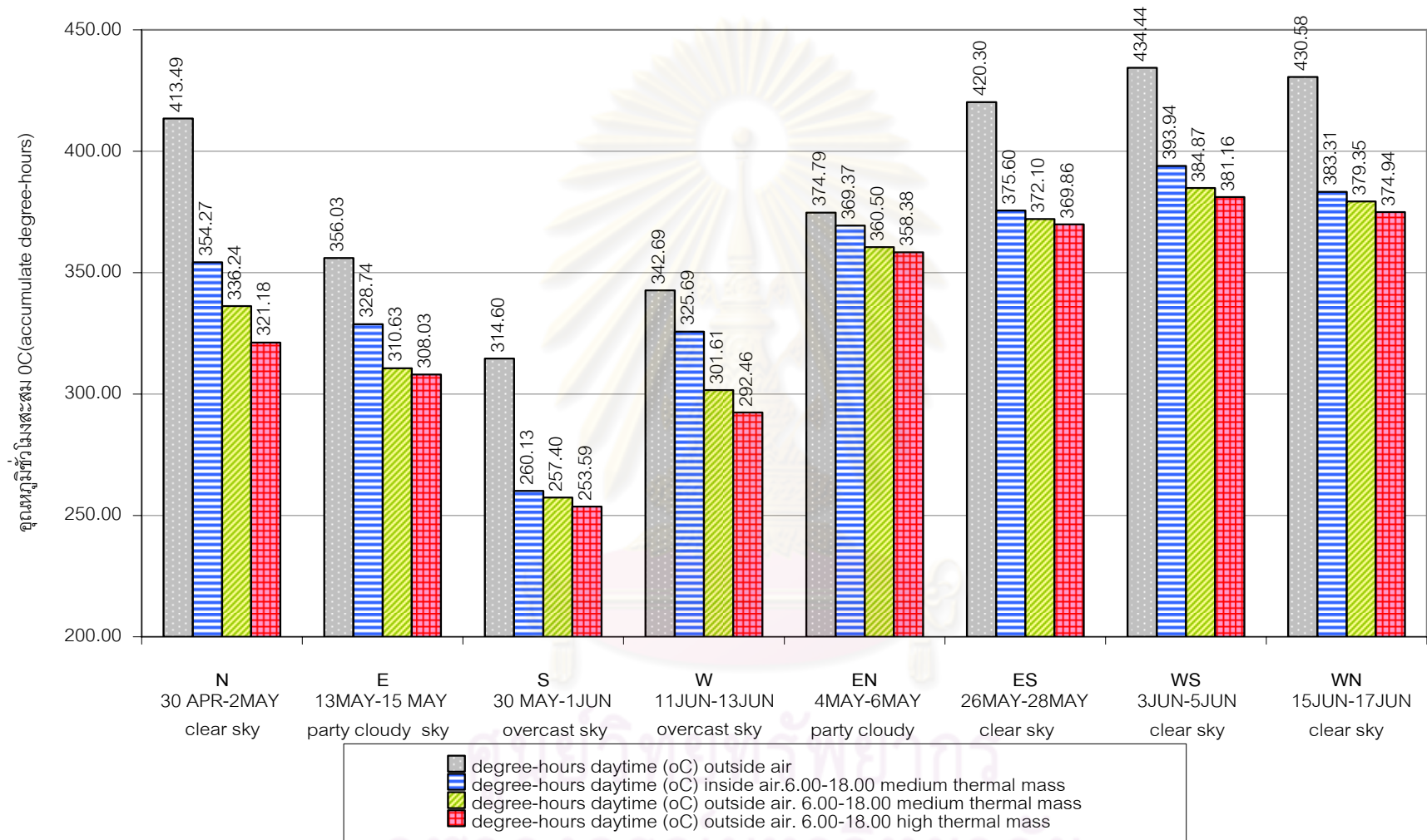
แผนภูมิที่ 4.34 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา



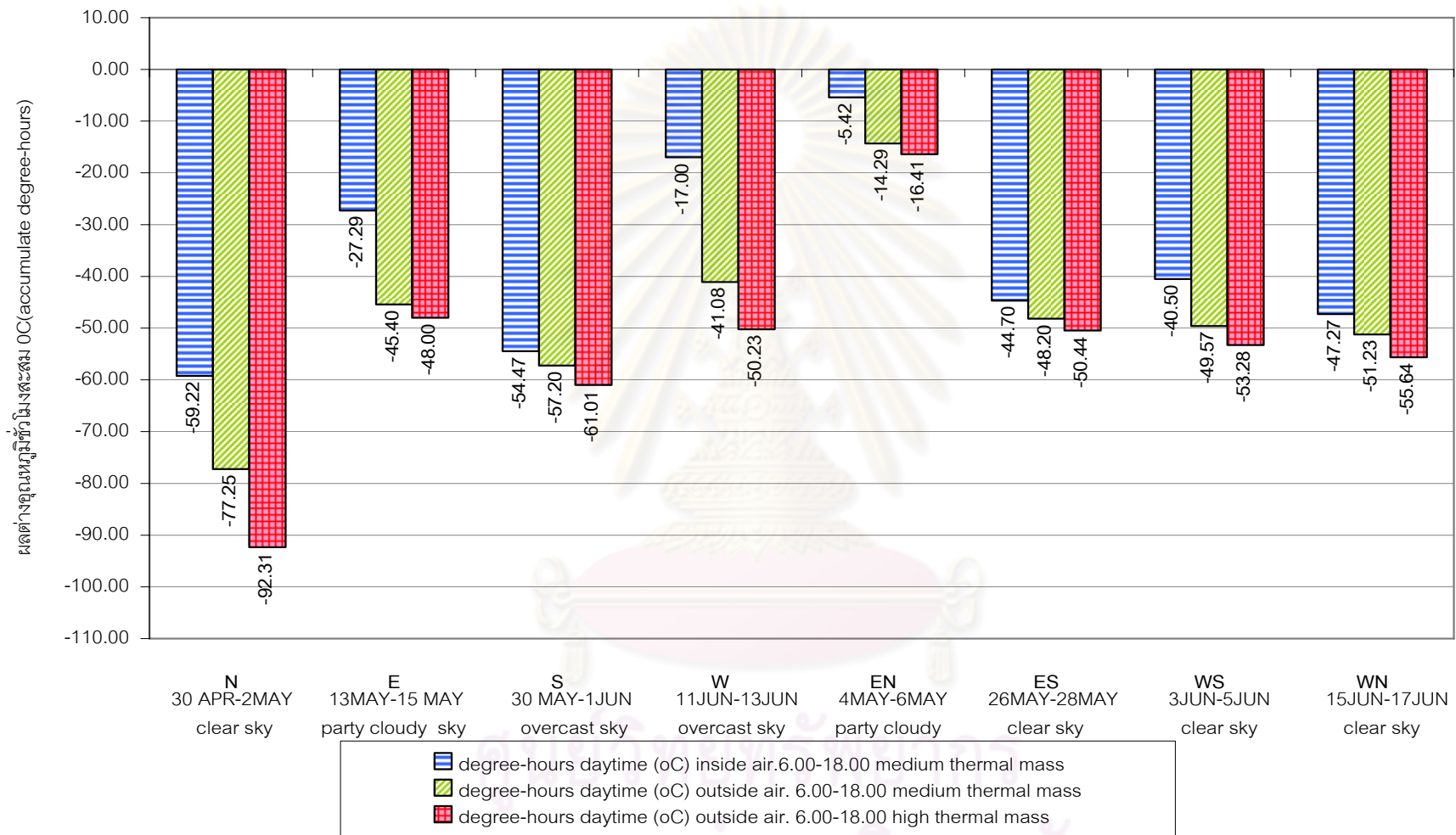
แผนภูมิที่ 4.29 วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา



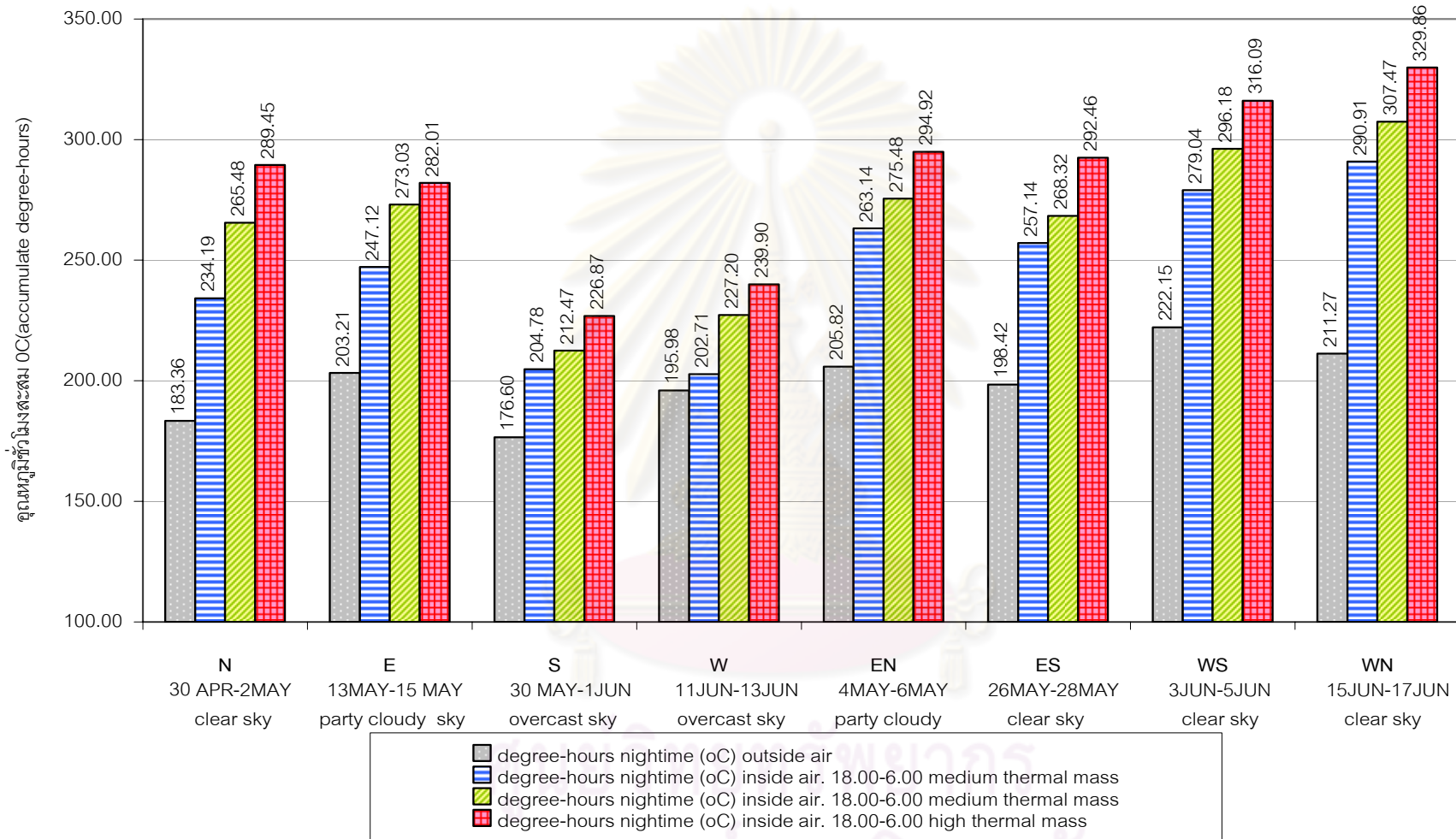
แผนภูมิที่ 4.30 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา



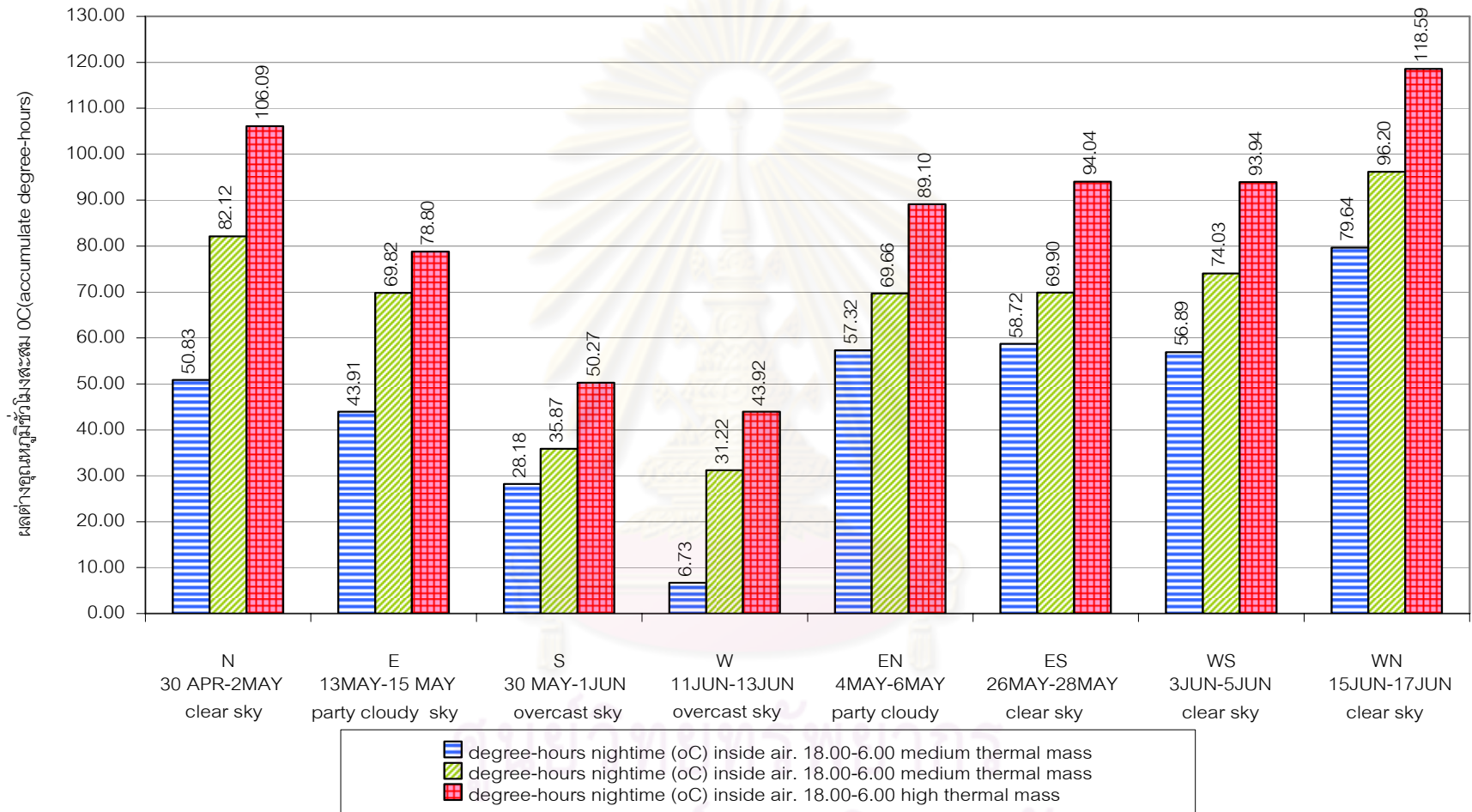
แผนภูมิที่ 4.31 วิเคราะห์ผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วันของอุณหภูมิภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา



แผนภูมิที่ 4.32 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา



แผนภูมิที่ 4.33 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย ทั้ง 2 วัน ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00น.-6.00น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายในห้องทดลองทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา



แผนภูมิที่ 4.34 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ทั้ง 2 วัน ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีมีเชิงชายหลังคา ในการลดปริมาณการสะสมความร้อนระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองโดยการเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (C^ohour)

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา			
24 hours X2day	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")	ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")	ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")
ทิศเหนือ	-16.00	-4.61	2.48
ทิศตะวันออก	10.87	14.86	23.27
ทิศตะวันตก	-30.61	-26.07	-16.24
ทิศใต้	-8.79	-7.99	-3.79
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	43.16	45.18	61.34
ทิศตะวันออกเฉียงใต้	2.74	10.45	30.82
ทิศทิศตะวันตกเฉียงใต้	8.56	14.33	29.38
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	18.84	28.84	45.70

ตารางที่ 4.8 ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง (accumulate degree-hours above 18^oC for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีมีเชิงชายหลังคา

จากการทดลองในภาพรวมทั้งวันตลอด 48 ชั่วโมง ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศตะวันตก อิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารน้อย (light weight4") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารได้ดีที่สุดทุกทิศทาง สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารกรณีมีเชิงชายหลังคาจากมากไปหาน้อยทั้งวันตลอด 48 ชั่วโมง กรณีมีเชิงชายหลังคา (ตารางที่ 4.8) ได้ดังนี้

1. ทิศตะวันตก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -30.61 c^ohour
2. ทิศเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -16.00 c^ohour
3. ทิศใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -8.79 c^ohour
4. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 2.74 c^ohour
5. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 8.56 c^ohour
6. ทิศตะวันออก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 10.87 c^ohour
7. ทิศตกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 18.84 c^ohour
8. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 43.16 c^ohour

ประสิทธิภาพของทิศทางอาคารทุกทิศทางทั้งวันตลอด 48 ชั่วโมง มีผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศภายในผนังมวลสารน้อยได้ดีทุกทิศทาง สาเหตุมาจากผนังมวลสารน้อยเกิดการสะสมความร้อนน้อย แต่ในทางกลับกันทุกทิศทางอาคารผนังมวลสารมากกลับมีประสิทธิภาพต่ำสุดเนื่องจากมีผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิอากาศสูงสุด สาเหตุมาจากอิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของมวลสารเมื่อได้รับความร้อนจากรังสี แสงอาทิตย์จากอิทธิพลของทิศทางอาคาร

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวัน (day time) การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา			
24 hours X2day 6.00-18.00 (day time)	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")	ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")	ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")
ทิศเหนือ	-59.22	-77.25	-92.31
ทิศตะวันออก	-27.29	-45.40	-48.00
ทิศตะวันตก	-54.47	-57.20	-61.01
ทิศใต้	-17.00	-41.08	-50.23
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	-5.42	-14.29	-16.41
ทิศตะวันออกเฉียงใต้	-44.70	-48.20	-50.44
ทิศตะวันตกเฉียงใต้	-40.50	-49.57	-53.28
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	-47.27	-51.23	-55.64

ตารางที่ 4.9 ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีมีเชิงชายหลังคา

จากการทดลองช่วงเวลากลางวัน 6.00 - 18.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศเหนือ อิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารมาก (brick8"+foam0.12") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารช่วงเวลากลางวันได้ดีที่สุด สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารจากมากไปหาน้อยช่วงเวลากลางวัน 6.00-18.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.9) ได้ดังนี้

1. ทิศเหนือ ผนังมวลสารมากมีผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -92.31 c°hour
2. ทิศใต้ ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -50.23 c°hour
3. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผนังมวลสารปานกลางผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -51.23 c°hour
4. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -55.64 c°hour
5. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -50.44 c°hour
6. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -53.28 c°hour
7. ทิศตะวันตก ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -50.23 c°hour
8. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -16.41 c°hour

อิทธิพลของทิศทางอาคารทิศเหนือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดภาระการใช้งานพลังงาน และสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร ประสิทธิภาพของทิศทางอาคารช่วงเวลากลางวัน 6.00 - 18.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพสูงสุด ผนังมวลสารมากสามารถป้องกันความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์จากอิทธิพลของทิศทางอาคารได้ดีและเกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงเวลากลางวัน ทิศตะวันตกเฉียงเหนือผนังมวลสารปานกลางสามารถลดภาระการใช้งานพลังงานได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารมาก และผนังมวลสารน้อย แต่ในทางกลับกันทุกทิศทางอาคารผนังมวลสารน้อยกลับมีประสิทธิภาพต่ำสุดในทุกทิศทาง ไม่สามารถป้องกันความร้อนจากอิทธิพลของทิศทางอาคารได้

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืน (nighttime)			
การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา			
24 hours X2day 18.00-6.00 (nighttime)	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")	ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")	ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")
ทิศเหนือ	50.83	82.12	106.09
ทิศตะวันออก	43.91	69.82	78.80
ทิศตะวันตก	28.18	35.87	50.27
ทิศใต้	6.73	31.22	43.92
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	57.32	69.66	89.10
ทิศตะวันออกเฉียงใต้	58.72	69.90	94.04
ทิศทิศตะวันตกเฉียงใต้	56.89	74.03	93.94
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	79.64	96.20	118.59

ตารางที่ 4.10 ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือกรณีมีเชิงชายหลังคา

จากการทดลองช่วงเวลากลางคืน 18.00 - 6.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศใต้ อิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก เกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงเวลากลางวันและเกิดการคายความร้อนในช่วงเวลากลางคืน ช่วงเวลากลางคืนผนังมวลสารน้อย (light weight4") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารได้ดีที่สุดทุกทิศทางเนื่องจากเกิดการสะสมความร้อนน้อย และแลกเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศได้อย่างรวดเร็วกว่าผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารจากมากไปหาน้อยช่วงเวลากลางคืน 18.00 - 6.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.10) ได้ดังนี้

1. ทิศใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 6.73 c°hour
2. ทิศตะวันตก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 28.18 c°hour
3. ทิศตะวันออก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 43.91 c°hour
4. ทิศเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 50.83 c°hour
5. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 56.89 c°hour
6. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 57.32 c°hour
7. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 58.72 c°hour
8. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 79.64 c°hour

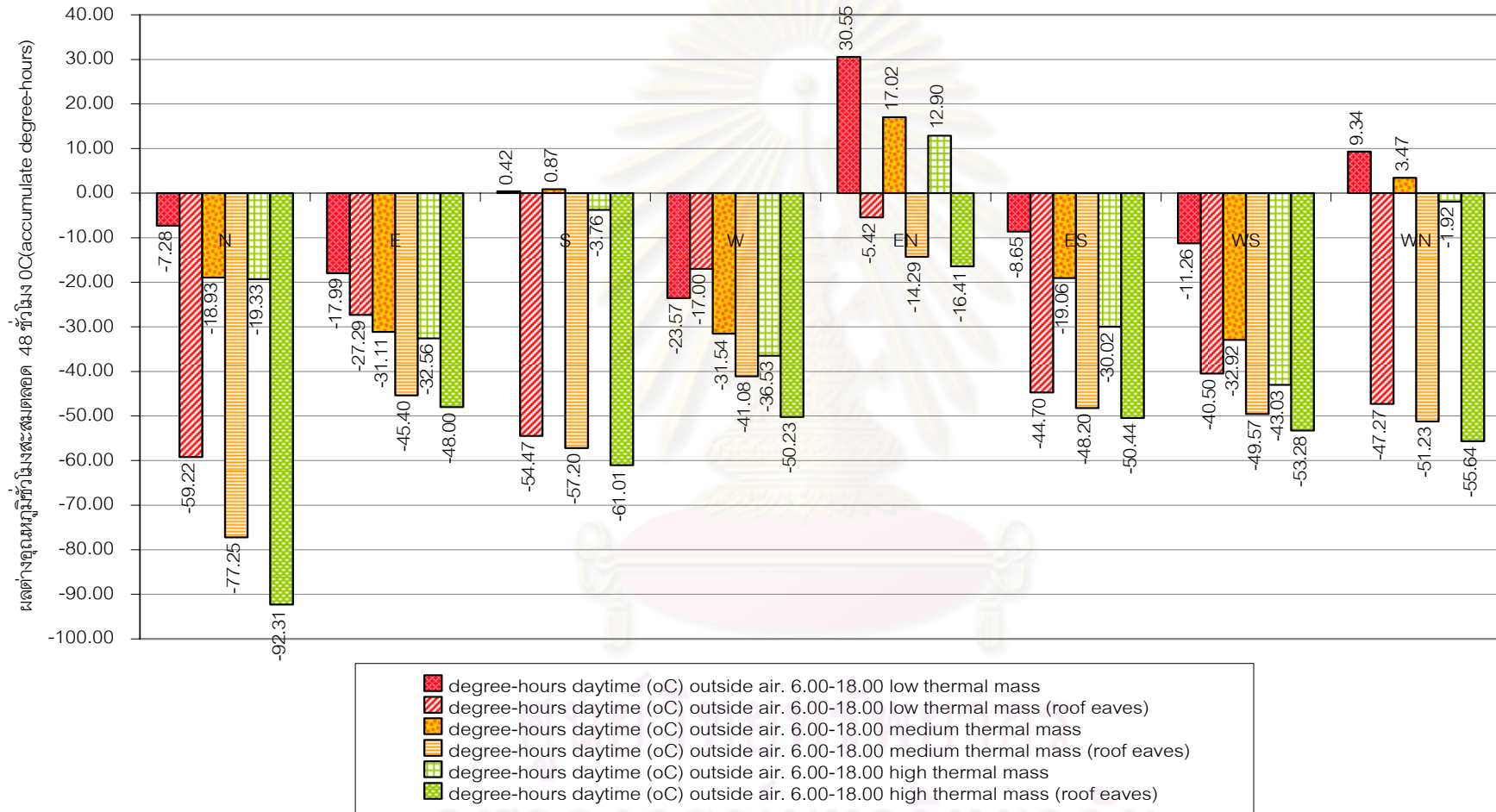
ประสิทธิภาพของทิศทางอาคารทุกทิศทางช่วงเวลากลางคืน 18.00 - 6.00น. ตลอด 48 ชั่วโมง ได้รับประโยชน์จากอิทธิพลของทิศทางอาคารน้อยที่สุด เนื่องจากมีผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมตลอดเวลา 24 ชั่วโมง และผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางวัน

4.2.3 การวิเคราะห์ห่อหุ้มของเชิงชายหลังคากรณีมีเชิงชายหลังคา และกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง

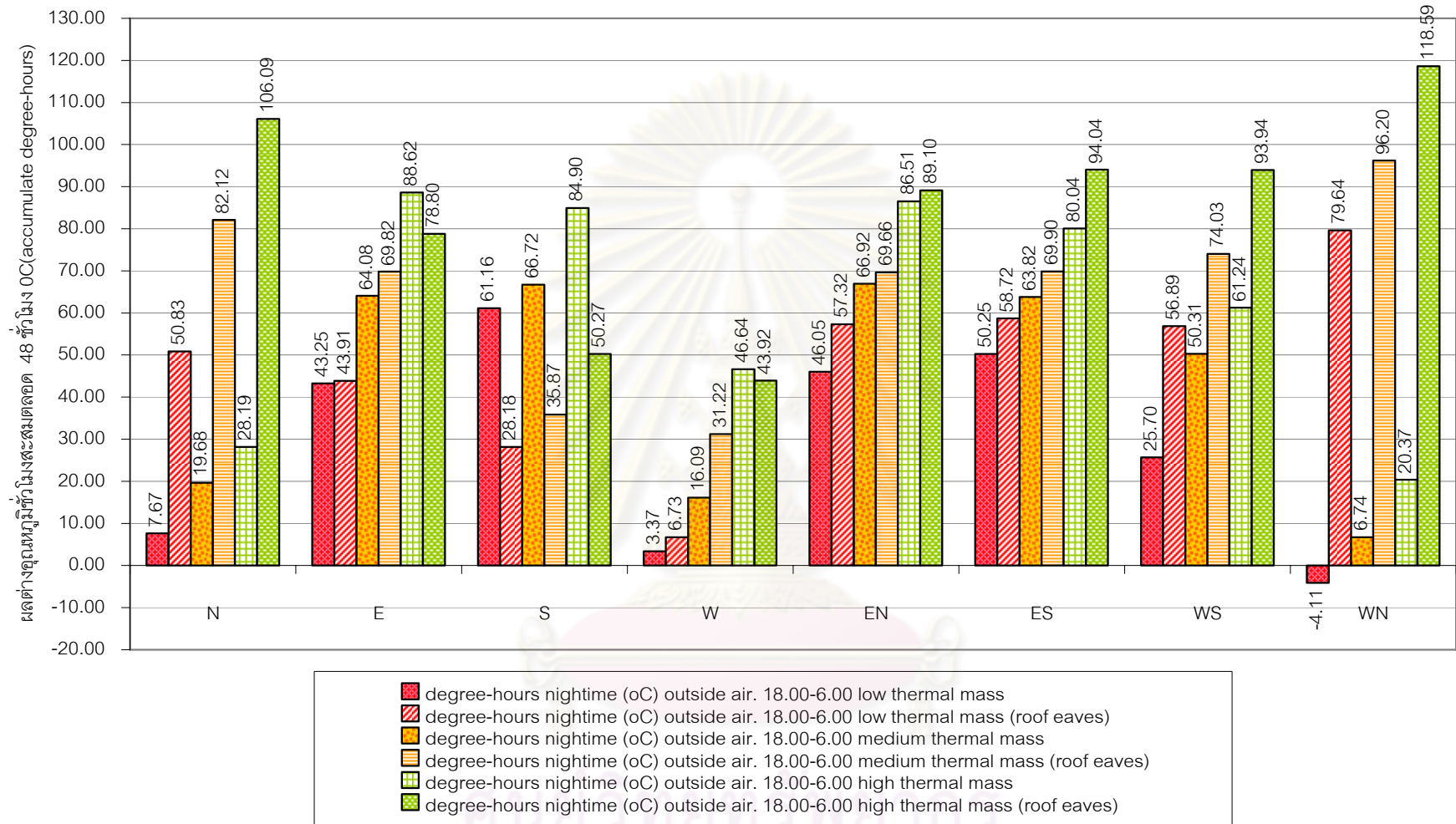
การวิเคราะห์ห่อหุ้มของเชิงชายหลังคากรณีมีเชิงชายหลังคา และกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง อิทธิพลมวลสาร (thermal mass) ทำโดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก (average outside temperature) กับอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายในห้องทดลอง (average inside temperature) 48 ชั่วโมงตลอดวันทำการทดลอง อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในช่วงเวลากลางวัน (day time) ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่วงเวลากลางคืน (night time) ตั้งแต่เวลา 18.00-6.00น. ของการทดลองทุกทิศทาง สามารถวิเคราะห์ห่อหุ้มพิจารณาจากแผนภูมิ และตารางได้ดังนี้

แผนภูมิที่ 4.35 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) กรณีมีเชิงชายหลังคาและไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

แผนภูมิที่ 4.36 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00-6.00น. ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) กรณีมีเชิงชายหลังคาและไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 4.35 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่วันที่ 6.00-18.00น. ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) กรณีมีเชิงชายหลังคาและไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 4.36 วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00-6.00น. ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) กรณีมีเชิงชายหลังคาและไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชิงชายหลังคาในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสถานะน้ำ
สบายของมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง โดยการเปรียบเทียบ
ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ($^{\circ}\text{C}\text{hour}$)

	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางวัน (degree-hours) $^{\circ}\text{C}\text{hour}$ 24 hours X2day 6.00-18.00 (day time)					
	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")	
	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา
N	-7.28	-59.22	-18.93	-77.25	-19.33	-92.31
E	-17.99	-27.29	-31.11	-45.4	-32.56	-48
S	0.42	-54.47	0.87	-57.2	-3.76	-61.01
W	-23.57	-17	-31.54	-41.08	-36.53	-50.23
EN	30.55	-5.42	17.02	-14.29	12.9	-16.41
ES	-8.65	-44.7	-19.06	-48.2	-30.02	-50.44
WS	-11.26	-40.5	-32.92	-49.57	-43.03	-53.28
WN	9.34	-47.27	3.47	-51.23	-1.92	-55.64

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา
และกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารมาก และผนังมวลสารน้อย ช่วงเวลากลางวัน

	ผลต่างที่ลดลงของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา เวลากลางวัน (degree-hours) $^{\circ}\text{C}\text{hour}$ 24 hours X2day 6.00-18.00 (day time)		
	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")	ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")	ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")
	N	51.94	58.32
E	9.3	14.29	15.44
S	54.89	58.07	57.25
W	อุณหภูมิมากกว่ากรณีไม่มี เชิงชายหลังคา 6.57	9.54	13.7
EN	35.97	31.31	29.31
ES	36.05	29.14	20.42
WS	29.24	16.65	10.25
WN	56.61	54.7	53.72

ตารางที่ 4.12 ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา กับกรณีมี
เชิงชายหลังคา ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก ช่วงเวลากลางวัน

จากการทดลองผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางวัน(degree-hours) 6.00-18.00น. ตลอด 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา กับกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก ได้ผลดังนี้

อุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางวัน (degree-hours) 6.00-18.00น. ทิศเหนือเชิงชายหลังคามีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในได้ดีที่สุด โดยผนังมวลสารมากได้ประโยชน์จากเชิงชายหลังคามากที่สุด รองลงมาคือผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารน้อย โดยการทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคาทิศเหนือผนังมวลสารมากช่วยลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมจากกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาลงจาก-19.33 c^ohour เหลือ -93.31 c^ohour ผลต่างที่ลดลง 72.98 c^ohour

เชิงชายหลังคาเพิ่มประสิทธิภาพในการลดภาระการใช้งานพลังงาน และสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร โดยผนังมวลสารมากทิศเหนือ ได้รับประโยชน์จากเชิงชายหลังคามากที่สุดในการลดอิทธิพลจากรังสีแสงอาทิตย์ การทดลองในทิศตะวันตกผนังมวลสารน้อยไม่ได้รับประโยชน์จากเชิงชายหลังคา เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในมากกว่ากรณีมีเชิงชายหลังคาโดยมีผลต่างอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 6.57 c^ohour

	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางคืน (degree-hours) °C hour 24 hours X2day 18.00-6.00 (nighttime)					
	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")	
	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา
N	7.67	50.83	19.68	82.12	28.19	106.09
E	43.25	43.91	64.08	69.82	88.62	78.8
S	61.16	28.18	66.72	35.87	84.9	50.27
W	3.37	6.73	16.09	31.22	46.64	43.92
EN	46.05	57.32	66.92	69.66	86.51	89.1
ES	50.25	58.72	63.82	69.9	80.04	94.04
WS	25.7	56.89	50.31	74.03	61.24	93.94
WN	-4.11	79.64	6.74	96.2	20.37	118.59

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา และกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารมาก และผนังมวลสารน้อย ช่วงเวลากลางคืน

	ผลต่างที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา เวลากลางคืน (degree-hours) °C hour 24 hours X2day 18.00-6.00 (nighttime)		
	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")	ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")	ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")
N	43.16	62.44	77.9
E	0.66	5.74	อุณหภูมิน้อยกว่ากรณีไม่มีเชิงชายหลังคา 9.82
S	อุณหภูมिन้อยกว่ากรณีไม่มีเชิงชายหลังคา 32.98	อุณหภูมिन้อยกว่ากรณีไม่มีเชิงชายหลังคา 30.85	อุณหภูมिन้อยกว่ากรณีไม่มีเชิงชายหลังคา 34.63
W	3.36	15.13	อุณหภูมिन้อยกว่ากรณีไม่มีเชิงชายหลังคา 2.72
EN	11.27	2.74	2.59
ES	8.47	6.08	14
WS	31.19	23.72	32.7
WN	83.75	89.46	98.22

ตารางที่ 4.14 ผลต่างที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา กับกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก ช่วงเวลากลางคืน

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางคืน (degree-hours) 18.00 - 6.00น. ตลอด 48 ชั่วโมง ของอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา กับกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก วิเคราะห์ได้ผลดังนี้

อิทธิพลของเชิงชายหลังคาในช่วงเวลากลางวัน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารบางทิศทางในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากมวลสารผนังภายนอกเกิดการสะสมความร้อนน้อยกว่ากรณีไม่มีมีเชิงชายหลังคา สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบายได้ดังนี้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือเชิงชายหลังคาเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือ ทิศเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ตามลำดับ

การทดลองในทิศได้ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมากไม่ได้รับประโยชน์จากเชิงชายหลังคาเนื่องจากมีผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมน้อยกว่ากรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ผนังมวลสารมากไม่ได้รับประโยชน์จากเชิงชายหลังคาเนื่องจากมีผลต่างอุณหภูมิจำวนน้อยกว่ากรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาอิทธิพลมวลสารผนังภายนอก และทิศทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดการปริมาณการถ่ายเทความร้อนของอาคารพักอาศัยในภูมิภาคภาคตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง กำหนดตัวแปรเพื่อนำไปสู่การออกแบบและทำการทดลองเพื่อวัดปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริงของมวลสารผนังภายนอก

การวิจัยนี้เป็นวิธีการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) กำหนดให้มีการสร้างห้องทดลอง (mockup for temperature testing) ณ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาที่ละติจูด $6^{\circ}55'N$ และลองจิจูด $100^{\circ}26'E$ อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 34 เมตร ทำการทดลองเดือนเมษายน-กรกฎาคม วัสดุที่ทำการทดลองได้แก่ ผนังมวลสารน้อย (light weight 4") ผนังมวลสารปานกลาง (brick4" + foam 0.27") และผนังมวลสารมาก (brick 8"+foam 0.12") เปรียบเทียบทิศทางอาคาร 8 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทดลอง 2 กรณี คือ กรณีมีเชิงชายหลังคา และกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา สรุปการทดลองทั้งหมด 48 กรณี

การวิจัยทำการก่อสร้างห้องทดลอง (Mockup for Temperature Testing) ขนาด 2.88 ตารางเมตร ($1.2 \times 2.4 \times 2.4 m^3$) ก่อสร้างในอัตราส่วน 1:1 จำนวน 3 ห้อง ก่อสร้างห้องทดลองในระบบปิดไม่มีการปรับอากาศ กำหนดวัสดุผนังให้มีค่าความเป็นฉนวนโดยใช้วัสดุโฟมหนา 4 นิ้ว เพื่อป้องกันอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกและลดตัวแปรแทรกซ้อนในการทดลอง การเก็บข้อมูลใช้เครื่องมือบันทึกข้อมูลวิทยาศาสตร์ด้านอุณหภูมิ (Hobo) เก็บข้อมูลอุณหภูมิ 2 วัน ทุกชั่วโมงตลอด 48 ชั่วโมง การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดลองแต่ละทิศทางใช้กระบวนการพิจารณาองศาวันทำความเย็น (heating&cooling degree-hours) ณ ราชชั่วโมง (disign base temperature) ที่ฐาน $18^{\circ}C$ สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์การวิจัยได้ดังนี้

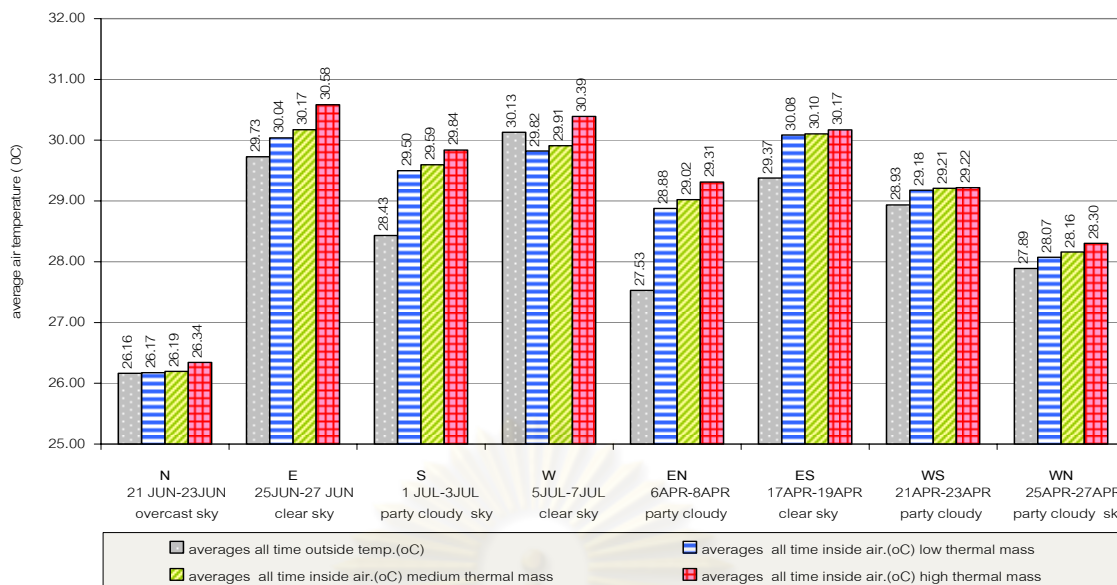
5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอิทธิพลผนังมวลสารภายนอก

5.1.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีไม่มีเชิงชาย

หลังคา

การวิเคราะห์สรุปผลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาตลอด 24 ชั่วโมง สามารถสรุปได้ชัดเจนว่า อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 2 วัน ตลอดการทดลองทุกทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารโดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารมาก ผนังมวลสารมาก (brick4"+ foam0.27") มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารโดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อยส่งผลให้ (แผนภูมิ 5.1)

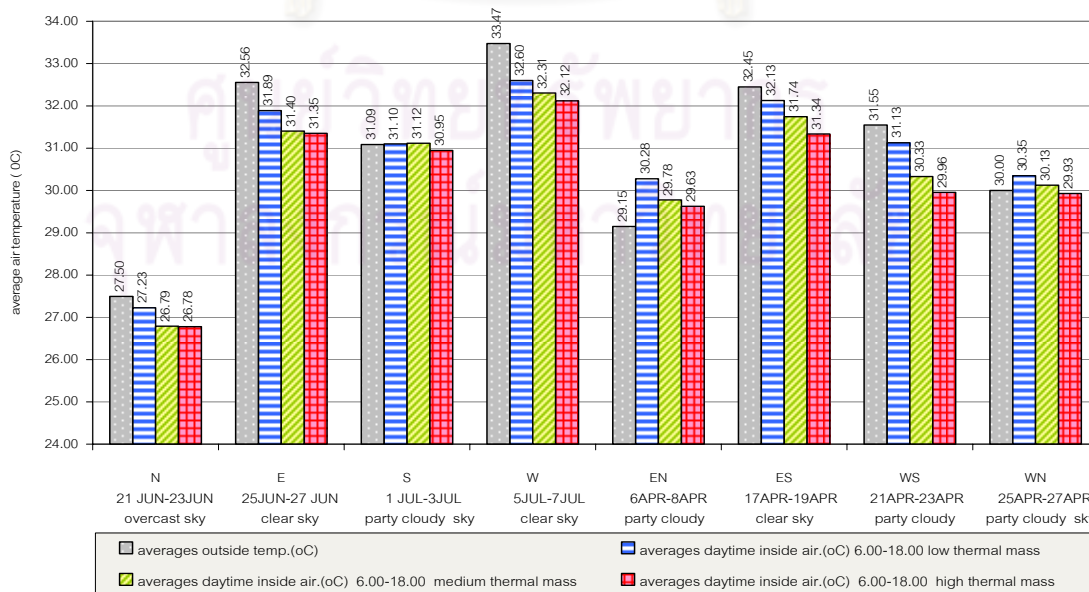
สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกตลอด 24 ชั่วโมง ในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ 1. ผนังมวลสารน้อย 2. ผนังมวลสารปานกลาง 3. ผนังมวลสารมาก



แผนภูมิที่ 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา 24 ชั่วโมง ทุกทิศทางการทดลอง

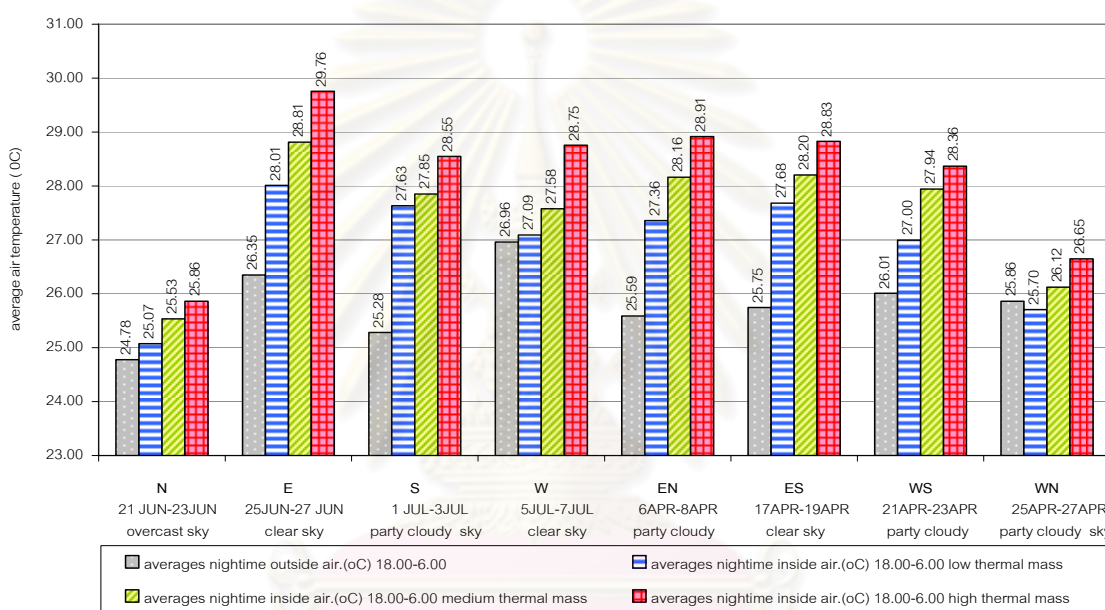
การวิเคราะห์สรุปผลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00น. สามารถสรุปได้ว่า ทุกทิศทางการกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาผนังมวลสารมาก (brick4" +foam0.27") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและเกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารช่วงเวลากลางวันเนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารมาก (แผนภูมิ 5.2)

สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00น. ในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ 1.ผนังมวลสารมาก 2. ผนังมวลสารปานกลาง 3. ผนังมวลสารน้อย



แผนภูมิที่ 5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00 -18.00น. ทุกทิศทางการทดลอง

การวิเคราะห์สรุปผลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00 น. - 6.00 น. สามารถสรุปได้ว่าในทุกทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารมาก ผนังมวลสารมาก (brick4" + foam 0.27") มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและเกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารโดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อย สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ 1. ผนังมวลสารน้อย 2. ผนังมวลสารปานกลาง 3. ผนังมวลสารมาก (แผนภูมิ 5.3)

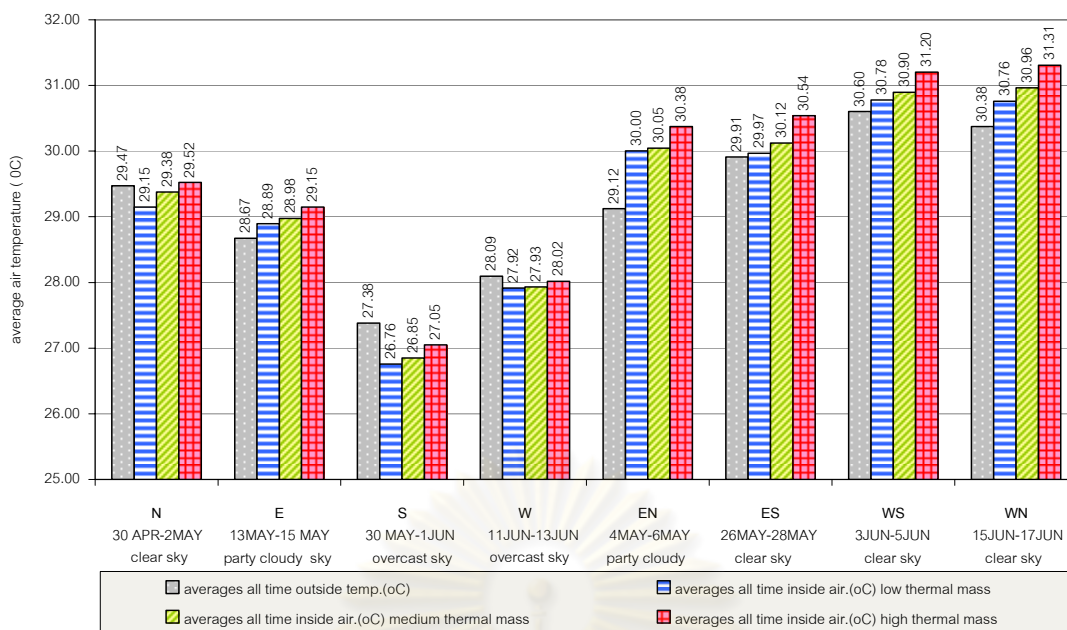


แผนภูมิที่ 5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ทุกทิศทางการทดลอง

5.1.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา

การวิเคราะห์สรุปผลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคาตลอด 24 ชั่วโมง สามารถสรุปได้ว่าทุกทิศทางกรณีมีเชิงชายหลังคาผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารโดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก ผนังมวลสารมาก (brick4"+ foam0.27") มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารเช่นเดียวกับกรณีไม่มีเชิงชายหลังคามีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อยส่งผลให้ (แผนภูมิ 5.4)

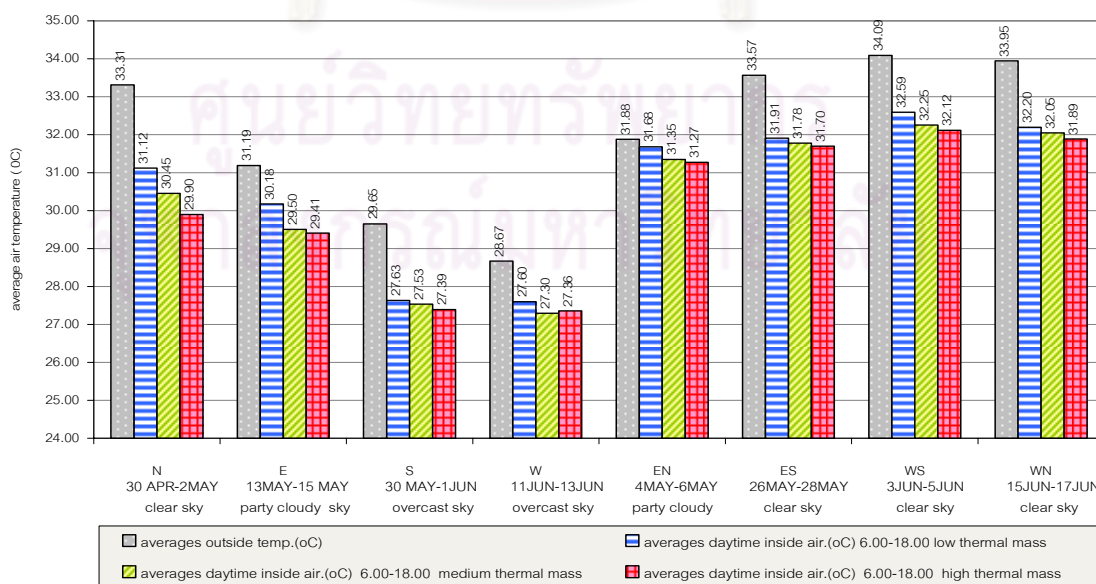
สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคาตลอด 24 ชั่วโมง ในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ 1. ผนังมวลสารน้อย 2. ผนังมวลสารปานกลาง 3. ผนังมวลสารมาก



แผนภูมิที่ 5.4 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา 24 ชั่วโมง ทุกทิศทางการทดลอง

การวิเคราะห์สรุปผลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น. สามารถสรุปได้ว่า ทุกทิศทางการมีเชิงชายหลังคาผนังมวลสารมาก (brick4" + foam0.27") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและเกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารมากเช่นเดียวกับกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (แผนภูมิ 5.5)

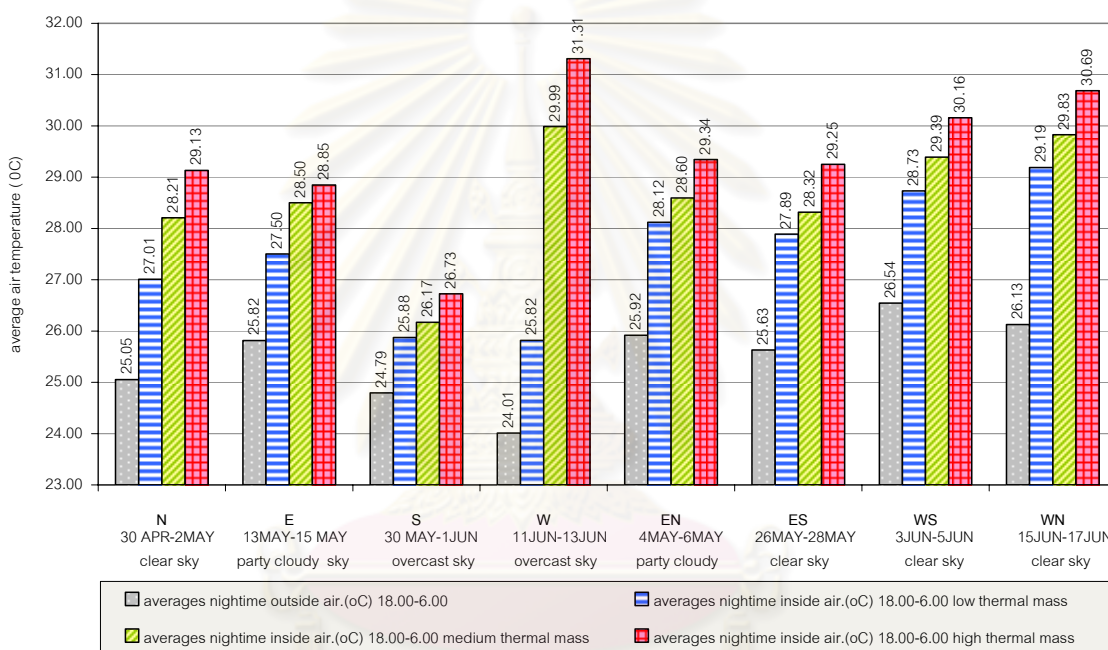
สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00น. ในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ 1.ผนังมวลสารมาก 2. ผนังมวลสารปานกลาง 3. ผนังมวลสารน้อย



แผนภูมิที่ 5.5 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา ช่วงเวลากลางวัน (daytime) ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00น. ทุกทิศทางการทดลอง

การวิเคราะห์สรุปผลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. สามารถสรุปได้ว่า ทุกทิศทางกรณีมีเชิงชายหลังคาผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก (brick4" + foam 0.27") มีประสิทธิภาพต่ำสุดในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนและเกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารโดยมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับผนังมวลสารปานกลางและผนังมวลสารน้อยเช่นเดียวกับกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (แผนภูมิ 5.6)

สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคาช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารจากมากไปหาน้อย ได้ดังนี้ 1. ผนังมวลสารน้อย 2. ผนังมวลสารปานกลาง 3. ผนังมวลสารมาก



แผนภูมิที่ 5.6 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอิทธิพลผนังมวลสารภายนอกกรณีมีเชิงชายหลังคา ช่วงเวลากลางคืน (nighttime) ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. ทุกทิศทางการทดลอง

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอิทธิพลทิศทางอาคาร

5.1.2.1 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอิทธิพลทิศทางอาคารกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา

การวิเคราะห์สรุปผลประสิทธิภาพทิศทางอาคารตลอด 24 ชั่วโมง ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศตะวันตก อุณหภูมิชั่วโมงสะสมเท่ากับ 579.20°C hour ผลต่างเท่ากับ -15.19°C hour (ตารางที่ 5.1) อิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารน้อย (light weight 4") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารได้ดีที่สุดทุกทิศทาง สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารจากมากไปหาน้อยทั้งวันตลอด 24 ชั่วโมง ได้ดังนี้

1. ทิศตะวันตก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -15.19 c°hour
2. ทิศเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 0.58 c°hour
3. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 9.13 c°hour

4. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 11.82 c^ohour
5. ทิศตะวันออก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 15.21 c^ohour
6. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 34.76 c^ohour
7. ทิศใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 55.11 c^ohour
8. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 66.07 c^ohour

ประสิทธิภาพของทิศทางอาคารตลอด 24 ชั่วโมง มีผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศภายใน ผนังมวลสารน้อยได้ดีทุกทิศทาง สาเหตุมาจากผนังมวลสารน้อยเกิดการสะสมความร้อนน้อย แต่ในทางกลับกันทุกทิศทางอาคารผนังมวลสารมากกลับมีประสิทธิภาพต่ำสุด เนื่องจากมีผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิอากาศสูงสุดสาเหตุมาจากอิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของมวลสาร เมื่อได้รับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์จากอิทธิพลของทิศทางอาคาร (ตารางที่ 5.1)

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา 24 hours X2day °C hour						
อันดับ	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")	
1	W	-15.19	W	-10.90	ES	3.28
2	N	0.58	ES	0.85	N	8.86
3	WN	9.13	N	1.53	W	12.73
4	WS	11.82	WN	13.26	WS	13.91
5	E	15.21	WS	13.37	WN	20.33
6	ES	34.76	E	21.8	E	41.88
7	S	52.11	S	56.92	S	68.89
8	EN	66.07	EN	73.02	EN	87.36

ตารางที่ 5.1 แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย อุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง กรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทุกทิศทาง

การวิเคราะห์สรุปผลประสิทธิภาพทิศทางอาคารช่วงเวลากลางวัน 6.00 - 18.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการทำงานของพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผนังมวลสารมากมีอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเท่ากับ 381.25°C hour ผลต่างเท่ากับ -43.03°C hour อิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารมาก (brick8"+foam0.12") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารช่วงเวลากลางวันได้ดีที่สุดทุกทิศทาง สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารจากมากไปหาน้อยช่วงเวลากลางวัน 6.00 - 18.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 5.2) ได้ดังนี้

1. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -43.03 c^ohour
2. ทิศตะวันตก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -36.53 c^ohour
3. ทิศตะวันออก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -32.56 c^ohour
4. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -30.02 c^ohour

5. ทิศเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -19.33 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$
6. ทิศใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 3.76 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$
7. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -1.92 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$
8. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 12.90 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา 24 hours X2day 6.00-18.00 (day time) $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$						
อันดับ	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")	
1	W	-23.57	WS	-32.92	WS	-43.03
2	E	-17.99	W	-31.54	W	-36.53
3	WS	-11.26	E	-31.11	E	-32.56
4	ES	-8.65	ES	-19.06	ES	-30.02
5	N	-7.28	N	-18.93	N	-19.33
6	S	0.42	S	0.87	S	-3.76
7	WN	9.34	WN	3.47	WN	-1.92
8	EN	30.55	EN	17.02	EN	12.90

ตารางที่ 5.2 แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วันกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลอง มวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทุกทิศทาง

การวิเคราะห์สรุปผลประสิทธิภาพทิศทางอาคารช่วงเวลากลางคืน 18.00 - 6.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือผนังมวลสารน้อยมีอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเท่ากับ $200.31^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$ ผลต่างเท่ากับ $-4.11^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$

อิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมากเกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงเวลากลางวันและเกิดการคายความร้อนในช่วงเวลากลางคืน ผนังมวลสารน้อย(light weight4") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารได้ดีที่สุดทุกทิศทาง เนื่องจากเกิดการสะสมความร้อนน้อย และแลกเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศได้อย่างรวดเร็วกว่าผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารจากมากไปหาน้อยช่วงเวลากลางคืน 18.00 - 6.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 5.3) ได้ดังนี้

1. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -4.11 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$
2. ทิศตะวันตก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 3.37 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$
3. ทิศเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 7.67 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$
4. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 25.70 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$
5. ทิศตะวันออก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 43.25 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$
6. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 46.05 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$
7. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 50.25 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$
8. ทิศใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 61.16 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hour}$

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา 24 hours X2day 18.00-6.00 (nighttime) °C hour						
อันดับ	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")	
	1	WN	-4.11	WN	6.74	WN
2	W	3.37	W	16.09	N	28.19
3	N	7.67	N	19.68	S	46.64
4	WS	25.70	WS	50.31	WS	61.24
5	E	43.25	ES	63.82	ES	80.04
6	EN	46.05	E	64.08	W	84.90
7	ES	50.25	S	66.72	ES	86.51
8	S	61.16	EN	66.92	E	88.62

ตารางที่ 5.3 แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย ช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา18.00-6.00น. ทั้ง 2 วัน กรณีไม่มีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทุกทิศทาง

5.1.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอิทธิพลทิศทางอาคารกรณีมีเชิงชายหลังคา

การวิเคราะห์สรุปผลประสิทธิภาพทิศทางอาคารตลอด 24 ชั่วโมง กรณีมีเชิงชายหลังคาทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศตะวันตกอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเท่ากับ 429.09°C hour ผลต่างเท่ากับ -30.61°C hour (ตารางที่ 5.4) อิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารน้อย (light weight4") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารได้ดีที่สุดทุกทิศทาง สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารกรณีมีเชิงชายหลังคาจากมากไปหาน้อยตลอด 24 ชั่วโมงกรณีมีเชิงชายหลังคาได้ดังนี้

1. ทิศตะวันตก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -30.61 c°hour
2. ทิศเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -16.00 c°hour
3. ทิศใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -8.79 c°hour
4. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 2.74 c°hour
5. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 8.56 c°hour
6. ทิศตะวันออก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 10.87 c°hour
7. ทิศตกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 18.84 c°hour
8. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 43.16 c°hour

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา 24 hours X2day °C hour						
อันดับ	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8"+foam0.12")	
	1	W	-30.61	S	-26.07	S
2	N	-16.00	W	-7.99	W	-3.79
3	S	-8.79	N	-4.61	N	2.48
4	ES	2.74	ES	10.45	E	23.27
5	WS	8.56	WS	14.33	WS	29.38
6	E	10.87	E	14.86	ES	30.82
7	WN	18.84	WN	28.84	WS	45.70
8	EN	43.16	EN	45.18	EN	61.34

ตารางที่ 5.4 แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย อุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง กรณีมีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลองมวลสาร ชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทุกทิศทาง

การวิเคราะห์สรุปผลประสิทธิภาพทิศทางอาคารช่วงเวลากลางวัน 6.00 - 18.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศเหนือ อุณหภูมิชั่วโมงสะสมเท่ากับ 321.18°C hour ผลต่างเท่ากับ -92.31°C hour (ตารางที่ 5.5) อิทธิพลของทิศทางอาคารส่งผลให้ผนังมวลสารมาก (brick8"+foam0.12") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารช่วงเวลากลางวันได้ดีที่สุด สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารจากมากไปหาน้อยช่วงเวลากลางวัน 6.00-18.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง ได้ดังนี้

1. ทิศเหนือ ผนังมวลสารมากมีผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -92.31 c°hour
2. ทิศใต้ ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -50.23 c°hour
3. ทิศตะวันออก ผนังมวลสารปานกลางผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -48.00 c°hour
4. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -55.64 c°hour
5. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -50.44 c°hour
6. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -53.28 c°hour
7. ทิศตะวันตก ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -50.23 c°hour
8. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผนังมวลสารมากผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม -16.41 c°hour

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา 24 hours X2day 6.00-18.00 (day time) °C hour						
อันดับ	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8"+foam0.12")	
	1	N	-59.22	N	-77.25	N
2	S	-54.47	S	-57.20	S	-61.01
3	WN	-47.27	WN	-51.23	E	-48.00
4	ES	-5.42	WS	-49.57	WN	-55.64
5	WS	-40.50	ES	-48.20	ES	-50.44
6	E	-27.29	E	-45.40	WS	-53.28
7	W	-17.00	W	-41.08	W	-50.23
8	EN	-5.42	EN	-14.29	EN	-16.41

ตารางที่ 5.5 แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ทั้ง 2 วันกรณีมีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลอง มวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) ทุกทิศทาง

การวิเคราะห์สรุปผลประสิทธิภาพทิศทางอาคารช่วงเวลากลางคืน 18.00 - 6.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง ทิศทางอาคารที่ได้รับประโยชน์สูงสุดในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบาย คือ ทิศใต้ผนังมวลสารน้อยมีอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเท่ากับ 202.71 °C hour ผลต่างเท่ากับ 6.73 °C hour (ตารางที่ 5.6) ช่วงเวลากลางคืนผนังมวลสารน้อย (light weight4") มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในอาคารได้ดีที่สุดทุกทิศทางเนื่องจากเกิดการสะสมความร้อนน้อย และแลกเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศได้อย่างรวดเร็วกว่าผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก สามารถจัดเรียงประสิทธิภาพอิทธิพลของทิศทางอาคารจากมากไปหาน้อยช่วงเวลากลางคืน 18.00 - 6.00 น. ตลอด 48 ชั่วโมง ได้ดังนี้

1. ทิศใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 6.73 c°hour
2. ทิศตะวันตก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 28.18 c°hour
3. ทิศตะวันออก ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 43.91 c°hour
4. ทิศเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 50.83 c°hour
5. ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 56.89 c°hour
6. ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 57.32 c°hour
7. ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 58.72 c°hour
8. ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 79.64 c°hour

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hours) 48 ชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา 24 hours X2day 18.00-6.00 (nighttime) °C hour						
อันดับ	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")	
	1	S	6.73	W	31.22	W
2	W	28.18	S	35.87	S	50.27
3	E	43.91	ES	69.66	EN	89.10
4	N	50.83	E	69.82	WS	93.94
5	WS	56.89	ES	69.90	ES	94.04
6	EN	57.32	WS	74.03	E	78.80
7	ES	58.72	N	82.12	N	106.09
8	WN	79.64	WN	96.20	WN	188.62

ตารางที่ 5.6 แสดงประสิทธิภาพของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางจากมากไปหาน้อย ช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา18.00-6.00น. ทั้ง 2 วัน กรณีมีเชิงชายหลังคาของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลองและอุณหภูมิสะสมภายใน ห้องทดลองมวลสารชนิดต่าง ๆ (accumulate degree-hours above 18°C for 2days) ทุกทิศทาง

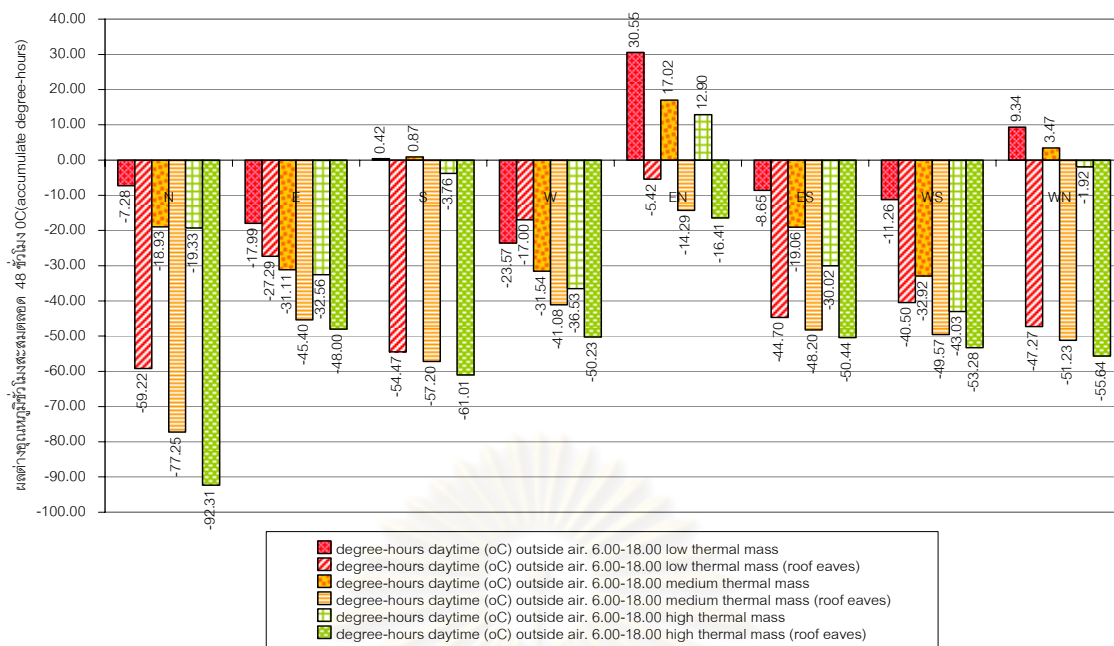
5.1.3 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอิทธิพลเชิงชายหลังคา

การวิเคราะห์สรุปผลประสิทธิภาพเชิงชายหลังคาจากอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางวัน (degree-hours) 6.00-18.00น. ทิศเหนือ เชิงชายหลังคามีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดอุณหภูมิอากาศภายในได้ดีที่สุด โดยมีผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางวันต่ำสุดเท่ากับ -92.31°C hour ผนังมวลสารมากได้ประโยชน์จากเชิงชายหลังคามากที่สุด รองลงมาคือผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารน้อย การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคาทิศเหนือผนังมวลสารมากช่วยลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมจากกรณีไม่มีเชิงชายหลังคาลงจาก -19.33 c°hour เหลือ -93.31 c°hour ผลต่างที่ลดลง 72.98 c°hour (ตารางที่5.7)

เชิงชายหลังคาเพิ่มประสิทธิภาพในการลดภาระการใช้งานพลังงาน และสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคาร ทำให้อุณหภูมิอากาศช่วงเวลากลางวันลดลง โดยผนังมวลสารมากทิศเหนือได้รับประโยชน์จากเชิงชายหลังคามากที่สุดในการลดอิทธิพลจากรังสีแสงอาทิตย์ การทดลองในทิศตะวันตกผนังมวลสารน้อยไม่ได้รับประโยชน์จากเชิงชายหลังคา เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในมากกว่ากรณีมีเชิงชายหลังคาโดยมีผลต่างอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 6.57 c°hour

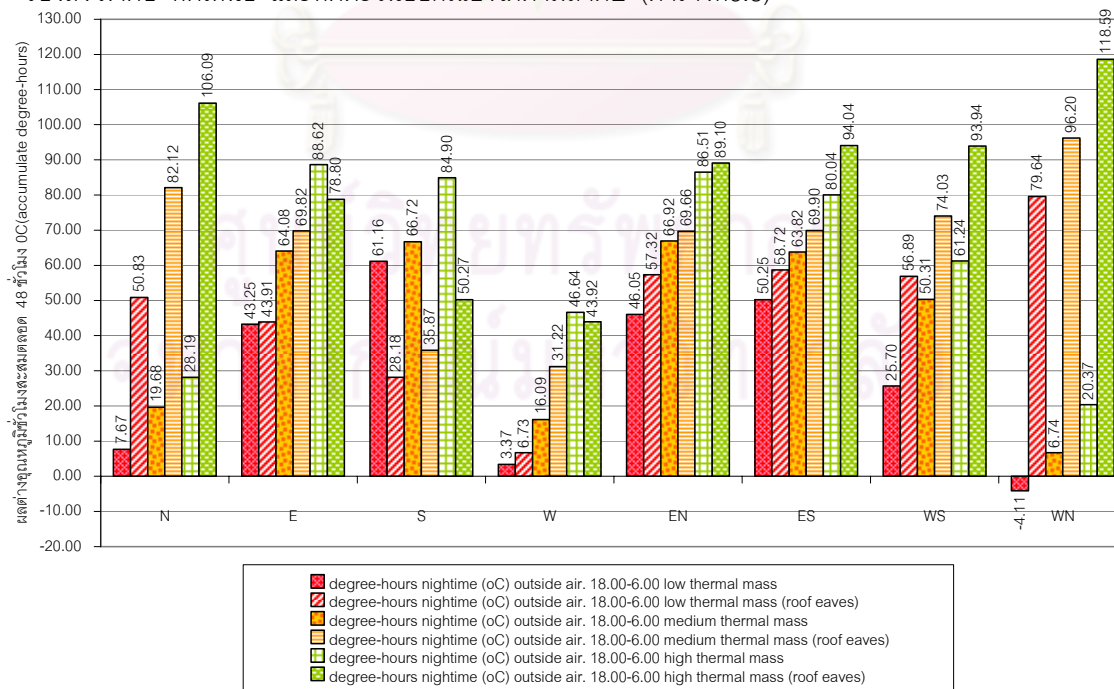
	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางวัน (degree-hours) °C hour 24 hours X2day 6.00-18.00 (day time)					
	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")	
	กรณีไม่มีเชิงชาย หลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา
N	-7.28	-59.22	-18.93	-77.25	-19.33	-92.31
E	-17.99	-27.29	-31.11	-45.4	-32.56	-48
S	0.42	-54.47	0.87	-57.2	-3.76	-61.01
W	-23.57	-17	-31.54	-41.08	-36.53	-50.23
EN	30.55	-5.42	17.02	-14.29	12.9	-16.41
ES	-8.65	-44.7	-19.06	-48.2	-30.02	-50.44
WS	-11.26	-40.5	-32.92	-49.57	-43.03	-53.28
WN	9.34	-47.27	3.47	-51.23	-1.92	-55.64
	ผลต่างที่ลดลงของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา เวลากลางวัน (degree-hours) °C hour 24 hours X2day 6.00-18.00 (day time)					
	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")	
	กรณีไม่มีเชิงชาย หลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา
1	WN	56.61	N	58.32	N	72.98
2	S	54.89	S	58.07	S	57.25
3	N	51.94	WN	54.7	WN	53.72
4	ES	36.05	EN	31.31	EN	29.31
5	EN	35.97	ES	29.14	ES	20.42
6	WS	29.24	WS	16.65	E	15.44
7	E	9.3	E	14.29	W	13.7
8	W	อุณหภูมิมากกว่ากรณีไม่มี เชิงชายหลังคา 6.57	W	9.54	WS	10.25

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา และกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารมาก ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารน้อย ช่วงเวลากลางวัน



แผนภูมิที่ 5.7 สรุปผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 6.00-18.00น. ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) กรณีมีเชิงชายหลังคาและไม่มีเชิงชายหลังคา

ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางคืน (degree-hours) 18.00 - 6.00น. ตลอด 48 ชั่วโมง สามารถสรุปผลได้ว่า อิทธิพลของเชิงชายหลังคาในช่วงเวลากลางวัน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดภาระการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารบางทิศทางในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากมวลสารผนังภายนอกเกิดการสะสมความร้อนน้อยกว่ากรณีไม่มีมีเชิงชายหลังคา สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพในการลดภาระการการใช้งานพลังงานและสภาวะน่าสบายได้ดังนี้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือเชิงชายหลังคาเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือ ทิศเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ตามลำดับ (ตารางที่ 5.8)



แผนภูมิที่ 5.8 สรุปผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม 48 ชั่วโมง ช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00-6.00น. ของอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง และอุณหภูมิสะสมภายในห้องทดลอง (accumulate degree-hours above 18°C for 2 days) กรณีมีเชิงชายหลังคาและไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ตามลำดับ (ตารางที่ 5.8)

	ผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมเวลากลางคืน (degree-hours) °C hour 24 hours X2day 18.00-6.00 (nighttime)					
	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")	
	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา	กรณีไม่มีเชิง ชายหลังคา	กรณีมีเชิง ชายหลังคา
N	7.67	50.83	19.68	82.12	28.19	106.09
E	43.25	43.91	64.08	69.82	88.62	78.8
S	61.16	28.18	66.72	35.87	84.9	50.27
W	3.37	6.73	16.09	31.22	46.64	43.92
EN	46.05	57.32	66.92	69.66	86.51	89.1
ES	50.25	58.72	63.82	69.9	80.04	94.04
WS	25.7	56.89	50.31	74.03	61.24	93.94
WN	-4.11	79.64	6.74	96.2	20.37	118.59
	ผลต่างที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา เวลากลางคืน (degree-hours) °C hour 24 hours X2day 18.00-6.00 (nighttime)					
	ผนังมวลสารน้อย low thermal mass (light weight4")		ผนังมวลสารปานกลาง medium thermal mass (brick4"+foam0.27")		ผนังมวลสารมาก high thermal mass (brick8" +foam0.12")	
1	WN	83.75	WN	89.46	WN	98.22
2	N	43.16	N	62.44	N	77.9
3	WS	31.19	WS	23.72	WS	32.7
4	EN	11.27	W	15.13	EN	2.59
5	ES	8.47	ES	6.08	ES	14
6	W	3.36	E	5.74	W	-2.72
7	E	0.66	EN	2.74	E	-9.82
8	S	-32.98	S	-30.85	S	-4.63

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพมวลสารผนังภายนอกและทิศทางกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา และกรณีมีเชิงชายหลังคา ผนังมวลสารมาก และผนังมวลสารน้อย ช่วงเวลากลางคืน

สรุปผลจากสมมุติฐานการวิจัย

จากการทดลองสามารถสรุปสมมุติฐานการวิจัยได้ว่า “มวลสารผนังภายนอกที่มีปริมาณมวลสารแตกต่างกัน มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากัน ค่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังมีความแตกต่างกันตามช่วงเวลา ผนังมวลสารมาก (high thermal mass) มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานในเวลากลางวัน (6.00-18.00น.) มากกว่ามวลสารน้อย และมวลสารปานกลาง ผนังมวลสารน้อย (low thermal mass) มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานในเวลากลางคืน(18.00-6.00น.) มากกว่ามวลสารปานกลาง และมวลสารมาก เจริญชัยหลังคาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน”

การทดลองอิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางอาคาร สามารถสรุปผลตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการประหยัดพลังงานและสภาวะน่าสบาย ได้ดังนี้ ตัวแปรมวลสารผนังภายนอกมีอิทธิพลมากที่สุด รองลงมาคืออิทธิพลของเจริญชัยหลังคา และอิทธิพลของทิศทางอาคาร

5.2 เสนอแนะแนวทางประยุกต์ใช้

5.2.1 การออกแบบอาคารควรพิจารณาเลือกวัสดุก่อและทิศทางให้เหมาะสมโดยพิจารณาจากความถี่และช่วงเวลาของการใช้สอยพื้นที่ใช้สอย ผนังมวลสารมากเหมาะกับการใช้งานในพื้นที่ที่มีการใช้งานมากในช่วงกลางวันเวลาตั้งแต่ 6.00-18.00 น. และเหมาะในการป้องกันอิทธิพลจากรังสีแสงอาทิตย์จากอิทธิพลของทิศทางอาคาร เช่น ห้องพักผ่อน ห้องรับประทานอาหาร ห้องรับแขก ห้องครัว เป็นต้น

5.2.2 ผนังมวลสารมากมีความสามารถในการป้องกันความร้อนจากจากอิทธิพลของทิศทางอาคารที่มีการรับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์สูง ผนังมวลสารมากไม่มีประสิทธิผลในการลดการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลากลางคืนเนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าช่วงเวลากลางวันสาเหตุมาจากความร้อนที่ผนังคายออกมาจากการสะสมความร้อนในช่วงเวลากลางวัน

5.2.3 พื้นที่ที่ใช้งานมากในตอนกลางคืน เช่น ห้องนอน ควรเลือกผนังมวลสารน้อยเนื่องจากสะสมความร้อนน้อย ผนังทางทิศดังกล่าวไม่ควรโดนรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงเนื่องจากมวลสารจะคายความร้อนในช่วงเวลาการใช้งานส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องสูง ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ควรที่จะติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อลดอิทธิพลความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์

5.2.4 ผนังมวลสารมากจะดูดความร้อน และอมความร้อนได้ดีเป็นแหล่งผลิตความร้อนส่งผลถึงอุณหภูมิภายในอาคาร ดังนั้นควรพิจารณาเพิ่มฉนวนเพื่อประโยชน์ในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้อีกทางหนึ่ง

5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

การศึกษาวิจัยอิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานและสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น มีข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพื่อประโยชน์ในการทำวิจัยในอนาคตให้ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนี้

5.3.1 การวิจัยนี้ทำการทดลอง ณ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นการทดลองในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศร้อนชื้น เพื่อเป็นแนวทางในการหาวัสดุที่เหมาะสมในภูมิอากาศเมืองไทยควรทำการเก็บข้อมูลทุกพื้นที่หรือทุกภาค และทุกฤดูกาลของประเทศไทยเพื่อหาวัสดุมวลสารที่เหมาะสมในการใช้งานบ้านพักอาศัยของประเทศไทย

5.3.2 การวิจัยนี้การทำเก็บข้อมูลการทดลองเพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้นเนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยมีลักษณะแตกต่างกันตามฤดูกาล จึงควรทำการเก็บข้อมูลตลอดทั้งปีเพื่อทราบถึงแนวทางในการปรับปรุงและเลือกใช้วัสดุผนังก่อที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

5.3.3 การวิจัยพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกและทิศทาง การวิจัยในอนาคตควรนำตัวแปรทางด้านอื่นที่มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนมาพิจารณาประกอบด้วย เช่น สีของวัสดุ ค่าความเป็นฉนวนของวัสดุ

5.3.4 การวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดในเรื่องเครื่องมือ จำนวนของหัววัดอุณหภูมิ รวมถึงอุปกรณ์ ในอนาคตควรเพิ่มเครื่องมือในการวิจัย และนำอุปกรณ์สมัยใหม่เข้ามาใช้เพื่อเกิดความแม่นยำของข้อมูลมากยิ่งขึ้น

5.3.5 การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และวิเคราะห์อิทธิพลมวลสารผนังภายนอกและทิศทางที่มีผลต่อการลดภาระการใช้งานพลังงาน และสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้นเท่านี้ การวิจัยในอนาคตควรนำปัจจัยอื่นๆมาทำการพิจารณาเช่นการก่อสร้างเพื่อความสะดวก ประหยัดเวลาและคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ การนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุ (Recycle) และการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ

5.3.6 การวิจัยนี้ทำการทดลองในสภาวะไม่ปรับอากาศ สำหรับการวิจัยในอนาคตควรพิจารณาถึงสภาวะปรับอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อการพิจารณาเปรียบเทียบวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม.

กรุงเทพมหานคร, 2550.

ชนิดา สืบพานิช. การประเมินประสิทธิภาพผนังอาคารที่มีมวลสารน้อยในสภาพภูมิอากาศเขตร้อน

ขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ณัฐกานต์ เกษประทุม. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก. วิทยานิพนธ์ปริญญา

มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ณัฐภรณ์ วัชรประทีป. การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตมาประยุกต์ใช้เป็นเปลือก

อาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ดิเรก วงศ์พนิตกฤต. การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารของเรือนไทย.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ธนิต จินดาวงศ์. ข้อมูลอากาศประเทศไทยสำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน จ.สงขลา (หาดใหญ่). , 2543.

ธนิต จินดาวงศ์. เอกสารประกอบการสอนวิชา Energy Conservation in Building Design.

รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ. อิทธิพลของการห่อหุ้มผนังความชื้นจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

วันเอก กิจสมใจ. ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. อนุรักษ์พลังงาน, กอง.

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรุงเทพฯ: กองอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน,

2536.

สรุภา ประวิตรางกูร. อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและการปรับอากาศในการ

ออกแบบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

อุทัย ศุภิสกุลวงศ์. การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังวัสดุของอาคารพักอาศัยในเขตร้อนชื้น.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย, 2543.

ภาษาอังกฤษ

ASHRAE. Handbook of Fundamentals 2001. Georgia: American Society of Heating,

Refrigeration and Air Conditioning Engineer, 2001.

A. W. Pratt . Heat Transmission in Buildings. New York, John Wiley & Sons , Inc ,1981.

Department of Energy . Minimum Energy Dwelling workbook.,Virginia, Burt, Hill ,Kosar,Rittelmann and Associates,1978.

Kwang-Woo kim. Thermal Performance Simulation of Opaque Building Envelopes.

D.Arch. Dissertation, University of Michigan, 1984.

Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting. New York: John Wiley&Sons. 1991.

Moore, Fuller. Environmental control system. Singapore:McGraw-Hill. 1993.

Olgay, Victor. Design with Climate. Princeton University Press. Fourth Printing, 1973.

Stein, B., and Reynolds, J.S. Mechanical and Electrical Equipment for Building. 8th Edition.

New York: John Wily & Sons, 1992



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

คำศัพท์และคำนิยามเกี่ยวกับพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อน

คำศัพท์	อธิบายศัพท์
การนำความร้อน (conduction)	ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่การนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อน การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือ การนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k)
การพาความร้อน (convection)	การบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในสสารสองสถานะคือ ของเหลวและก๊าซ เมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นต่ำลง และสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความหนาแน่นสูงกว่า) จะลงมาแทนที่ สสารที่มีโมเลกุลร้อนกว่าจะลอยตัวขึ้น
การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)	พลังงานความร้อนซึ่งแผ่ออกโดยสาร ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ การแผ่รังสีสามารถเกิดขึ้นโดยของเหลว หรือ ก๊าซ และไม่ว่าสารจะมีสถานะใดก็ตาม การแผ่รังสีจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ อิเล็กตรอนในอะตอมของสาร พลังงานของการแผ่รังสีจะถูกส่งออกมาในรูปของ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) และในขณะที่การนำและการพาความร้อนจำเป็นต้องมีตัวกลาง แต่การแผ่รังสีความร้อนนั้นไม่ต้องการตัวกลาง ซึ่งที่จริงแล้วการแผ่รังสีจะมีประสิทธิภาพที่สุดในสุญญากาศ
การส่งผ่านความร้อน (thermal transmission)	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท เนื่องจากการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน ภายใต้สภาวะที่เกิด
การหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag)	ระยะเวลาที่ความร้อนเคลื่อนที่จากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของวัสดุ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวอาจมีความล่าช้าเนื่องจากอิทธิพลของมวลสารและความจุความร้อนของผนัง เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้วความล่าช้าจากการเคลื่อนตัวของความร้อนอาจนานถึง 4 ชั่วโมง
ความจุความร้อน (Heat capacity)	ความสามารถในการเก็บกักความร้อนของสสาร สสารที่สามารถจุความร้อนได้มากจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นช้ากว่าสสารที่มีการจะความร้อนน้อย วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าความจุความร้อนมากเช่นกัน
ความร้อนแฝง (Latent Heat)	ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุมวล 1 หน่วย เปลี่ยนสถานะให้หมดพอดี โดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยน $Q = mL$ (Specific Latent Heat = L)
ความสามารถนำความร้อน	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหน่วยพื้นที่ของวัสดุต่อหน่วยเวลา ผ่านความหนา 1 หน่วย ด้วยผลต่างอุณหภูมิระหว่างผิวของด้านทั้งสองด้าน
เปลือกอาคาร (building envelope)	ทุก ๆ ส่วนของอาคารที่สัมผัสกับอากาศภายนอก
สภาวะน่าสบาย (Comfort zone)	ปัจจัยของอิทธิพลที่มีผลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ (ความรู้สึกที่ร้อน-หนาว) สภาวะดังกล่าวขึ้นอยู่กับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกมนุษย์ 6 ตัวแปร ได้แก่ (1)อุณหภูมิอากาศ (2)ความชื้นสัมพัทธ์ (3)อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (4)ความเร็วลม (5)อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (6)เสื้อผ้าที่สวมใส่
อากาศภายนอก (outside air)	อากาศที่อยู่หรือนำเข้าจากภายนอกอาคาร

ภาคผนวก ก

คำศัพท์และคำนิยามเกี่ยวกับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน (ต่อ)

คำศัพท์	อธิบายศัพท์
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	ปริมาณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำหรือการพาต่อหนึ่งองศาของความแตกต่างระหว่างด้านที่ร้อนกว่าไปยังพื้นผิวด้านที่เย็นกว่า ในระบบ SI หน่วยของค่า U เป็นวัตต์ต่อตารางเมตรต่อความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ($W/m^2.K$) ในขณะที่ระบบ I-P มีหน่วยเป็น บีทียูต่อตารางฟุตต่อชั่วโมงต่อความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 องศาฟาเรนไฮต์ ($Btu/ft^2.h.F$) ในการคำนวณค่า U สามารถหาได้จากส่วนกลับของค่าความต้านทานรวมหรือเขียนเป็นสมการได้ คือ $U=1/R$ เมื่อ R เป็นผลรวมของค่าความต้านทานของผนังทั้งหมด และค่าความต้านทานของฟิล์มอากาศภายนอก (ความเร็วลมจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า R และค่า U เนื่องจากเมื่อค่าความเร็วลมเปลี่ยนไป ค่าความต้านทานอากาศก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย
อุณหภูมิกระเปาะเปียก (U-Value)	ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถบันทึกได้โดยใช้เครื่องเทอร์โมมิเตอร์ หรือเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดอื่น ๆ ซึ่งตัวรับรู้ (sensor) ถูกห่อหุ้มด้วยผ้าหรือลำชีบน้ำและมีความเร็วลมหรืออากาศพัดผ่าน จนทำให้เกิดการระเหยของน้ำในบริเวณนั้น อันจะเป็นผลให้อุณหภูมิที่อ่านได้ คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (U-Value)	อุณหภูมิของวัตถุที่สามารถอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไป หรือ เครื่องวัดอุณหภูมิโดยปกติจะต้องควบคุมไม่ให้ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของแหล่งกำเนิดความร้อนต่าง ๆ เช่น ดวงอาทิตย์ เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออื่น ๆ ซึ่งทำให้เกิดการดูดซับความร้อนระหว่างตัวรับรู้และแหล่งกำเนิดความร้อน

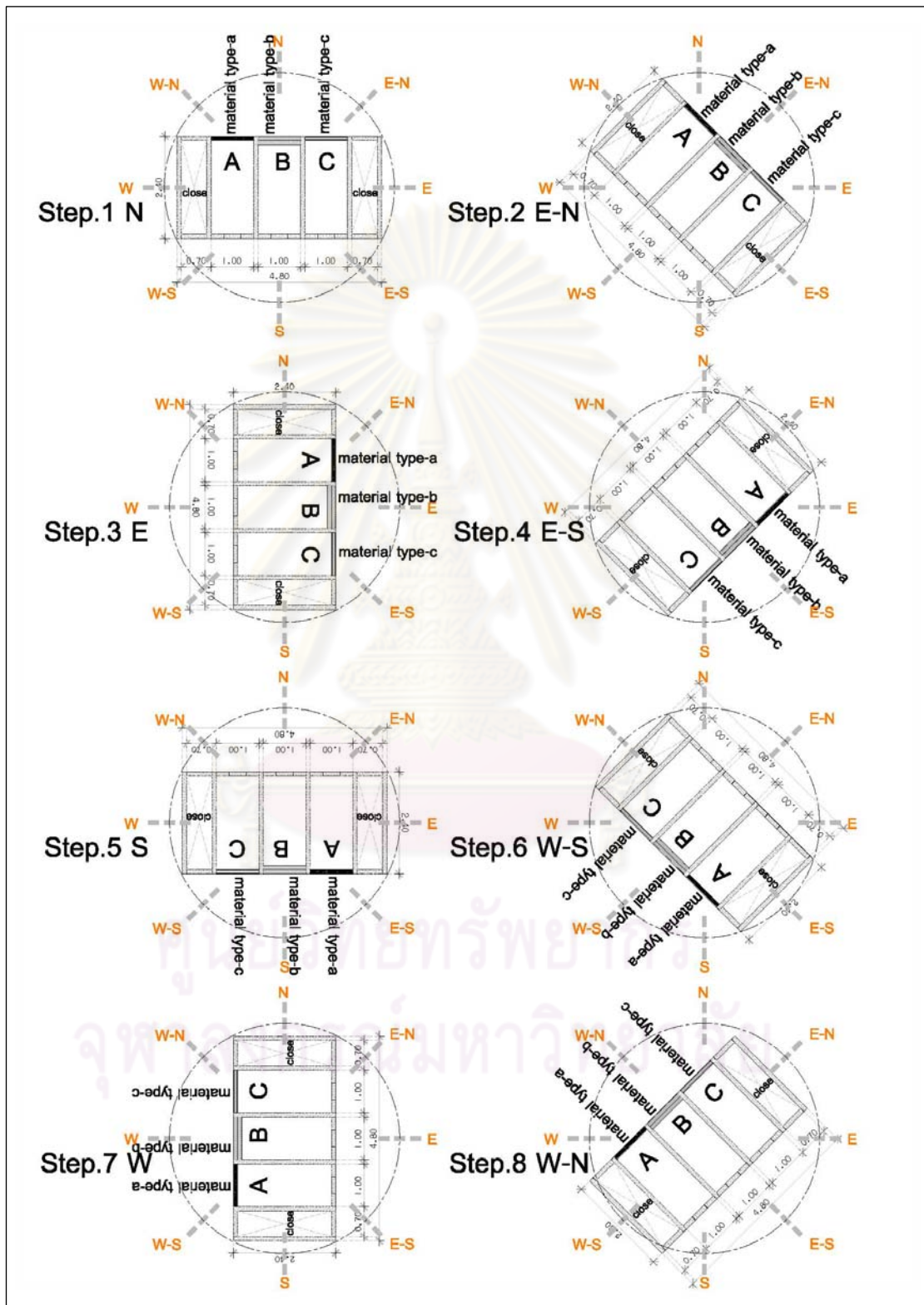


ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการทดลองทิศทางมวลสารและทิศทาง





ภาคผนวก ค
ข้อมูลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Time (hr.)	การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ (N) ¹				การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออก (E) ²			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	26.73	27.52	26.73	26.73	25.17	26.21	27.12	27.91
7:00	25.56	27.52	26.34	26.73	25.56	26.37	26.73	27.91
8:00	25.73	27.52	26.73	26.73	26.73	26.42	26.73	27.91
9:00	25.17	27.12	26.34	26.73	29.90	27.81	27.12	27.91
10:00	25.56	26.73	25.95	26.34	36.13	29.10	28.70	28.34
11:00	27.52	26.73	26.34	26.34	34.85	31.52	30.71	28.72
12:00	30.31	27.42	26.73	26.73	38.32	32.76	31.93	31.01
13:00	30.31	28.23	27.52	27.52	41.52	34.85	34.01	32.57
14:00	30.71	28.94	28.31	27.91	38.77	35.70	34.85	33.78
15:00	29.90	29.01	28.31	28.31	39.22	36.13	35.27	33.78
16:00	29.50	28.97	28.70	28.31	33.17	35.27	34.85	34.48
17:00	28.31	28.31	28.70	28.31	31.93	34.43	34.01	34.12
18:00	27.52	28.31	27.91	28.31	30.31	33.59	33.17	33.78
19:00	25.17	26.01	27.52	27.52	29.50	32.76	32.34	32.76
20:00	24.79	25.51	26.73	27.12	28.31	31.21	31.52	31.93
21:00	24.79	25.37	26.34	26.73	28.31	30.34	30.71	31.52
22:00	24.40	25.16	25.95	26.34	27.52	29.72	30.31	31.12
23:00	24.40	25.02	25.56	25.95	26.73	28.79	29.90	30.71
0:00	24.40	24.57	25.17	25.56	26.34	28.01	29.50	30.31
1:00	24.40	24.51	25.17	25.56	25.95	27.82	29.10	29.90
2:00	24.40	24.72	25.17	25.56	25.95	27.21	28.31	29.50
3:00	24.40	24.59	24.79	25.17	25.56	27.00	28.31	29.10
4:00	24.01	24.59	24.79	25.17	25.56	26.67	27.91	28.70
5:00	24.01	24.40	24.79	25.17	25.17	26.21	27.52	28.31
6:00	24.40	24.79	24.40	24.40	24.79	26.00	27.12	27.91
7:00	24.79	24.79	24.40	24.40	25.56	26.73	26.73	27.52
8:00	26.34	25.17	24.79	24.79	28.31	27.52	27.12	29.78
9:00	27.91	26.43	25.56	25.17	33.17	29.50	28.70	28.57
10:00	29.50	27.82	26.73	26.34	36.13	32.76	31.12	30.23
11:00	31.93	29.01	28.31	27.52	39.67	34.43	33.17	32.00
12:00	28.70	29.00	28.70	28.31	41.52	36.13	34.85	33.87
13:00	25.17	27.52	27.51	27.91	39.67	37.88	36.57	35.56
14:00	25.56	26.73	26.73	27.12	37.00	37.88	36.57	35.57
15:00	26.34	26.73	26.73	26.73	30.31	36.57	35.70	35.67
16:00	27.91	26.73	26.73	26.73	29.50	34.43	34.01	34.07
17:00	28.31	26.73	26.73	26.73	29.50	33.17	32.76	33.59
18:00	27.52	26.73	26.73	26.73	27.12	32.34	31.93	32.76
19:00	25.56	26.92	26.34	26.73	25.56	29.00	30.31	31.52
20:00	24.79	24.91	25.95	26.34	25.95	28.00	29.10	30.71
21:00	24.79	24.91	25.56	25.95	25.95	26.79	28.31	29.90
22:00	24.79	25.21	25.56	25.95	25.95	27.00	27.91	29.50
23:00	24.79	24.75	25.17	25.56	25.95	26.87	27.91	29.10
0:00	24.40	24.61	25.17	25.56	25.95	26.53	27.52	28.70
1:00	24.01	24.45	25.17	25.17	25.95	26.49	27.12	28.31
2:00	24.01	24.21	24.79	25.17	25.56	26.37	27.12	27.91
3:00	24.17	24.21	24.79	25.17	25.56	26.23	26.73	27.91
4:00	24.56	24.45	24.79	25.17	25.17	26.01	26.73	27.52
5:00	24.56	24.38	24.79	25.17	25.17	25.79	26.34	27.12
6:00	25.17	24.59	24.79	25.17	25.17	25.51	26.34	27.12
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	26.16	26.17	26.19	26.34	29.73	30.04	30.17	30.58
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	31.93	29.01	28.70	28.31	41.52	37.88	36.57	35.67
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	24.01	24.21	24.40	24.40	24.79	25.51	26.34	27.12

¹ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 มิถุนายน 2553 – 23 มิถุนายน 2553

² ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออก กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 มิถุนายน 2553 – 27 มิถุนายน 2553

Time (hr.)	การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศใต้ (S) ³				การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตก (W) ⁴			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	26.34	26.34	26.34	26.73	36.57	30.31	29.5	29.37
7:00	25.95	25.56	25.56	26.34	39.67	31.93	31.12	30.13
8:00	28.70	26.73	27.12	27.12	40.59	33.17	32.34	31.57
9:00	31.12	29.10	29.10	29.10	40.13	34.01	33.17	32.56
10:00	34.01	31.52	31.50	30.71	36.57	34.01	33.17	32.78
11:00	37.44	33.59	33.25	32.76	36.13	33.59	33.17	32.76
12:00	39.22	34.85	34.31	33.59	33.17	33.17	32.76	32.76
13:00	36.50	34.85	34.57	33.59	31.12	32.76	32.34	32.34
14:00	37.88	34.85	34.73	34.43	28.7	31.93	31.52	31.93
15:00	33.17	36.13	35.47	35.27	27.12	30.71	30.71	31.12
16:00	29.90	34.01	34.43	33.59	26.34	28.87	29.9	30.71
17:00	30.31	32.76	33.17	32.76	25.56	27.53	29.1	29.9
18:00	29.50	31.93	32.34	32.34	25.17	27.01	28.31	29.5
19:00	27.52	31.12	31.52	31.52	24.79	26.15	27.52	29.1
20:00	26.73	30.31	30.71	31.12	24.4	25.34	27.12	28.31
21:00	25.95	29.50	29.90	30.31	24.01	25.12	26.34	27.91
22:00	25.95	29.10	29.10	29.90	24.01	24.73	25.95	27.52
23:00	25.56	28.31	28.70	29.50	23.63	24.38	25.56	27.12
0:00	25.17	27.91	27.91	29.10	23.24	24.28	25.17	26.73
1:00	25.17	27.52	27.52	28.31	23.24	24.38	25.01	26.34
2:00	24.79	27.12	27.52	28.31	24.01	24.47	24.79	26.34
3:00	24.79	27.12	27.12	27.91	26.34	26.34	25.56	27.12
4:00	24.40	26.73	26.73	27.52	31.93	28.7	27.91	29.1
5:00	24.40	26.34	26.34	27.12	34.01	31.52	30.71	30.01
6:00	24.01	26.34	26.34	27.12	39.67	34.01	32.76	31.24
7:00	24.40	25.95	26.34	26.73	40.13	35.27	34.01	32.02
8:00	26.73	26.34	26.34	27.12	40.2	35.27	34.43	33.25
9:00	30.31	28.31	28.70	28.70	40.59	35.7	34.43	33.78
10:00	33.59	30.71	30.71	30.71	39.67	36.13	35.27	34.73
11:00	35.70	33.17	32.76	32.34	37.88	36.13	35.27	34.85
12:00	38.32	34.85	34.37	34.01	35.27	35.27	35.27	34.43
13:00	39.22	34.85	34.21	33.59	31.52	34.85	34.85	33.78
14:00	34.85	35.27	34.76	34.01	29.5	33.59	33.59	32.79
15:00	29.90	34.01	34.43	33.59	27.12	32.34	31.93	31.79
16:00	26.34	32.34	32.76	31.93	26.34	31.12	30.71	31.57
17:00	25.95	30.71	31.12	31.12	25.56	29.23	29.9	30.62
18:00	25.95	29.50	29.90	30.31	25.17	27.87	28.7	30.12
19:00	25.56	28.70	29.10	29.90	25.17	26.37	28.31	29.52
20:00	25.17	27.91	28.31	29.10	25.17	26.23	27.91	29.01
21:00	25.17	27.52	27.91	28.70	24.79	26.01	27.12	28.78
22:00	25.17	27.12	27.52	28.31	24.79	25.87	26.73	28.31
23:00	25.17	26.73	27.12	27.91	24.79	25.8	26.34	27.91
0:00	24.79	26.73	26.73	27.52	24.01	25.21	26.34	27.52
1:00	24.79	26.34	26.34	27.52	24.01	24.78	25.95	27.12
2:00	24.79	26.34	26.34	27.12	24.4	25.95	25.56	27.12
3:00	24.40	25.95	25.95	26.73	26.34	27.12	26.73	27.91
4:00	24.40	25.56	25.95	26.73	31.52	29.9	29.1	30.31
5:00	24.01	25.56	25.56	26.34	34.01	32.34	31.52	32.76
6:00	24.01	25.17	25.56	25.95	38.32	34.43	34.01	34.85
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	28.43	29.50	29.59	29.84	30.13	29.82	29.91	30.39
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	39.22	36.13	35.47	35.27	40.59	36.13	35.27	34.85
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	24.01	25.17	25.56	25.95	23.24	24.28	24.79	26.34

³ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศใต้ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และ ผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2553 – 3 กรกฎาคม 2553

⁴ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตก กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และ ผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม 2553 – 7 กรกฎาคม 2553

Time (hr.)	การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (EN) ⁵				การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ES) ⁶			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	24.40	26.34	26.34	27.12	24.40	26.34	26.34	27.12
7:00	24.40	26.34	25.95	26.73	24.40	26.95	26.34	26.73
8:00	27.12	26.34	26.34	27.12	27.12	27.34	26.73	27.12
9:00	32.76	28.31	27.52	27.91	32.76	28.52	28.31	27.91
10:00	37.00	31.12	29.50	29.50	37.00	32.50	31.12	29.50
11:00	36.13	33.17	31.93	31.52	36.13	34.93	33.17	31.52
12:00	41.52	33.17	34.01	33.59	41.52	35.01	35.27	33.59
13:00	37.00	36.57	35.27	34.85	37.00	36.27	36.57	34.85
14:00	42.46	37.88	36.57	36.13	42.46	38.57	37.88	36.13
15:00	35.70	37.00	36.13	35.27	35.70	37.51	37.00	35.27
16:00	28.70	35.27	34.43	34.01	28.70	35.43	35.27	34.01
17:00	29.50	33.59	32.76	33.17	29.50	33.76	33.59	33.17
18:00	23.24	25.17	25.17	26.34	29.50	31.73	32.76	32.76
19:00	23.24	24.79	25.17	25.95	27.91	31.02	31.93	31.93
20:00	27.12	27.31	28.51	29.12	27.12	30.01	31.12	31.12
21:00	26.73	29.33	29.90	30.71	27.12	29.40	30.31	30.71
22:00	26.73	28.72	29.50	30.31	26.34	29.10	29.50	30.31
23:00	26.34	28.01	29.10	29.90	25.95	28.50	29.10	29.90
0:00	25.95	27.59	28.31	29.50	25.95	27.51	28.31	29.10
1:00	25.56	27.11	27.91	29.10	26.34	27.51	28.31	28.70
2:00	25.56	26.78	27.91	28.70	26.34	27.52	27.91	28.31
3:00	25.56	26.71	27.52	28.31	25.95	27.52	27.52	28.31
4:00	25.17	26.71	27.12	27.91	25.56	27.12	27.12	27.91
5:00	25.17	26.72	26.73	27.91	25.17	26.73	27.12	27.52
6:00	27.91	31.93	31.53	31.12	25.17	26.73	26.73	27.52
7:00	27.12	31.12	31.12	30.31	25.56	26.73	27.12	27.52
8:00	27.12	30.71	30.31	29.90	27.52	27.91	27.70	28.31
9:00	26.34	30.31	29.50	29.10	31.93	30.90	30.12	29.90
10:00	25.95	29.90	29.10	28.70	37.44	33.93	31.93	31.59
11:00	25.95	29.10	28.31	27.91	38.77	35.01	34.27	33.59
12:00	26.34	28.70	28.31	27.91	41.52	37.13	36.44	35.27
13:00	26.34	28.31	27.91	27.52	43.42	35.43	34.27	34.01
14:00	25.95	28.31	27.52	27.10	30.31	34.85	34.01	34.43
15:00	25.56	27.91	27.12	26.79	36.57	34.59	34.01	33.91
16:00	25.17	27.52	27.12	26.12	31.52	32.93	32.76	32.34
17:00	25.17	26.73	26.73	26.27	28.70	31.92	31.52	31.01
18:00	28.90	31.93	32.34	31.93	28.31	30.01	30.71	31.12
19:00	26.73	30.79	31.12	31.52	26.73	29.10	29.90	30.31
20:00	26.34	28.72	30.31	30.71	26.34	28.20	29.10	29.90
21:00	25.95	28.12	29.50	30.31	25.56	27.61	28.31	29.10
22:00	25.56	27.57	29.10	29.90	25.17	27.52	27.91	28.70
23:00	24.79	26.51	28.31	29.50	25.17	27.12	27.52	28.31
0:00	24.40	25.97	27.91	28.70	24.79	26.53	27.12	27.91
1:00	24.40	26.12	27.52	28.31	24.40	26.34	26.73	27.52
2:00	25.17	26.01	26.73	27.91	24.40	25.95	26.34	27.12
3:00	25.17	26.02	26.73	27.52	24.01	25.56	25.95	26.73
4:00	25.17	26.00	26.73	27.52	23.63	25.56	25.56	26.34
5:00	25.17	25.89	26.34	27.12	23.24	25.17	25.17	26.34
6:00	23.24	24.79	25.17	25.95	23.24	24.59	25.17	25.95
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	27.53	28.88	29.02	29.31	29.37	30.08	30.10	30.17
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	42.46	37.88	36.57	36.13	43.42	38.57	37.88	36.13
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	23.24	24.79	25.17	25.95	23.24	24.59	25.17	25.95

⁵ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 6 เมษายน 2553 – 8 เมษายน 2553

⁶ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 17 เมษายน 2553 – 19 เมษายน 2553

Time (hr.)	การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (WS) ⁷				การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (WN) ⁸			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	24.01	25.17	25.56	26.34	34.01	29.50	28.70	28.70
7:00	25.17	25.17	25.56	26.34	34.43	30.71	29.90	29.90
8:00	29.90	28.00	27.12	27.52	34.43	31.50	30.71	30.31
9:00	34.01	30.27	29.50	29.50	32.34	31.72	31.12	30.71
10:00	36.57	32.45	31.52	31.12	31.93	31.62	31.12	30.71
11:00	35.70	34.76	32.76	31.93	30.71	31.27	30.71	30.31
12:00	37.00	35.87	34.43	33.17	30.31	30.73	30.31	29.90
13:00	32.76	34.12	33.17	31.93	29.10	30.21	29.90	29.50
14:00	29.90	33.00	32.34	31.52	27.52	29.10	29.10	29.10
15:00	30.31	32.12	31.52	31.12	26.73	28.70	28.70	28.70
16:00	32.76	31.78	31.52	31.12	26.34	27.91	27.91	28.31
17:00	32.76	31.56	31.52	31.12	25.17	27.52	27.52	27.91
18:00	31.12	31.00	31.52	31.12	24.40	26.73	26.73	27.52
19:00	29.10	30.31	31.12	30.71	24.40	26.01	26.34	27.12
20:00	27.52	29.10	30.21	30.31	24.01	25.07	25.95	26.73
21:00	26.73	28.00	29.30	29.90	24.40	25.12	25.56	26.34
22:00	25.95	27.31	28.90	29.10	24.01	25.01	25.56	25.95
23:00	25.95	26.91	28.31	28.70	24.01	24.57	25.17	25.95
0:00	25.56	26.52	27.91	28.31	24.01	24.28	25.17	25.56
1:00	25.17	26.72	27.32	27.91	23.24	24.21	24.79	25.56
2:00	25.17	26.53	27.00	27.52	23.63	24.29	24.79	25.17
3:00	24.79	26.31	26.73	27.12	25.17	24.39	24.79	25.56
4:00	24.40	25.16	26.14	27.12	28.70	26.12	26.34	26.73
5:00	24.40	25.16	25.95	26.73	32.34	29.10	28.70	29.10
6:00	24.40	25.56	25.95	26.34	34.43	31.52	31.12	30.71
7:00	25.17	27.00	25.95	26.34	31.52	32.34	31.93	31.12
8:00	28.31	29.12	26.34	26.73	35.70	32.42	31.52	31.12
9:00	33.17	31.79	28.31	28.31	33.17	32.76	32.76	31.93
10:00	37.44	32.57	30.71	29.90	37.00	33.17	33.17	32.76
11:00	36.57	33.56	32.76	31.52	34.01	35.02	33.59	32.76
12:00	37.88	34.12	33.17	31.93	29.90	33.87	33.17	32.34
13:00	29.50	33.78	32.76	31.52	27.12	32.00	31.93	31.12
14:00	32.76	33.45	32.34	31.12	26.73	30.31	30.71	30.31
15:00	33.17	32.82	31.93	31.12	25.56	29.10	29.50	29.50
16:00	34.43	33.12	31.93	31.52	25.17	28.31	28.70	28.70
17:00	32.34	32.11	31.93	31.52	25.17	27.52	27.91	28.31
18:00	30.31	31.12	31.22	31.12	25.17	26.57	27.12	27.91
19:00	27.91	28.90	30.21	30.71	24.79	26.21	26.73	27.52
20:00	27.52	28.50	29.50	29.90	24.79	25.72	26.34	27.12
21:00	26.73	27.70	29.00	29.50	24.40	25.48	26.34	26.73
22:00	25.56	26.91	28.31	29.10	24.40	25.47	25.95	26.73
23:00	25.56	26.52	27.91	28.31	24.40	25.21	25.56	26.34
0:00	25.56	26.12	27.52	27.91	24.40	25.03	25.56	25.95
1:00	24.79	25.14	26.73	27.52	24.01	24.78	25.17	25.56
2:00	24.40	25.14	26.34	27.12	24.40	24.61	25.17	25.56
3:00	24.40	25.36	26.34	26.73	25.56	24.29	24.79	25.56
4:00	24.40	25.56	25.95	26.34	27.52	25.17	25.17	25.56
5:00	24.40	25.17	25.56	26.34	29.90	26.14	26.34	26.34
6:00	24.40	25.17	25.56	25.95	31.93	27.21	27.91	27.91
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	28.93	29.18	29.21	29.22	27.89	28.07	28.16	28.30
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	37.88	35.87	34.43	33.17	37.00	35.02	33.59	32.76
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	24.01	25.14	25.56	25.95	23.24	24.21	24.79	25.17

⁷ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเฉียงใต้ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 เมษายน 2553 – 23 เมษายน 2553

⁸ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 เมษายน 2553 – 27 เมษายน 2553

Time (hr.)	การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ (N) ⁹				การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออก (E) ¹⁰			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	25.56	25.95	25.95	25.93	24.40	25.17	25.56	25.17
7:00	29.90	25.95	25.56	25.41	24.40	24.79	25.56	24.79
8:00	33.17	26.34	25.95	25.01	26.34	25.17	25.56	25.17
9:00	34.43	28.31	27.12	26.47	29.50	25.95	25.95	25.56
10:00	38.77	30.31	28.70	28.12	30.71	27.52	26.73	26.73
11:00	40.59	31.93	30.71	28.97	32.34	29.10	27.91	27.91
12:00	41.05	34.01	32.76	30.32	33.17	30.71	29.10	29.50
13:00	40.13	35.70	34.01	31.79	34.01	31.52	29.90	30.31
14:00	30.71	36.57	35.27	33.12	34.85	32.76	31.12	31.52
15:00	33.17	34.85	34.01	33.49	34.85	33.59	31.93	32.34
16:00	32.76	33.59	33.17	33.17	32.34	33.17	31.93	32.34
17:00	30.31	32.59	33.17	33.17	30.71	32.76	31.93	31.93
18:00	28.70	30.76	32.24	32.34	29.50	31.12	31.93	31.12
19:00	27.12	29.93	31.12	31.52	27.91	29.50	31.12	30.71
20:00	27.91	28.72	30.01	31.62	26.73	28.70	29.90	29.90
21:00	26.73	28.72	30.31	30.71	25.95	27.91	29.10	29.10
22:00	25.95	27.81	29.50	30.31	25.56	27.52	28.31	28.70
23:00	25.56	27.21	28.70	29.50	25.17	26.73	27.52	28.31
0:00	25.17	26.82	28.31	29.10	24.40	26.34	27.12	27.91
1:00	25.17	26.21	27.91	28.70	24.01	25.95	26.34	27.12
2:00	24.79	26.12	27.12	28.61	23.63	25.56	25.95	26.73
3:00	24.40	25.21	26.73	27.91	23.24	25.17	25.56	26.34
4:00	24.01	25.02	26.34	27.52	23.24	25.17	25.17	25.95
5:00	24.01	25.12	25.95	27.12	22.86	24.79	24.79	25.56
6:00	24.40	25.50	25.95	26.73	22.86	24.40	25.56	24.40
7:00	29.90	25.95	25.56	26.34	23.24	24.40	25.17	24.40
8:00	28.70	26.34	25.56	26.23	25.17	24.79	25.17	24.40
9:00	33.17	27.91	26.73	26.57	31.52	27.12	26.34	25.56
10:00	35.27	30.31	28.70	27.32	34.43	29.90	28.31	28.31
11:00	36.57	31.93	30.71	28.92	37.88	32.34	30.31	30.31
12:00	36.13	33.17	31.52	30.87	37.44	34.01	31.93	32.34
13:00	37.88	34.01	32.76	32.34	36.13	34.85	32.76	33.17
14:00	37.88	34.85	34.01	33.59	37.44	35.27	33.59	33.59
15:00	37.88	35.27	34.85	34.01	35.27	35.70	34.01	34.43
16:00	35.27	35.27	34.85	34.01	34.85	35.27	34.01	34.43
17:00	33.59	34.85	34.43	34.01	32.76	34.85	34.01	34.01
18:00	31.12	34.01	33.59	33.17	31.52	33.17	34.01	33.17
19:00	27.91	32.34	32.34	32.34	29.50	32.34	32.76	32.76
20:00	25.95	29.71	31.12	31.82	28.70	31.12	31.93	31.93
21:00	24.79	27.71	29.90	30.81	27.52	29.50	31.12	31.12
22:00	24.40	26.72	29.10	29.90	26.73	28.70	30.31	30.71
23:00	24.01	26.01	27.91	29.10	26.73	28.31	29.50	30.31
0:00	23.63	25.57	27.12	28.31	26.34	27.91	29.10	29.50
1:00	23.24	25.21	26.34	27.91	25.56	27.12	28.31	29.10
2:00	22.86	24.73	25.95	27.52	25.17	26.73	27.91	28.70
3:00	22.48	24.38	25.56	26.83	24.79	25.34	27.52	28.31
4:00	22.48	24.34	25.17	26.34	24.79	25.34	27.12	27.91
5:00	22.09	24.27	24.79	25.95	24.40	25.34	26.73	27.52
6:00	22.48	24.04	24.40	25.76	24.40	25.34	26.34	27.12
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	29.47	29.15	29.38	29.52	28.67	28.89	28.98	29.15
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	41.05	36.57	35.27	34.01	37.88	35.70	34.01	34.43
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	22.09	24.04	24.40	25.01	22.86	24.40	24.79	24.40

⁹ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 เมษายน 2553 – 2 พฤษภาคม 2553

¹⁰ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออก กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2553

Time (hr.)	การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศใต้ (S) ¹¹				การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตก (W) ¹²			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	24.01	24.40	24.40	24.79	31.59	26.31	25.17	24.79
7:00	24.01	24.01	24.01	24.40	34.27	26.4	25.17	24.79
8:00	26.73	24.79	24.40	25.17	35.13	26.97	25.17	24.79
9:00	29.90	26.34	25.95	26.34	35.52	27.81	25.56	25.17
10:00	30.71	27.91	27.52	27.52	35.52	28.93	26.34	26.34
11:00	33.17	28.31	27.91	27.52	34.5	30.21	28.31	28.31
12:00	33.17	29.50	29.10	28.70	32.34	31.21	30.31	29.9
13:00	36.57	30.71	30.31	29.90	30.71	32.67	31.12	30.71
14:00	35.27	32.93	31.93	30.71	24.79	33.27	32.34	31.93
15:00	27.52	31.12	30.71	30.31	24.4	33.47	32.76	32.34
16:00	31.93	30.71	30.71	30.31	24.4	33.31	32.76	32.34
17:00	31.93	30.71	30.71	30.31	24.4	32.82	32.34	31.93
18:00	28.70	29.90	30.31	30.31	24.01	31.57	31.12	30.71
19:00	24.79	28.92	29.10	29.50	24.01	26.21	29.5	29.9
20:00	23.24	26.78	27.52	28.31	24.01	25.37	27.31	28.7
21:00	23.63	25.32	26.34	27.52	24.01	24.97	26.52	27.91
22:00	23.63	25.00	25.56	26.73	24.01	24.68	25.73	27.12
23:00	23.63	24.82	25.17	26.34	23.63	24.57	25.34	26.34
0:00	24.01	24.45	24.79	25.95	23.63	24.57	24.95	25.95
1:00	24.01	24.40	24.79	25.56	23.63	24.57	24.86	25.56
2:00	24.01	24.40	24.79	25.17	24.4	24.21	25.06	25.17
3:00	24.01	24.40	24.40	25.17	26.34	24.73	24.93	25.17
4:00	23.63	24.01	24.40	24.79	27.91	24.57	25.17	24.79
5:00	23.63	24.01	24.40	24.79	31.93	25.21	24.79	24.79
6:00	23.24	24.01	23.63	24.40	33.59	25.31	24.79	24.4
7:00	24.01	24.01	23.63	24.40	35.27	25.53	24.79	24.4
8:00	25.17	24.01	23.63	24.40	36.13	25.68	24.79	24.4
9:00	25.95	24.01	24.01	24.40	38.32	26.22	25.17	25.17
10:00	27.91	24.79	24.79	24.79	37.32	27.01	26.34	26.34
11:00	28.31	25.56	25.56	25.56	37	28.54	27.91	27.52
12:00	31.52	26.34	26.34	26.34	32.34	29.87	29.5	29.1
13:00	37.00	27.91	28.31	27.52	30.71	31.45	31.12	30.71
14:00	34.01	29.50	29.50	28.70	24.79	33.45	32.34	31.93
15:00	33.59	29.90	30.31	29.10	24.4	35.78	34.01	33.17
16:00	33.59	30.31	30.71	29.50	24.4	35.87	35.27	34.43
17:00	31.12	30.53	30.71	29.90	24.4	34.35	34.85	34.43
18:00	28.70	29.90	29.90	29.50	24.01	30.47	33.47	34.01
19:00	26.73	29.10	28.70	28.70	24.01	27.87	31.34	32.34
20:00	26.34	27.92	28.31	28.31	24.01	25.82	29.99	31.31
21:00	25.95	27.02	27.52	27.91	23.63	25.67	28.31	29.7
22:00	25.56	26.57	27.12	27.52	23.63	25.57	27.52	28.91
23:00	26.73	26.34	26.34	27.12	23.63	25.17	26.73	28.12
0:00	25.95	26.31	26.34	26.73	23.63	25.17	26.34	26.73
1:00	25.56	25.73	25.95	26.73	23.63	25.17	25.95	25.95
2:00	24.79	25.41	25.56	26.34	23.63	25.17	25.56	25.56
3:00	24.40	25.07	25.17	25.95	24.79	25.17	25.17	25.17
4:00	23.63	24.58	25.17	25.56	26.34	25.17	25.17	24.79
5:00	23.24	24.40	24.79	25.17	29.5	26.54	24.79	24.4
6:00	22.86	24.01	24.40	24.79	34.43	27.21	24.79	24.4
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	27.38	26.76	26.85	27.05	28.09	27.92	27.93	28.02
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	37.00	32.93	31.93	30.71	38.32	35.87	35.27	34.43
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	22.86	24.01	23.63	24.40	23.63	24.21	24.79	24.40

¹¹ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 พฤษภาคม 2553 – 1 มิถุนายน 2553

¹² ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตก กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 11 มิถุนายน 2553 – 13 มิถุนายน 2553

Time (hr.)	การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (EN) ¹³				การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ES) ¹⁴			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	26.73	26.73	27.52	27.52	28.70	28.70	28.70	28.70
7:00	25.95	26.73	26.34	27.52	25.56	26.34	25.95	27.12
8:00	29.10	27.52	27.12	27.91	29.50	27.12	26.73	27.91
9:00	31.52	29.50	28.70	29.10	34.43	29.50	29.10	29.90
10:00	37.00	31.12	30.31	30.31	37.44	31.93	31.52	31.93
11:00	38.77	33.59	32.76	32.34	41.52	34.43	34.01	33.59
12:00	40.13	35.70	34.85	34.01	38.32	35.70	35.27	34.85
13:00	37.00	36.57	35.70	34.85	41.52	37.00	36.57	35.70
14:00	35.27	37.00	36.13	35.27	40.59	37.00	36.57	35.70
15:00	32.76	35.98	35.27	34.43	34.85	37.88	37.00	36.13
16:00	30.71	34.43	34.43	33.59	29.90	35.27	35.27	34.43
17:00	29.10	33.17	32.76	32.76	29.50	34.01	34.01	33.59
18:00	28.70	31.93	32.34	32.34	27.91	32.76	32.76	32.76
19:00	27.52	30.75	31.12	31.52	25.17	31.12	31.12	31.93
20:00	27.12	29.92	30.31	31.12	24.79	29.10	29.50	30.71
21:00	26.73	29.27	29.90	30.71	24.79	27.91	28.31	29.50
22:00	26.73	28.45	29.50	30.31	24.79	27.12	27.52	28.70
23:00	26.34	28.03	29.10	29.90	24.79	26.34	26.73	28.31
0:00	25.95	27.81	28.31	29.50	24.79	26.00	26.34	27.52
1:00	25.56	26.90	27.91	29.10	25.17	25.95	26.34	27.52
2:00	25.56	26.85	27.91	28.70	24.79	25.56	25.95	27.12
3:00	25.56	26.72	27.52	28.31	24.79	25.56	25.95	26.73
4:00	25.17	26.59	27.12	27.91	24.79	25.32	25.56	26.34
5:00	25.17	26.25	26.73	27.91	24.79	25.21	25.56	26.34
6:00	24.79	26.21	26.73	27.52	24.40	25.17	25.56	25.95
7:00	25.56	26.34	26.34	27.12	25.17	25.17	25.56	25.95
8:00	28.31	27.00	26.73	27.52	28.70	26.34	26.34	26.73
9:00	31.12	29.10	28.31	29.10	32.76	27.91	28.31	28.70
10:00	34.85	31.12	30.31	30.31	35.70	29.50	29.90	29.90
11:00	37.44	32.56	31.93	31.93	37.44	30.71	31.12	31.12
12:00	38.32	34.85	34.01	33.17	39.22	32.34	32.76	32.76
13:00	37.88	35.27	34.85	34.01	41.05	33.59	34.01	33.59
14:00	32.76	34.85	34.85	34.01	40.13	34.85	34.85	34.01
15:00	31.12	34.01	34.01	33.17	39.22	35.70	35.27	34.43
16:00	30.31	33.17	32.76	32.76	34.43	36.57	35.70	34.85
17:00	31.52	32.76	32.76	32.76	33.59	35.70	35.27	34.43
18:00	28.90	31.93	32.34	31.93	31.12	34.85	34.43	34.01
19:00	26.73	30.74	31.12	31.52	29.10	33.17	33.17	33.17
20:00	26.34	29.82	30.31	30.71	27.52	31.13	31.93	32.34
21:00	25.95	29.01	29.50	30.31	27.12	29.90	30.71	31.52
22:00	25.56	28.32	29.10	29.90	26.34	29.10	29.90	31.12
23:00	24.79	28.01	28.31	29.50	26.34	27.91	29.10	30.31
0:00	24.40	27.74	27.91	28.70	25.56	27.91	28.70	29.90
1:00	24.40	27.01	27.52	28.31	25.17	27.52	27.91	29.10
2:00	25.17	26.93	26.73	27.91	25.56	27.12	27.52	28.70
3:00	25.17	26.83	26.73	27.52	24.79	26.34	27.12	28.31
4:00	25.17	26.69	26.73	27.52	24.40	25.95	26.73	27.91
5:00	25.17	26.20	26.34	27.12	24.01	25.56	26.34	27.52
6:00	25.17	26.23	26.34	27.12	23.63	25.56	25.56	27.12
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	29.12	30.00	30.05	30.38	29.91	29.97	30.12	30.54
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	40.13	37.00	36.13	35.27	41.52	37.88	37.00	36.13
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	24.40	26.20	26.34	27.12	23.63	25.17	25.56	25.95

¹³ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 4 พฤษภาคม 2553 – 6 พฤษภาคม 2553

¹⁴ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 26 พฤษภาคม 2553 – 28 พฤษภาคม 2553

Time (hr.)	การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (WS) ¹⁵				การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (WN) ¹⁶			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	24.01	25.95	25.95	26.73	24.79	25.56	25.56	26.34
7:00	24.79	25.56	25.56	26.34	24.79	25.17	25.56	26.34
8:00	27.91	26.34	26.34	27.12	28.31	25.95	25.95	26.73
9:00	34.01	28.31	27.91	28.31	32.76	27.91	27.91	28.31
10:00	36.57	30.71	29.90	30.31	35.70	29.90	30.31	30.31
11:00	39.22	33.17	31.93	32.34	39.67	32.34	31.93	31.93
12:00	38.77	34.85	34.01	33.59	41.52	34.01	34.01	33.17
13:00	39.67	35.70	34.85	34.01	41.52	35.27	34.85	34.01
14:00	41.99	37.44	37.00	35.70	40.13	36.57	36.13	35.27
15:00	39.22	37.44	37.00	35.70	39.22	36.57	36.13	35.27
16:00	34.43	37.00	37.00	35.70	35.27	37.00	36.13	35.27
17:00	32.34	36.13	36.13	34.85	32.76	35.70	35.27	34.43
18:00	30.71	34.85	34.85	34.43	31.52	34.43	34.43	34.01
19:00	29.00	34.01	34.01	33.59	29.90	33.17	33.17	33.17
20:00	28.31	32.36	32.76	32.76	28.31	31.53	31.93	32.34
21:00	27.12	30.21	31.52	32.34	27.52	30.32	31.12	31.93
22:00	26.34	29.90	30.71	31.52	26.73	29.87	30.31	31.12
23:00	25.95	29.10	29.90	30.71	26.34	28.92	29.50	30.71
0:00	26.34	28.70	29.50	30.31	25.95	28.01	29.10	29.90
1:00	25.56	27.81	28.70	29.90	25.56	27.31	28.31	29.50
2:00	25.56	27.52	28.31	29.50	25.56	27.59	27.91	29.10
3:00	25.95	27.02	27.91	28.70	25.17	27.02	27.52	28.70
4:00	25.17	26.93	27.12	28.31	25.17	25.56	27.52	28.31
5:00	24.79	26.59	27.12	27.91	24.79	25.73	27.12	27.91
6:00	24.40	26.49	26.73	27.52	24.40	25.56	26.73	27.52
7:00	25.17	26.34	26.34	27.52	25.56	26.34	26.34	27.12
8:00	29.50	27.52	27.52	28.31	28.70	27.12	27.12	27.91
9:00	34.01	30.31	29.50	30.31	34.43	29.10	29.10	29.50
10:00	37.00	32.76	31.52	31.93	37.88	31.12	31.12	31.12
11:00	39.22	34.85	33.59	34.01	40.59	32.34	32.34	31.93
12:00	40.13	35.70	34.85	34.43	41.05	34.01	33.59	33.17
13:00	40.13	36.57	35.70	34.85	40.13	35.70	35.27	34.43
14:00	40.59	37.88	37.00	36.13	41.99	37.00	36.13	35.27
15:00	40.13	38.32	37.88	36.57	38.77	37.88	37.00	36.13
16:00	37.88	37.00	37.00	35.70	35.27	38.32	37.44	36.57
17:00	32.76	35.27	35.27	34.43	28.31	37.44	36.57	35.70
18:00	30.71	31.53	33.59	33.59	27.91	35.13	35.70	35.27
19:00	28.00	30.59	31.93	32.76	27.12	34.43	34.01	34.43
20:00	27.91	30.31	31.12	31.93	26.73	32.76	32.76	33.59
21:00	27.12	29.40	30.31	31.12	26.34	31.20	31.93	32.76
22:00	26.73	29.00	29.50	30.71	26.34	30.25	30.71	31.93
23:00	26.34	28.31	29.10	29.90	25.95	29.50	29.90	31.12
0:00	25.95	27.91	28.31	29.50	25.56	29.20	29.50	30.71
1:00	25.95	27.52	27.91	29.10	25.17	28.02	28.70	30.31
2:00	25.56	26.73	27.52	28.70	24.79	27.59	28.31	29.50
3:00	25.17	26.34	27.12	27.91	24.40	27.02	27.91	29.10
4:00	25.17	26.01	26.34	27.52	24.40	26.69	27.52	28.70
5:00	25.17	25.95	26.34	27.12	24.01	26.23	27.12	28.31
6:00	25.17	25.95	25.95	26.73	23.63	25.87	26.73	27.91
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	30.60	30.78	30.90	31.20	30.38	30.76	30.96	31.31
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	41.99	38.32	37.88	36.57	41.99	38.32	37.44	36.57
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	24.01	25.56	25.56	26.34	23.63	25.17	25.56	26.34

¹⁵ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเฉียงใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3 มิถุนายน 2553 – 5 มิถุนายน 2553

¹⁶ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 15 มิถุนายน 2553 – 17 มิถุนายน 2553

Time (hr.)	ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ (N) ¹⁷				ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออก (E) ¹⁸			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	8.73	9.52	8.73	8.73	7.17	8.21	9.12	9.91
7:00	7.56	9.52	8.34	8.73	7.56	8.37	8.73	9.91
8:00	7.73	9.52	8.73	8.73	8.73	8.42	8.73	9.91
9:00	7.17	9.12	8.34	8.73	11.90	9.81	9.12	9.91
10:00	7.56	8.73	7.95	8.34	18.13	11.10	10.70	10.34
11:00	9.52	8.73	8.34	8.34	16.85	13.52	12.71	10.72
12:00	12.31	9.42	8.73	8.73	20.32	14.76	13.93	13.01
13:00	12.31	10.23	9.52	9.52	23.52	16.85	16.01	14.57
14:00	12.71	10.94	10.31	9.91	20.77	17.70	16.85	15.78
15:00	11.90	11.01	10.31	10.31	21.22	18.13	17.27	15.78
16:00	11.50	10.97	10.70	10.31	15.17	17.27	16.85	16.48
17:00	10.31	10.31	10.70	10.31	13.93	16.43	16.01	16.12
18:00	9.52	10.31	9.91	10.31	12.31	15.59	15.17	15.78
19:00	7.17	8.01	9.52	9.52	11.50	14.76	14.34	14.76
20:00	6.79	7.51	8.73	9.12	10.31	13.21	13.52	13.93
21:00	6.79	7.37	8.34	8.73	10.31	12.34	12.71	13.52
22:00	6.40	7.16	7.95	8.34	9.52	11.72	12.31	13.12
23:00	6.40	7.02	7.56	7.95	8.73	10.79	11.90	12.71
0:00	6.40	6.57	7.17	7.56	8.34	10.01	11.50	12.31
1:00	6.40	6.51	7.17	7.56	7.95	9.82	11.10	11.90
2:00	6.40	6.72	7.17	7.56	7.95	9.21	10.31	11.50
3:00	6.40	6.59	6.79	7.17	7.56	9.00	10.31	11.10
4:00	6.01	6.59	6.79	7.17	7.56	8.67	9.91	10.70
5:00	6.01	6.40	6.79	7.17	7.17	8.21	9.52	10.31
6:00	6.40	6.79	6.40	6.40	6.79	8.00	9.12	9.91
7:00	6.79	6.79	6.40	6.40	7.56	8.73	8.73	9.52
8:00	8.34	7.17	6.79	6.79	10.31	9.52	9.12	11.78
9:00	9.91	8.43	7.56	7.17	15.17	11.50	10.70	10.57
10:00	11.50	9.82	8.73	8.34	18.13	14.76	13.12	12.23
11:00	13.93	11.01	10.31	9.52	21.67	16.43	15.17	14.00
12:00	10.70	11.00	10.70	10.31	23.52	18.13	16.85	15.87
13:00	7.17	9.52	9.51	9.91	21.67	19.88	18.57	17.56
14:00	7.56	8.73	8.73	9.12	19.00	19.88	18.57	17.57
15:00	8.34	8.73	8.73	8.73	12.31	18.57	17.70	17.67
16:00	9.91	8.73	8.73	8.73	11.50	16.43	16.01	16.07
17:00	10.31	8.73	8.73	8.73	11.50	15.17	14.76	15.59
18:00	9.52	8.73	8.73	8.73	9.12	14.34	13.93	14.76
19:00	7.56	8.92	8.34	8.73	7.56	11.00	12.31	13.52
20:00	6.79	6.91	7.95	8.34	7.95	10.00	11.10	12.71
21:00	6.79	6.91	7.56	7.95	7.95	8.79	10.31	11.90
22:00	6.79	7.21	7.56	7.95	7.95	9.00	9.91	11.50
23:00	6.79	6.75	7.17	7.56	7.95	8.87	9.91	11.10
0:00	6.40	6.61	7.17	7.56	7.95	8.53	9.52	10.70
1:00	6.01	6.45	7.17	7.17	7.95	8.49	9.12	10.31
2:00	6.01	6.21	6.79	7.17	7.56	8.37	9.12	9.91
3:00	6.17	6.21	6.79	7.17	7.56	8.23	8.73	9.91
4:00	6.56	6.45	6.79	7.17	7.17	8.01	8.73	9.52
5:00	6.56	6.38	6.79	7.17	7.17	7.79	8.34	9.12
6:00	7.17	6.59	6.79	7.17	7.17	7.51	8.34	9.12
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	399.98	400.56	401.51	408.84	574.62	589.83	596.42	616.50
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	13.93	11.01	10.70	10.31	23.52	19.88	18.57	17.67
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	6.01	6.21	6.40	6.40	6.79	7.51	8.34	9.12

¹⁷ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลอง ทิศเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 มิถุนายน 2553 – 23 มิถุนายน 2553

¹⁸ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออก กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 มิถุนายน 2553 – 27 มิถุนายน 2553

Time (hr.)	ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศใต้ (S) ¹⁹				ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตก (W) ²⁰			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	8.34	8.34	8.34	8.73	18.57	12.31	11.50	11.37
7:00	7.95	7.56	7.56	8.34	21.67	13.93	13.12	12.13
8:00	10.70	8.73	9.12	9.12	22.59	15.17	14.34	13.57
9:00	13.12	11.10	11.10	11.10	22.13	16.01	15.17	14.56
10:00	16.01	13.52	13.50	12.71	18.57	16.01	15.17	14.78
11:00	19.44	15.59	15.25	14.76	18.13	15.59	15.17	14.76
12:00	21.22	16.85	16.31	15.59	15.17	15.17	14.76	14.76
13:00	18.50	16.85	16.57	15.59	13.12	14.76	14.34	14.34
14:00	19.88	16.85	16.73	16.43	10.70	13.93	13.52	13.93
15:00	15.17	18.13	17.47	17.27	9.12	12.71	12.71	13.12
16:00	11.90	16.01	16.43	15.59	8.34	10.87	11.90	12.71
17:00	12.31	14.76	15.17	14.76	7.56	9.53	11.10	11.90
18:00	11.50	13.93	14.34	14.34	7.17	9.01	10.31	11.50
19:00	9.52	13.12	13.52	13.52	6.79	8.15	9.52	11.10
20:00	8.73	12.31	12.71	13.12	6.40	7.34	9.12	10.31
21:00	7.95	11.50	11.90	12.31	6.01	7.12	8.34	9.91
22:00	7.95	11.10	11.10	11.90	6.01	6.73	7.95	9.52
23:00	7.56	10.31	10.70	11.50	5.63	6.38	7.56	9.12
0:00	7.17	9.91	9.91	11.10	5.24	6.28	7.17	8.73
1:00	7.17	9.52	9.52	10.31	5.24	6.38	7.01	8.34
2:00	6.79	9.12	9.52	10.31	6.01	6.47	6.79	8.34
3:00	6.79	9.12	9.12	9.91	8.34	8.34	7.56	9.12
4:00	6.40	8.73	8.73	9.52	13.93	10.70	9.91	11.10
5:00	6.40	8.34	8.34	9.12	16.01	13.52	12.71	12.01
6:00	6.01	8.34	8.34	9.12	21.67	16.01	14.76	13.24
7:00	6.40	7.95	8.34	8.73	22.13	17.27	16.01	14.02
8:00	8.73	8.34	8.34	9.12	22.20	17.27	16.43	15.25
9:00	12.31	10.31	10.70	10.70	22.59	17.70	16.43	15.78
10:00	15.59	12.71	12.71	12.71	21.67	18.13	17.27	16.73
11:00	17.70	15.17	14.76	14.34	19.88	18.13	17.27	16.85
12:00	20.32	16.85	16.37	16.01	17.27	17.27	17.27	16.43
13:00	21.22	16.85	16.21	15.59	13.52	16.85	16.85	15.78
14:00	16.85	17.27	16.76	16.01	11.50	15.59	15.59	14.79
15:00	11.90	16.01	16.43	15.59	9.12	14.34	13.93	13.79
16:00	8.34	14.34	14.76	13.93	8.34	13.12	12.71	13.57
17:00	7.95	12.71	13.12	13.12	7.56	11.23	11.90	12.62
18:00	7.95	11.50	11.90	12.31	7.17	9.87	10.70	12.12
19:00	7.56	10.70	11.10	11.90	7.17	8.37	10.31	11.52
20:00	7.17	9.91	10.31	11.10	7.17	8.23	9.91	11.01
21:00	7.17	9.52	9.91	10.70	6.79	8.01	9.12	10.78
22:00	7.17	9.12	9.52	10.31	6.79	7.87	8.73	10.31
23:00	7.17	8.73	9.12	9.91	6.79	7.80	8.34	9.91
0:00	6.79	8.73	8.73	9.52	6.01	7.21	8.34	9.52
1:00	6.79	8.34	8.34	9.52	6.01	6.78	7.95	9.12
2:00	6.79	8.34	8.34	9.12	6.40	7.95	7.56	9.12
3:00	6.40	7.95	7.95	8.73	8.34	9.12	8.73	9.91
4:00	6.40	7.56	7.95	8.73	13.52	11.90	11.10	12.31
5:00	6.01	7.56	7.56	8.34	16.01	14.34	13.52	14.76
6:00	6.01	7.17	7.56	7.95	20.32	16.43	16.01	16.85
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	511.17	563.28	568.09	580.06	594.39	579.20	583.49	607.12
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	21.22	18.13	17.47	17.27	22.59	18.13	17.27	16.85
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	6.01	7.17	7.56	7.95	5.24	6.28	6.79	8.34

¹⁹ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลอง ทิศใต้ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2553 – 3 กรกฎาคม 2553

²⁰ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตก กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม 2553 – 7 กรกฎาคม 2553

Time (hr.)	ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (EN) ²¹				ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ES) ²²			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	6.40	8.34	8.34	9.12	6.40	8.34	8.34	9.12
7:00	6.40	8.34	7.95	8.73	6.40	8.95	8.34	8.73
8:00	9.12	8.34	8.34	9.12	9.12	9.34	8.73	9.12
9:00	14.76	10.31	9.52	9.91	14.76	10.52	10.31	9.91
10:00	19.00	13.12	11.50	11.50	19.00	14.50	13.12	11.50
11:00	18.13	15.17	13.93	13.52	18.13	16.93	15.17	13.52
12:00	23.52	15.17	16.01	15.59	23.52	17.01	17.27	15.59
13:00	19.00	18.57	17.27	16.85	19.00	18.27	18.57	16.85
14:00	24.46	19.88	18.57	18.13	24.46	20.57	19.88	18.13
15:00	17.70	19.00	18.13	17.27	17.70	19.51	19.00	17.27
16:00	10.70	17.27	16.43	16.01	10.70	17.43	17.27	16.01
17:00	11.50	15.59	14.76	15.17	11.50	15.76	15.59	15.17
18:00	5.24	7.17	7.17	8.34	11.50	13.73	14.76	14.76
19:00	5.24	6.79	7.17	7.95	9.91	13.02	13.93	13.93
20:00	9.12	9.31	10.51	11.12	9.12	12.01	13.12	13.12
21:00	8.73	11.33	11.90	12.71	9.12	11.40	12.31	12.71
22:00	8.73	10.72	11.50	12.31	8.34	11.10	11.50	12.31
23:00	8.34	10.01	11.10	11.90	7.95	10.50	11.10	11.90
0:00	7.95	9.59	10.31	11.50	7.95	9.51	10.31	11.10
1:00	7.56	9.11	9.91	11.10	8.34	9.51	10.31	10.70
2:00	7.56	8.78	9.91	10.70	8.34	9.52	9.91	10.31
3:00	7.56	8.71	9.52	10.31	7.95	9.52	9.52	10.31
4:00	7.17	8.71	9.12	9.91	7.56	9.12	9.12	9.91
5:00	7.17	8.72	8.73	9.91	7.17	8.73	9.12	9.52
6:00	9.91	13.93	13.53	13.12	7.17	8.73	8.73	9.52
7:00	9.12	13.12	13.12	12.31	7.56	8.73	9.12	9.52
8:00	9.12	12.71	12.31	11.90	9.52	9.91	9.70	10.31
9:00	8.34	12.31	11.50	11.10	13.93	12.90	12.12	11.90
10:00	7.95	11.90	11.10	10.70	19.44	15.93	13.93	13.59
11:00	7.95	11.10	10.31	9.91	20.77	17.01	16.27	15.59
12:00	8.34	10.70	10.31	9.91	23.52	19.13	18.44	17.27
13:00	8.34	10.31	9.91	9.52	25.42	17.43	16.27	16.01
14:00	7.95	10.31	9.52	9.10	12.31	16.85	16.01	16.43
15:00	7.56	9.91	9.12	8.79	18.57	16.59	16.01	15.91
16:00	7.17	9.52	9.12	8.12	13.52	14.93	14.76	14.34
17:00	7.17	8.73	8.73	8.27	10.70	13.92	13.52	13.01
18:00	10.90	13.93	14.34	13.93	10.31	12.01	12.71	13.12
19:00	8.73	12.79	13.12	13.52	8.73	11.10	11.90	12.31
20:00	8.34	10.72	12.31	12.71	8.34	10.20	11.10	11.90
21:00	7.95	10.12	11.50	12.31	7.56	9.61	10.31	11.10
22:00	7.56	9.57	11.10	11.90	7.17	9.52	9.91	10.70
23:00	6.79	8.51	10.31	11.50	7.17	9.12	9.52	10.31
0:00	6.40	7.97	9.91	10.70	6.79	8.53	9.12	9.91
1:00	6.40	8.12	9.52	10.31	6.40	8.34	8.73	9.52
2:00	7.17	8.01	8.73	9.91	6.40	7.95	8.34	9.12
3:00	7.17	8.02	8.73	9.52	6.01	7.56	7.95	8.73
4:00	7.17	8.00	8.73	9.52	5.63	7.56	7.56	8.34
5:00	7.17	7.89	8.34	9.12	5.24	7.17	7.17	8.34
6:00	5.24	6.79	7.17	7.95	5.24	6.59	7.17	7.95
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	466.97	533.04	539.99	554.33	557.36	592.12	592.97	596.25
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	24.46	19.88	18.57	18.13	25.42	20.57	19.88	18.13
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	5.24	6.79	7.17	7.95	5.24	6.59	7.17	7.95

²¹ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 6 เมษายน 2553 – 8 เมษายน 2553

²² ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 17 เมษายน 2553 – 19 เมษายน 2553

Time (hr.)	ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (WS) ²³				ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีไม่มีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (WN) ²⁴			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air. (°C) medium thermal mass	inside air. (°C) high thermal mass	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air. (°C) medium thermal mass	inside air. (°C) high thermal mass
6:00	6.01	7.17	7.56	8.34	16.01	11.50	10.70	10.70
7:00	7.17	7.17	7.56	8.34	16.43	12.71	11.90	11.90
8:00	11.90	10.00	9.12	9.52	16.43	13.50	12.71	12.31
9:00	16.01	12.27	11.50	11.50	14.34	13.72	13.12	12.71
10:00	18.57	14.45	13.52	13.12	13.93	13.62	13.12	12.71
11:00	17.70	16.76	14.76	13.93	12.71	13.27	12.71	12.31
12:00	19.00	17.87	16.43	15.17	12.31	12.73	12.31	11.90
13:00	14.76	16.12	15.17	13.93	11.10	12.21	11.90	11.50
14:00	11.90	15.00	14.34	13.52	9.52	11.10	11.10	11.10
15:00	12.31	14.12	13.52	13.12	8.73	10.70	10.70	10.70
16:00	14.76	13.78	13.52	13.12	8.34	9.91	9.91	10.31
17:00	14.76	13.56	13.52	13.12	7.17	9.52	9.52	9.91
18:00	13.12	13.00	13.52	13.12	6.40	8.73	8.73	9.52
19:00	11.10	12.31	13.12	12.71	6.40	8.01	8.34	9.12
20:00	9.52	11.10	12.21	12.31	6.01	7.07	7.95	8.73
21:00	8.73	10.00	11.30	11.90	6.40	7.12	7.56	8.34
22:00	7.95	9.31	10.90	11.10	6.01	7.01	7.56	7.95
23:00	7.95	8.91	10.31	10.70	6.01	6.57	7.17	7.95
0:00	7.56	8.52	9.91	10.31	6.01	6.28	7.17	7.56
1:00	7.17	8.72	9.32	9.91	5.24	6.21	6.79	7.56
2:00	7.17	8.53	9.00	9.52	5.63	6.29	6.79	7.17
3:00	6.79	8.31	8.73	9.12	7.17	6.39	6.79	7.56
4:00	6.40	7.16	8.14	9.12	10.70	8.12	8.34	8.73
5:00	6.40	7.16	7.95	8.73	14.34	11.10	10.70	11.10
6:00	6.40	7.56	7.95	8.34	16.43	13.52	13.12	12.71
7:00	7.17	9.00	7.95	8.34	13.52	14.34	13.93	13.12
8:00	10.31	11.12	8.34	8.73	17.70	14.42	13.52	13.12
9:00	15.17	13.79	10.31	10.31	15.17	14.76	14.76	13.93
10:00	19.44	14.57	12.71	11.90	19.00	15.17	15.17	14.76
11:00	18.57	15.56	14.76	13.52	16.01	17.02	15.59	14.76
12:00	19.88	16.12	15.17	13.93	11.90	15.87	15.17	14.34
13:00	11.50	15.78	14.76	13.52	9.12	14.00	13.93	13.12
14:00	14.76	15.45	14.34	13.12	8.73	12.31	12.71	12.31
15:00	15.17	14.82	13.93	13.12	7.56	11.10	11.50	11.50
16:00	16.43	15.12	13.93	13.52	7.17	10.31	10.70	10.70
17:00	14.34	14.11	13.93	13.52	7.17	9.52	9.91	10.31
18:00	12.31	13.12	13.22	13.12	7.17	8.57	9.12	9.91
19:00	9.91	10.90	12.21	12.71	6.79	8.21	8.73	9.52
20:00	9.52	10.50	11.50	11.90	6.79	7.72	8.34	9.12
21:00	8.73	9.70	11.00	11.50	6.40	7.48	8.34	8.73
22:00	7.56	8.91	10.31	11.10	6.40	7.47	7.95	8.73
23:00	7.56	8.52	9.91	10.31	6.40	7.21	7.56	8.34
0:00	7.56	8.12	9.52	9.91	6.40	7.03	7.56	7.95
1:00	6.79	7.14	8.73	9.52	6.01	6.78	7.17	7.56
2:00	6.40	7.14	8.34	9.12	6.40	6.61	7.17	7.56
3:00	6.40	7.36	8.34	8.73	7.56	6.29	6.79	7.56
4:00	6.40	7.56	7.95	8.34	9.52	7.17	7.17	7.56
5:00	6.40	7.17	7.56	8.34	11.90	8.14	8.34	8.34
6:00	6.40	7.17	7.56	7.95	13.93	9.21	9.91	9.91
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	535.79	547.61	549.16	549.70	484.49	493.62	497.75	504.82
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	19.88	17.87	16.43	15.17	19.00	17.02	15.59	14.76
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	6.01	7.14	7.56	7.95	5.24	6.21	6.79	7.17

²³ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเฉียงใต้ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 เมษายน 2553 – 23 เมษายน 2553

²⁴ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเหนือ กรณีไม่มีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 เมษายน 2553 – 27 เมษายน 2553

Time (hr.)	ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศเหนือ (N) ²⁵				ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออก (E) ²⁶			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	7.56	7.95	7.95	7.93	6.40	7.17	7.56	7.17
7:00	11.90	7.95	7.56	7.41	6.40	6.79	7.56	6.79
8:00	15.17	8.34	7.95	7.01	8.34	7.17	7.56	7.17
9:00	16.43	10.31	9.12	8.47	11.50	7.95	7.95	7.56
10:00	20.77	12.31	10.70	10.12	12.71	9.52	8.73	8.73
11:00	22.59	13.93	12.71	10.97	14.34	11.10	9.91	9.91
12:00	23.05	16.01	14.76	12.32	15.17	12.71	11.10	11.50
13:00	22.13	17.70	16.01	13.79	16.01	13.52	11.90	12.31
14:00	12.71	18.57	17.27	15.12	16.85	14.76	13.12	13.52
15:00	15.17	16.85	16.01	15.49	16.85	15.59	13.93	14.34
16:00	14.76	15.59	15.17	15.17	14.34	15.17	13.93	14.34
17:00	12.31	14.59	15.17	15.17	12.71	14.76	13.93	13.93
18:00	10.70	12.76	14.24	14.34	11.50	13.12	13.93	13.12
19:00	9.12	11.93	13.12	13.52	9.91	11.50	13.12	12.71
20:00	9.91	10.72	12.01	13.62	8.73	10.70	11.90	11.90
21:00	8.73	10.72	12.31	12.71	7.95	9.91	11.10	11.10
22:00	7.95	9.81	11.50	12.31	7.56	9.52	10.31	10.70
23:00	7.56	9.21	10.70	11.50	7.17	8.73	9.52	10.31
0:00	7.17	8.82	10.31	11.10	6.40	8.34	9.12	9.91
1:00	7.17	8.21	9.91	10.70	6.01	7.95	8.34	9.12
2:00	6.79	8.12	9.12	10.61	5.63	7.56	7.95	8.73
3:00	6.40	7.21	8.73	9.91	5.24	7.17	7.56	8.34
4:00	6.01	7.02	8.34	9.52	5.24	7.17	7.17	7.95
5:00	6.01	7.12	7.95	9.12	4.86	6.79	6.79	7.56
6:00	6.40	7.50	7.95	8.73	4.86	6.40	7.56	6.40
7:00	11.90	7.95	7.56	8.34	5.24	6.40	7.17	6.40
8:00	10.70	8.34	7.56	8.23	7.17	6.79	7.17	6.40
9:00	15.17	9.91	8.73	8.57	13.52	9.12	8.34	7.56
10:00	17.27	12.31	10.70	9.32	16.43	11.90	10.31	10.31
11:00	18.57	13.93	12.71	10.92	19.88	14.34	12.31	12.31
12:00	18.13	15.17	13.52	12.87	19.44	16.01	13.93	14.34
13:00	19.88	16.01	14.76	14.34	18.13	16.85	14.76	15.17
14:00	19.88	16.85	16.01	15.59	19.44	17.27	15.59	15.59
15:00	19.88	17.27	16.85	16.01	17.27	17.70	16.01	16.43
16:00	17.27	17.27	16.85	16.01	16.85	17.27	16.01	16.43
17:00	15.59	16.85	16.43	16.01	14.76	16.85	16.01	16.01
18:00	13.12	16.01	15.59	15.17	13.52	15.17	16.01	15.17
19:00	9.91	14.34	14.34	14.34	11.50	14.34	14.76	14.76
20:00	7.95	11.71	13.12	13.82	10.70	13.12	13.93	13.93
21:00	6.79	9.71	11.90	12.81	9.52	11.50	13.12	13.12
22:00	6.40	8.72	11.10	11.90	8.73	10.70	12.31	12.71
23:00	6.01	8.01	9.91	11.10	8.73	10.31	11.50	12.31
0:00	5.63	7.57	9.12	10.31	8.34	9.91	11.10	11.50
1:00	5.24	7.21	8.34	9.91	7.56	9.12	10.31	11.10
2:00	4.86	6.73	7.95	9.52	7.17	8.73	9.91	10.70
3:00	4.48	6.38	7.56	8.83	6.79	7.34	9.52	10.31
4:00	4.48	6.34	7.17	8.34	6.79	7.34	9.12	9.91
5:00	4.09	6.27	6.79	7.95	6.40	7.34	8.73	9.52
6:00	4.48	6.04	6.40	7.76	6.40	7.34	8.34	9.12
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	562.15	546.15	557.54	564.63	522.96	533.83	537.82	546.23
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	23.05	18.57	17.27	16.01	19.88	17.70	16.01	16.43
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	4.09	6.04	6.40	7.01	4.86	6.40	6.79	6.40

²⁵ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลอง ทิศเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 เมษายน 2553 – 2 พฤษภาคม 2553

²⁶ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออก กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2553

Time (hr.)	ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคาทิศใต้ (S) ²⁷				ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตก (W) ²⁸			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	6.01	6.40	6.40	6.79	13.59	8.31	7.17	6.79
7:00	6.01	6.01	6.01	6.40	16.27	8.40	7.17	6.79
8:00	8.73	6.79	6.40	7.17	17.13	8.97	7.17	6.79
9:00	11.90	8.34	7.95	8.34	17.52	9.81	7.56	7.17
10:00	12.71	9.91	9.52	9.52	17.52	10.93	8.34	8.34
11:00	15.17	10.31	9.91	9.52	16.50	12.21	10.31	10.31
12:00	15.17	11.50	11.10	10.70	14.34	13.21	12.31	11.90
13:00	18.57	12.71	12.31	11.90	12.71	14.67	13.12	12.71
14:00	17.27	14.93	13.93	12.71	6.79	15.27	14.34	13.93
15:00	9.52	13.12	12.71	12.31	6.40	15.47	14.76	14.34
16:00	13.93	12.71	12.71	12.31	6.40	15.31	14.76	14.34
17:00	13.93	12.71	12.71	12.31	6.40	14.82	14.34	13.93
18:00	10.70	11.90	12.31	12.31	6.01	13.57	13.12	12.71
19:00	6.79	10.92	11.10	11.50	6.01	8.21	11.50	11.90
20:00	5.24	8.78	9.52	10.31	6.01	7.37	9.31	10.70
21:00	5.63	7.32	8.34	9.52	6.01	6.97	8.52	9.91
22:00	5.63	7.00	7.56	8.73	6.01	6.68	7.73	9.12
23:00	5.63	6.82	7.17	8.34	5.63	6.57	7.34	8.34
0:00	6.01	6.45	6.79	7.95	5.63	6.57	6.95	7.95
1:00	6.01	6.40	6.79	7.56	5.63	6.57	6.86	7.56
2:00	6.01	6.40	6.79	7.17	6.40	6.21	7.06	7.17
3:00	6.01	6.40	6.40	7.17	8.34	6.73	6.93	7.17
4:00	5.63	6.01	6.40	6.79	9.91	6.57	7.17	6.79
5:00	5.63	6.01	6.40	6.79	13.93	7.21	6.79	6.79
6:00	5.24	6.01	5.63	6.40	15.59	7.31	6.79	6.40
7:00	6.01	6.01	5.63	6.40	17.27	7.53	6.79	6.40
8:00	7.17	6.01	5.63	6.40	18.13	7.68	6.79	6.40
9:00	7.95	6.01	6.01	6.40	20.32	8.22	7.17	7.17
10:00	9.91	6.79	6.79	6.79	19.32	9.01	8.34	8.34
11:00	10.31	7.56	7.56	7.56	19.00	10.54	9.91	9.52
12:00	13.52	8.34	8.34	8.34	14.34	11.87	11.50	11.10
13:00	19.00	9.91	10.31	9.52	12.71	13.45	13.12	12.71
14:00	16.01	11.50	11.50	10.70	6.79	15.45	14.34	13.93
15:00	15.59	11.90	12.31	11.10	6.40	17.78	16.01	15.17
16:00	15.59	12.31	12.71	11.50	6.40	17.87	17.27	16.43
17:00	13.12	12.53	12.71	11.90	6.40	16.35	16.85	16.43
18:00	10.70	11.90	11.90	11.50	6.01	12.47	15.47	16.01
19:00	8.73	11.10	10.70	10.70	6.01	9.87	13.34	14.34
20:00	8.34	9.92	10.31	10.31	6.01	7.82	11.99	13.31
21:00	7.95	9.02	9.52	9.91	5.63	7.67	10.31	11.70
22:00	7.56	8.57	9.12	9.52	5.63	7.57	9.52	10.91
23:00	8.73	8.34	8.34	9.12	5.63	7.17	8.73	10.12
0:00	7.95	8.31	8.34	8.73	5.63	7.17	8.34	8.73
1:00	7.56	7.73	7.95	8.73	5.63	7.17	7.95	7.95
2:00	6.79	7.41	7.56	8.34	5.63	7.17	7.56	7.56
3:00	6.40	7.07	7.17	7.95	6.79	7.17	7.17	7.17
4:00	5.63	6.58	7.17	7.56	8.34	7.17	7.17	6.79
5:00	5.24	6.40	6.79	7.17	11.50	8.54	6.79	6.40
6:00	4.86	6.01	6.40	6.79	16.43	9.21	6.79	6.40
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	459.70	429.09	433.63	443.46	494.63	485.84	486.64	490.84
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	19.00	14.93	13.93	12.71	20.32	17.87	17.27	16.43
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	4.86	6.01	5.63	6.40	5.63	6.21	6.79	6.40

²⁷ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลอง ทิศใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 พฤษภาคม 2553 – 1 มิถุนายน 2553

²⁸ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตก กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 11 มิถุนายน 2553 – 13 มิถุนายน 2553

Time (hr.)	ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (EN) ²⁹				ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ES) ³⁰			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass	outside temp.(°C)	inside air.(°C) low thermal mass	inside air.(°C) medium thermal mass	inside air.(°C) high thermal mass
6:00	8.73	8.73	9.52	9.52	10.70	10.70	10.70	10.70
7:00	7.95	8.73	8.34	9.52	7.56	8.34	7.95	9.12
8:00	11.10	9.52	9.12	9.91	11.50	9.12	8.73	9.91
9:00	13.52	11.50	10.70	11.10	16.43	11.50	11.10	11.90
10:00	19.00	13.12	12.31	12.31	19.44	13.93	13.52	13.93
11:00	20.77	15.59	14.76	14.34	23.52	16.43	16.01	15.59
12:00	22.13	17.70	16.85	16.01	20.32	17.70	17.27	16.85
13:00	19.00	18.57	17.70	16.85	23.52	19.00	18.57	17.70
14:00	17.27	19.00	18.13	17.27	22.59	19.00	18.57	17.70
15:00	14.76	17.98	17.27	16.43	16.85	19.88	19.00	18.13
16:00	12.71	16.43	16.43	15.59	11.90	17.27	17.27	16.43
17:00	11.10	15.17	14.76	14.76	11.50	16.01	16.01	15.59
18:00	10.70	13.93	14.34	14.34	9.91	14.76	14.76	14.76
19:00	9.52	12.75	13.12	13.52	7.17	13.12	13.12	13.93
20:00	9.12	11.92	12.31	13.12	6.79	11.10	11.50	12.71
21:00	8.73	11.27	11.90	12.71	6.79	9.91	10.31	11.50
22:00	8.73	10.45	11.50	12.31	6.79	9.12	9.52	10.70
23:00	8.34	10.03	11.10	11.90	6.79	8.34	8.73	10.31
0:00	7.95	9.81	10.31	11.50	6.79	8.00	8.34	9.52
1:00	7.56	8.90	9.91	11.10	7.17	7.95	8.34	9.52
2:00	7.56	8.85	9.91	10.70	6.79	7.56	7.95	9.12
3:00	7.56	8.72	9.52	10.31	6.79	7.56	7.95	8.73
4:00	7.17	8.59	9.12	9.91	6.79	7.32	7.56	8.34
5:00	7.17	8.25	8.73	9.91	6.79	7.21	7.56	8.34
6:00	6.79	8.21	8.73	9.52	6.40	7.17	7.56	7.95
7:00	7.56	8.34	8.34	9.12	7.17	7.17	7.56	7.95
8:00	10.31	9.00	8.73	9.52	10.70	8.34	8.34	8.73
9:00	13.12	11.10	10.31	11.10	14.76	9.91	10.31	10.70
10:00	16.85	13.12	12.31	12.31	17.70	11.50	11.90	11.90
11:00	19.44	14.56	13.93	13.93	19.44	12.71	13.12	13.12
12:00	20.32	16.85	16.01	15.17	21.22	14.34	14.76	14.76
13:00	19.88	17.27	16.85	16.01	23.05	15.59	16.01	15.59
14:00	14.76	16.85	16.85	16.01	22.13	16.85	16.85	16.01
15:00	13.12	16.01	16.01	15.17	21.22	17.70	17.27	16.43
16:00	12.31	15.17	14.76	14.76	16.43	18.57	17.70	16.85
17:00	13.52	14.76	14.76	14.76	15.59	17.70	17.27	16.43
18:00	10.90	13.93	14.34	13.93	13.12	16.85	16.43	16.01
19:00	8.73	12.74	13.12	13.52	11.10	15.17	15.17	15.17
20:00	8.34	11.82	12.31	12.71	9.52	13.13	13.93	14.34
21:00	7.95	11.01	11.50	12.31	9.12	11.90	12.71	13.52
22:00	7.56	10.32	11.10	11.90	8.34	11.10	11.90	13.12
23:00	6.79	10.01	10.31	11.50	8.34	9.91	11.10	12.31
0:00	6.40	9.74	9.91	10.70	7.56	9.91	10.70	11.90
1:00	6.40	9.01	9.52	10.31	7.17	9.52	9.91	11.10
2:00	7.17	8.93	8.73	9.91	7.56	9.12	9.52	10.70
3:00	7.17	8.83	8.73	9.52	6.79	8.34	9.12	10.31
4:00	7.17	8.69	8.73	9.52	6.40	7.95	8.73	9.91
5:00	7.17	8.20	8.34	9.12	6.01	7.56	8.34	9.52
6:00	7.17	8.23	8.34	9.12	5.63	7.56	7.56	9.12
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	545.05	588.21	590.23	606.39	583.66	586.40	594.11	614.48
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	22.13	19.00	18.13	17.27	23.52	19.88	19.00	18.13
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	6.40	8.20	8.34	9.12	5.63	7.17	7.56	7.95

²⁹ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 4 พฤษภาคม 2553 – 6 พฤษภาคม 2553

³⁰ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 26 พฤษภาคม 2553 – 28 พฤษภาคม 2553

Time (hr.)	ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (WS) ³¹				ผลต่างอุณหภูมิสะสมรายชั่วโมง การทดลองกรณีมีเชิงชายหลังคา ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (WN) ³²			
	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air. (°C) medium thermal mass	inside air. (°C) high thermal mass	outside temp. (°C)	inside air. (°C) low thermal mass	inside air. (°C) medium thermal mass	inside air. (°C) high thermal mass
6:00	6.01	7.95	7.95	8.73	6.79	7.56	7.56	8.34
7:00	6.79	7.56	7.56	8.34	6.79	7.17	7.56	8.34
8:00	9.91	8.34	8.34	9.12	10.31	7.95	7.95	8.73
9:00	16.01	10.31	9.91	10.31	14.76	9.91	9.91	10.31
10:00	18.57	12.71	11.90	12.31	17.70	11.90	12.31	12.31
11:00	21.22	15.17	13.93	14.34	21.67	14.34	13.93	13.93
12:00	20.77	16.85	16.01	15.59	23.52	16.01	16.01	15.17
13:00	21.67	17.70	16.85	16.01	23.52	17.27	16.85	16.01
14:00	23.99	19.44	19.00	17.70	22.13	18.57	18.13	17.27
15:00	21.22	19.44	19.00	17.70	21.22	18.57	18.13	17.27
16:00	16.43	19.00	19.00	17.70	17.27	19.00	18.13	17.27
17:00	14.34	18.13	18.13	16.85	14.76	17.70	17.27	16.43
18:00	12.71	16.85	16.85	16.43	13.52	16.43	16.43	16.01
19:00	11.00	16.01	16.01	15.59	11.90	15.17	15.17	15.17
20:00	10.31	14.36	14.76	14.76	10.31	13.53	13.93	14.34
21:00	9.12	12.21	13.52	14.34	9.52	12.32	13.12	13.93
22:00	8.34	11.90	12.71	13.52	8.73	11.87	12.31	13.12
23:00	7.95	11.10	11.90	12.71	8.34	10.92	11.50	12.71
0:00	8.34	10.70	11.50	12.31	7.95	10.01	11.10	11.90
1:00	7.56	9.81	10.70	11.90	7.56	9.31	10.31	11.50
2:00	7.56	9.52	10.31	11.50	7.56	9.59	9.91	11.10
3:00	7.95	9.02	9.91	10.70	7.17	9.02	9.52	10.70
4:00	7.17	8.93	9.12	10.31	7.17	7.56	9.52	10.31
5:00	6.79	8.59	9.12	9.91	6.79	7.73	9.12	9.91
6:00	6.40	8.49	8.73	9.52	6.40	7.56	8.73	9.52
7:00	7.17	8.34	8.34	9.52	7.56	8.34	8.34	9.12
8:00	11.50	9.52	9.52	10.31	10.70	9.12	9.12	9.91
9:00	16.01	12.31	11.50	12.31	16.43	11.10	11.10	11.50
10:00	19.00	14.76	13.52	13.93	19.88	13.12	13.12	13.12
11:00	21.22	16.85	15.59	16.01	22.59	14.34	14.34	13.93
12:00	22.13	17.70	16.85	16.43	23.05	16.01	15.59	15.17
13:00	22.13	18.57	17.70	16.85	22.13	17.70	17.27	16.43
14:00	22.59	19.88	19.00	18.13	23.99	19.00	18.13	17.27
15:00	22.13	20.32	19.88	18.57	20.77	19.88	19.00	18.13
16:00	19.88	19.00	19.00	17.70	17.27	20.32	19.44	18.57
17:00	14.76	17.27	17.27	16.43	10.31	19.44	18.57	17.70
18:00	12.71	13.53	15.59	15.59	9.91	17.13	17.70	17.27
19:00	10.00	12.59	13.93	14.76	9.12	16.43	16.01	16.43
20:00	9.91	12.31	13.12	13.93	8.73	14.76	14.76	15.59
21:00	9.12	11.40	12.31	13.12	8.34	13.20	13.93	14.76
22:00	8.73	11.00	11.50	12.71	8.34	12.25	12.71	13.93
23:00	8.34	10.31	11.10	11.90	7.95	11.50	11.90	13.12
0:00	7.95	9.91	10.31	11.50	7.56	11.20	11.50	12.71
1:00	7.95	9.52	9.91	11.10	7.17	10.02	10.70	12.31
2:00	7.56	8.73	9.52	10.70	6.79	9.59	10.31	11.50
3:00	7.17	8.34	9.12	9.91	6.40	9.02	9.91	11.10
4:00	7.17	8.01	8.34	9.52	6.40	8.69	9.52	10.70
5:00	7.17	7.95	8.34	9.12	6.01	8.23	9.12	10.31
6:00	7.17	7.95	7.95	8.73	5.63	7.87	8.73	9.91
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	617.60	626.16	631.93	646.98	606.39	625.23	635.23	652.09
ค่าอุณหภูมิสูงสุด	23.99	20.32	19.88	18.57	23.99	20.32	19.44	18.57
ค่าอุณหภูมิต่ำสุด	6.01	7.56	7.56	8.34	5.63	7.17	7.56	8.34

³¹ ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเฉียงใต้ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3 มิถุนายน 2553 – 5 มิถุนายน 2553

³² ข้อมูลผลต่างอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ทิศตะวันตกเหนือ กรณีมีเชิงชายหลังคา (ผนังมวลสารน้อย ผนังมวลสารปานกลาง และผนังมวลสารมาก) เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 15 มิถุนายน 2553 – 17 มิถุนายน 2553

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอัญชญา สังขะกุล เกิดเมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) ภาควิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2549 และเข้ารับการศึกษต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาสถาปัตยกรรม ในภาคปลายปีการศึกษา 2551 และได้รับทุกอดหนุนวิจัยจากสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

:



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย