การเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนัง ต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ

นางสาวกษิดา ชำนาญดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A COMPARISON OF INSULATION INSTALLATION ON THE INSIDE AND OUTSIDE OF WALLS FOR COOLING ENERGY EFFICIENCY

Miss Kasida Chumnandee

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ
โดย	นางสาวกษิดา ชำนาญดี
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ศักดิ์ วัฒนสินธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

…… กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์)

กษิดา ชำนาญดี : การเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ. (A COMPARISON OF INSULATION INSTALLATION ON THE INSIDE AND OUTSIDE OF WALLS FOR COOLING ENERGY EFFICIENCY) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ธนิต จินดาวณิค, 140 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ เมื่อมีสภาวะใช้งานปรับอากาศที่มีรูปแบบแตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) ด้วยการสร้างห้องทดลองทางพลังงาน ขนาด 3.00x3.00 เมตร สูง 2.50 เมตร จำนวน 2 ห้อง โดยมีวัสดุผนังอาคารเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนครึ่งแผ่นติดตั้งฉนวนโฟมโพลีสไตรีนแบบขยายตัวไว้ที่ภายในและภายนอกของผนัง และ ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในห้องทดลองแต่ละหลัง จากนั้นทำการเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิด้วยเครื่อง data logger (HOBO) และเก็บข้อมูลอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศด้วยมิเตอร์ไฟฟ้า จากนั้นจึงนำผลข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบ และสรุปผล

ผลการวิจัยพบว่า ในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ การติดตั้งฉนวนภายนอกสามารถลดการถ่ายเทความร้อนในช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุดได้ถึง 16.71% โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในช่วงกลางวันต่ำและคงที่มากกว่าการติดตั้งฉนวนภายใน ในสภาวะที่มีการปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวันและกลางคืน การติดตั้งฉนวนภายในสามารถลดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศได้มากกว่าการติดตั้งฉนวนภายนอก 8.57% และ 32.6% ตามลำดับ เนื่องจากใช้พลังงานในการปรับอากาศช่วงเริ่มต้นน้อยกว่าการติดตั้งฉนวนภายนอก 34.76 – 35.1 % โดยในช่วงเปิดเครื่องปรับอากาศจะมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำกว่า ส่วนในสภาวะที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง การติดตั้งฉนวนภายนอกสามารถลดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศได้มากกว่าการติดตั้งฉนวนภายใน 0.57%

ในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ หรือสภาวะที่มีการปรับอากาศตลอ ด 24 ชั่วโมง การติดตั้งฉนวนภายนอกเป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสม เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดี ทำให้มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในต่ำและมีความคงที่ ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ จึงมีอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศน้อยกว่าการติดตั้งฉนวนภายใน ส่วนในสภาวะที่มีการเปิด–ปิดเครื่องปรับอากาศเป็นช่วงเวลา การติดตั้งฉนวนภายในเป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสม เนื่องจากใช้พลังงานปรับอากาศช่วงเริ่มต้นน้อย อุณหภูมิอากาศภายในเย็นลงได้รวดเร็ว ทำให้สามารถลดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรวมได้มาก และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงปรับอากาศต่ำกว่าการติดตั้งฉนวนภายนอก

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์……ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา สถาปัตยกรรม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2554.....

5374141725 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : WALL INSULATION / INSTALLATION / COOLING ENERGY

KASIDA CHUMNANDEE : A COMPARISON OF INSULATION INSTALLATION ON THE INSIDE AND OUTSIDE OF WALLS FOR COOLING ENERGY EFFICIENCY. ADVISOR : ASSOC PROF.THANIT CHINDAVANIG, 140 pp.

The purpose of this research is to study and compare inside and outside thermal wall insulation installation in terms of air-conditioning energy use efficiency in different air-conditioning situations. This is an experimental study conducted with the construction of two energy laboratory rooms with dimensions of 3.00x3.00 meters and a height of 2.50 meters. The materials for the building wall consisted of a half sheet of stucco brick wall with expanding type polystyrene foam insulation inside and outside, and a split type air-conditioner installation in each room. Then, data collection was done of temperatures through a data logger machine (HOBO) and of the rate of air-conditioning energy use through an electrical meter. After that, the collected data was comparatively analyzed and conclusions drawn.

The research results revealed that in non-air-conditioned situations, the outside thermal insulation installation can reduce heat transfer in periods of maximum outside temperatures up to 16.71 percent more than inside thermal insulation installation with an average low and constant temperature. In air-conditioned situations during daytime and night time, inside thermal insulation installation can reduce the energy air-conditioning use rate more than outside thermal insulation installation since earlier air-conditioning energy use was 43.76-35.1 percent less than outside thermal insulation installation, with a lower average temperature inside during the time air-conditioners were turned on. As for situations with 24 hour air-conditioning, outside thermal insulation installation can reduce the rate of air-conditioning energy use by 0.57 percent more than inside thermal insulation installation.

In situations when there is no air-conditioning for 24 hour periods, outside thermal insulation installation is suitable because there is satisfactory efficiency in the reduction of heat transfer, resulting in an average low and constant temperature inside. This leads to uniform air-conditioner function and a lower air-conditioning energy use rate than inside thermal insulation installation. As for situations where air-conditioners are turned on and off for specific periods of time, inside thermal insulation installation is suitable because less air-conditioning energy is used in the beginning period. This causes a rapid drop in the inside temperature and enables a greater reduction in total air-conditioning energy use and a lower average temperature while air-conditioning in on than outside thermal insulation installation.

Department : Architecture Student's Signature .....

Field of Study : Architecture Advisor's Signature .....

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลือจากหน่วยงานและบุคคล ดังต่อไปนี้ ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค อาจารย์ที่ปรึกษา สำหรับองค์ความรู้ คำปรึกษาและคำชี้แนะตลอดช่วงเวลา 2 ปีของการเรียนปริญญาโท อีกทั้งยังให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบคุณ อ.ดร.โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และสละเวลาให้นิสิตเข้ารับคำปรึกษานอกเวลาได้เสมอ ตลอดจนคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน และผศ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร สำหรับคำแนะนำและข้อเสนอแนะในรายละเอียดต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนเงินทุนที่ใช้ในการวิจัย โดยการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ปีงบประมาณ 2554 ของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน และทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตครั้งที่ 1 ปีงบประมาณ 2555 ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ผู้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในทุกๆ เรื่องเสมอมา รวมไปถึงบุคคลที่เกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนามมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

สารบัญแผนภูมิ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 วิธีการดำเนินการศึกษา..... 3

1.4 ขอบเขตของการศึกษา..... 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับความร้อนและการถ่ายเทความร้อน..... 7

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานปรับอากาศ..... 18

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับฉนวนกันความร้อน..... 20

2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 34

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 37

3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 37

3.2 การกำหนดและจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง..... 38

3.3 การจัดเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย..... 41

3.4 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... 47

3.5 การทดลองในสภาวะการใช้งานปรับอากาศรูปแบบต่างๆ..... 51

3.6 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล..... 53

หน้า

3.7 การสรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 53
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลข้อมูล..... 54
4.1 การทดลองสภาวะที่ 1..... 55
4.2 การทดลองสภาวะที่ 2..... 64
4.3 การทดลองสภาวะที่ 3..... 78
4.4 การทดลองสภาวะที่ 4..... 92
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 104
5.1 สรุปผลการทดลองแต่ละสภาวะการใช้งาน..... 104
5.2 สรุปผลการทดลองและปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้อง..... 107
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง..... 108
5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต..... 108
รายการอ้างอิง..... 109
ภาคผนวก..... 111
ภาคผนวก ก..... 112
ภาคผนวก ข..... 121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 140

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า.....	16
ตารางที่ 2.2	แสดงรายการวัสดุและสีทาผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์.....	16
ตารางที่ 2.3	แสดงการเปรียบเทียบจุดเด่นและจุดด้อยของการใส่ฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งต่างๆ.....	33
ตารางที่ 3.1	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุก่อสร้างชนิดที่เลือกมาพิจารณา.....	39
ตารางที่ 3.2	แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุในกรณีติดตั้งฉนวนภายนอก.....	41
ตารางที่ 3.3	แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุในกรณีติดตั้งฉนวนภายใน.....	41
ตารางที่ 3.4	รายละเอียดของห้องทดลองด้านพลังงาน.....	42
ตารางที่ 4.1	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองในการทดลองสภาวะที่ 1.....	59
ตารางที่ 4.2	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองในการทดลองสภาวะที่ 2.....	68
ตารางที่ 4.3	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองในการทดลองสภาวะที่ 3.....	82
ตารางที่ 4.4	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองในการทดลองสภาวะที่ 4.....	96
ตารางที่ 5.1	แสดงผลสรุปการทดลองสภาวะที่ 1 (ไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)..	104
ตารางที่ 5.2	แสดงผลสรุปการทดลองสภาวะที่ 2 (ปรับอากาศเฉพาะกลางวัน).....	105
ตารางที่ 5.3	แสดงผลสรุปการทดลองสภาวะที่ 3 (ปรับอากาศเฉพาะกลางคืน).....	105
ตารางที่ 5.4	แสดงผลสรุปการทดลองสภาวะที่ 4 (ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง).....	106
ตารางที่ 5.5	แสดงสรุปผลการทดลอง และปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้อง.....	107

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1.1	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่างและอุปกรณ์อื่นๆ ภายในอาคาร.....	1
ภาพที่ 1.2	แสดงรูปแบบผนังประกอบฉนวนที่ใช้ในการทดสอบ.....	4
ภาพที่ 2.1	แสดงการนำความร้อน.....	8
ภาพที่ 2.2	แสดงการพาความร้อน.....	9
ภาพที่ 2.3	แสดงการแผ่รังสีความร้อน.....	10
ภาพที่ 2.4	แสดงคุณสมบัติการดูดกลืน การสะท้อน และการทะลุผ่านของวัสดุ.....	11
ภาพที่ 2.5	แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ.....	11
ภาพที่ 2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลความชื้นของวัสดุต่างๆ และความชื้นสัมพัทธ์.	19
ภาพที่ 2.7	แสดงการไหลของความร้อนผ่านฉนวนมวลสาร.....	21
ภาพที่ 2.8	เนื้อฉนวนใยแก้ว และฉนวนใยแก้วชนิดปิดผิวด้วยอลูมินั่มฟอยล์.....	23
ภาพที่ 2.9	การติดตั้งฉนวนใยแก้วที่ตำแหน่งต่างๆ.....	24
ภาพที่ 2.10	วัสดุฉนวนเยื่อกระดาษ และฉนวนเยื่อกระดาษแบบแผ่น.....	24
ภาพที่ 2.11	ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม.....	25
ภาพที่ 2.12	ฉนวนโพลียูริเทนโฟม และภาพการฉีดพ่นฉนวนโฟมที่ผนัง.....	26
ภาพที่ 2.13	ฉนวน PE (โพลีเอทธีลีน).....	27
ภาพที่ 2.14	ฉนวน PE-Bubble Foil.....	27
ภาพที่ 2.15	แผ่นสะท้อนความร้อนอลูมิเนียมฟอยล์.....	28
ภาพที่ 2.16	แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) ของวัสดุต่างๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว.....	29
ภาพที่ 2.17	แสดงอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารเปรียบเทียบระหว่างผนังก่ออิฐ 4 นิ้วทั่วไป และเมื่อมีการผสมผสานฉนวนที่ความหนาต่างกันตั้งแต่ 1-5 นิ้ว……..	30
ภาพที่ 2.18	การใส่ฉนวนกันความร้อนภายนอกผนังอาคารร่วมกับการใช้ช่องอากาศแบบเปิด.....	31
ภาพที่ 2.19	การปิดผิวของฉนวนกันความร้อนที่ติดตั้งภายในอาคาร.....	32
ภาพที่ 3.1	แสดงตำแหน่งในการติดตั้งวัสดุทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน.....	40

หน้า

ภาพที่ 3.2 รูปด้านห้องทดลองด้านพลังงาน..... 43
ภาพที่ 3.3 ผังพื้นและรูปตัดของห้องทดลอง..... 43
ภาพที่ 3.4 ห้องทดลอง และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง..... 43
ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการสร้างห้องทดลองด้านพลังงาน..... 44
ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการสร้างห้องทดลองด้านพลังงาน(ต่อ)..... 45
ภาพที่ 3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล..... 46
ภาพที่ 3.8 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัววัดเทอร์มอคัปเปิลด้วยการกวนในน้ำร้อน..... 47
ภาพที่ 3.9 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัววัดเทอร์มอคัปเปิลด้วยการเก็บข้อมูลในสภาวะปิด..... 48
ภาพที่ 3.10 ตำแหน่งการติดตั้งจุดค่าวัดอุณหภูมิของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง..... 52

สารบัญแผนภูมิ

		หน้า
แผนภูมิที่ 1.1	แสดงระเบียบวิธีวิจัยในการศึกษา.....	6
แผนภูมิที่ 3.1	แสดงข้อมูลจากการตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัววัดเทอร์มอคัปเปิลด้วยการกวนในน้ำร้อน.....	47
แผนภูมิที่ 3.2	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของหัววัดเทอร์มอคัปเปิลด้วยการเก็บข้อมูลภายใต้สภาวะเดียวกัน.....	48
แผนภูมิที่ 3.3	เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจากมิเตอร์ไฟฟ้า.....	49
แผนภูมิที่ 3.4	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลอง ในกรณีไม่มีการปรับอากาศ	50
แผนภูมิที่ 4.1	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายนอก และอุณหภูมิผิวภายใน (สภาวะไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง).....	56
แผนภูมิที่ 4.2	เปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง).....	57
แผนภูมิที่ 4.3	เปรียบเทียบระหว่าง globe temperature และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง).....	58
แผนภูมิที่ 4.4	ค่าอุณหภูมิอากาศภายใน เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง).....	62
แผนภูมิที่ 4.5	แสดงจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอากาศภายนอก.....	63
แผนภูมิที่ 4.6	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายนอก และอุณหภูมิผิวภายใน (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน).....	65
แผนภูมิที่ 4.7	เปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน).....	66
แผนภูมิที่ 4.8	เปรียบเทียบระหว่าง globe temperature และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน).....	67
แผนภูมิที่ 4.9	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และอากาศภายใน เฉพาะช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศ (08.00–17.00 น.).....	72
แผนภูมิที่ 4.10	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน เฉพาะช่วงที่ไม่ปรับอากาศ (17.01 – 07.59 น.).....	73

หน้า

แผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของห้องทดลอง 2 ห้อง... 74
แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรายชั่วโมง (kWh) ของ ห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน)..... 75
แผนภูมิที่ 4.13 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศในแต่ละวัน (kWh) ของ ห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน)..... 76
แผนภูมิที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายนอก และอุณหภูมิผิวภายใน (สภาวะ ปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)..... 79
แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)..... 80
แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบระหว่าง globe temperature และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)..... 81
แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ ภายใน เฉพาะช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.)..... 86
แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ ภายในเฉพาะช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.)..... 87
แผนภูมิที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)..... 88
แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานปรับอากาศรายชั่วโมง (kWh) ของ ห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง(สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)..... 89
แผนภูมิที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานปรับอากาศในแต่ละวัน (kWh) ของ ห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)..... 90
แผนภูมิที่ 4.22 เปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิอากาศ ภายนอก (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)..... 93
แผนภูมิที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)..... 94
แผนภูมิที่ 4.24 เปรียบเทียบระหว่าง globe temperature และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)..... 95
แผนภูมิที่ 4.25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ ภายใน (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)..... 99

หน้า

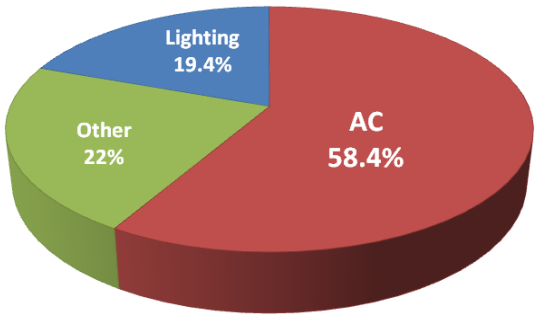
แผนภูมิที่ 4.26 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)..... 100
แผนภูมิที่ 4.27 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานปรับอากาศรายชั่วโมง (kWh) ของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)..... 101
แผนภูมิที่ 4.28 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานปรับอากาศในแต่ละวัน (kWh) ของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)..... 102

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากสภาพอากาศของประเทศไทยในปัจจุบันมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกอาคารสูงมากขึ้นทุกปี ส่งผลให้อาคารส่วนใหญ่รวมไปถึงบ้านพักอาศัยมีอัตราการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเพิ่มมากขึ้น ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนที่สูงมากเมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้กับระบบอื่นภายในอาคาร จากการสำรวจการใช้พลังงานภายในอาคารของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน พบว่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศอยู่ที่ประมาณ 60% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร[1] กล่าวได้ว่าการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศเป็นการประหยัดพลังงานในภาพรวมของอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 1.1 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ
ระบบแสงสว่าง และอุปกรณ์อื่นๆ ภายในอาคาร

วิธีการหนึ่งที่ช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานในอาคาร อีกทั้งยังสามารถช่วยลดการใช้ระบบปรับอากาศภายในอาคารที่ต้นเหตุ คือ การควบคุมสภาวะอากาศภายในด้วยเปลือกอาคาร (building envelope) เนื่องจากเปลือกอาคารมีหน้าที่สำคัญในการป้องกันตัวอาคารจากความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายนอก โดยเฉพาะส่วนที่เป็นผนังภายนอก ซึ่งถือเป็นส่วนที่มีพื้นที่มากกว่าเปลือกอาคารส่วนอื่นๆ อันเป็นเหตุให้สามารถรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ถ่ายเทเข้าสู่ภายในได้มากกว่า และเนื่องจากผนังอาคารในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นผนังก่ออิฐ

---

[1] นโยบายและแผนพลังงาน, สำนัก. สาระน่ารู้เรื่องการอนุรักษ์พลังงาน “เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในบ้านพักอาศัย”. เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. (กรุงเทพฯ: 2551).

ฉาบปูน ที่มีความสามารถในการหน่วงความร้อน (time lag) จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารในเวลากลางวันได้ดี แต่จะปล่อยความร้อนที่สะสมในผนังออกมาสู่ภายในอาคารในเวลากลางคืนได้ดีเช่นเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลให้ภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศเพิ่มสูงขึ้นแล ะสิ้นเปลืองค่าพลังงานการใช้ไฟฟ้า ดังนั้นการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับผนังอาคารนับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานลงได้ ทั้งในอาคารสร้างใหม่หรือการปรับปรุงอาคารเก่าเพื่อการประหยัดพลังงาน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังอาคารสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานลงได้ตั้งแต่ 16.62 - 30.71% ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมดของอาคารในช่วงเวลา 1 ปี[2]

โดยทั่วไปการเลือกใช้ฉนวนแต่ละชนิดนั้นนอกจากต้องคำนึงถึงปัจจัยทางด้านกายภาพและคุณสมบัติเฉพาะตัวของฉนวนที่มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการแล้ว ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่ผู้ออกแบบติดตั้งฉนวนควรคำนึงถึง ได้แก่ ตำแหน่งในการติดตั้ง ซึ่งการเลือกตำแหน่งเพื่อติดตั้งฉนวนที่มีความเหมาะสมนั้น จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การวิจัยส่วนใหญ่ใช้การอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากต่างประเทศ หรือเป็นงานวิจัยที่มีรูปแบบการทดลองโดยวิธีการจำลองสภาวะในกล่องทดสอบ และวัสดุที่ใช้ในการทดลองอาจยังไม่ตรงกับสภาวะการใช้งานที่เกิดขึ้นจริงในมากนัก โดย หากพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการนำหลักการดังกล่าวมา ใช้งานจริง ในสภาพ ที่มีสภาพอากาศและรูปแบบความต้องการปรับอากาศภายในอาคารให้เหมาะสมกับสภาวะน่าสบายซึ่งมีความแตกต่างกันแล้ว หลักการเลือกตำแหน่งติดตั้งฉนวนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดอาจมีความแตกต่างกันออกไป อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาตำแหน่งฉนวนที่สอดคล้องกับรูปแบบการปรับอากาศที่แตกต่างกัน จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการนำมาทำการศึกษา

ดังนั้นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ จึงเป็นข้อมูลที่ช่วยใช้ในการตัดสินใจในการออกแบบและติดตั้งฉนวนที่ผนังอาคารเพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานปรับอากาศที่แตกต่างกัน ภายใต้สภาพอากาศของประเทศไทยได้เป็นอย่างดี

---

[2] กษิดา ชำนาญดี. แนวทางในการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับผนัง ที่มีความคุ้มค่าในการติดตั้งกับบ้านพักอาศัยมากที่สุด. ใน บทความประชุมวิชาการสาระศาสตร์ ครั้งที่ 16. (กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554).

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ มีวัตถุประสงค์ของการศึกษาดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน อุณหภูมิที่พื้นผิวผนังภายนอกและภายใน รวมไปถึง ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature) ที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีช่วงเวลาการใช้งานระบบปรับอากาศที่แตกต่างกันในห้องทดลองที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนสำหรับผนังในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศที่มีช่วงเวลาการใช้งานระ บบปรับอากาศที่แตกต่างกัน ในห้องทดลองที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนสำหรับผนังในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

1.2.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมใน การเลือกติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ตำแหน่งภายนอกหรือภายในผนังอาคาร สำหรับอาคารในประเทศไทย

1.3 วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้เป็น วิธีการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ มีขั้นตอนการดำเนินการศึกษา ดังนี้

1.3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย

1.3.2 การกำหนดและจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.3.2.1 การคัดเลือกวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.3.2.2 การจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลองและควบคุมตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้อง

1.3.3 การจัดเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

1.3.3.1 ห้องทดลองด้านพลังงาน (mockup for energy testing)

1.3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และการติดตั้ง

1.3.4 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1.3.4.1 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัววัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple)

1.3.4.2 การตรวจสอบค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

1.3.4.3 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองด้านพลังงาน

1.3.5 การทดลองในสภาวะการใช้งานปรับอากาศรูปแบบต่างๆ

1.3.5.1 สภาวะที่ 1 ไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

1.3.5.2 สภาวะที่ 2 การใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน (08.00–17.00 น.)

1.3.5.3 สภาวะที่ 3 การใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (20.00–06.00 น.)

1.5.3.4 สภาวะที่ 4 มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

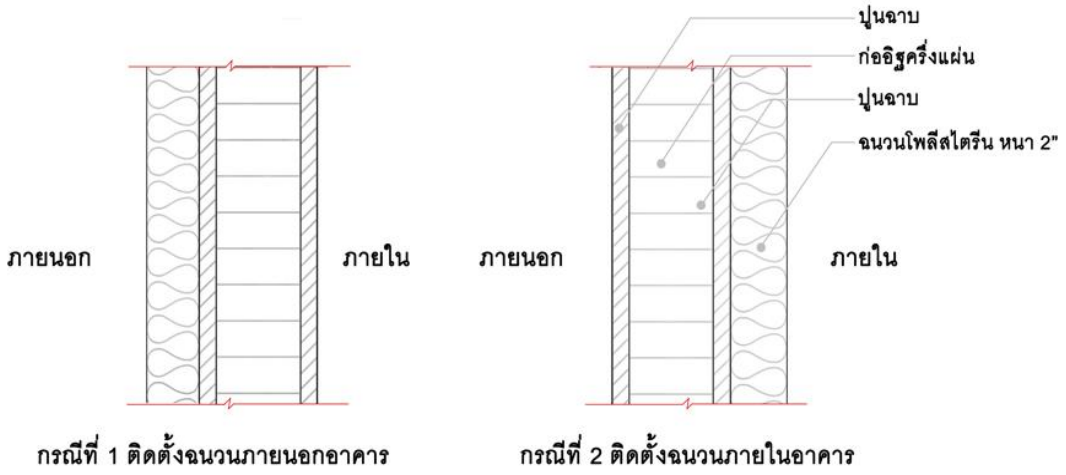
1.3.6 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

1.3.7 การสรุปผลและข้อเสนอแนะ

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ มีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1.4.1 การศึกษานี้กำหนดผนังทดสอบเป็นผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูน ซึ่งเป็นผนังมวลสารปานกลาง[3] ที่นิยมใช้ในการก่อสร้างผนังอาคารทั่วไป และฉนวนกันความร้อนที่ใช้เป็นฉนวนโฟมโพลีสไตรีน หนา 2 นิ้ว เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกันความร้อนที่ดี มีราคาค่าวัสดุและค่าติดตั้งที่เหมาะสม และมีระบบการติดตั้งที่ไม่ซับซ้อน โดยผนังประกอบฉนวนกันความร้อนเพื่อใช้ในการทดสอบ แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้



ภาพที่ 1.2 แสดงรูปแบบผนังประกอบฉนวนที่ใช้ในการทดสอบ

1.4.2 การทดสอบมีการควบคุมอุณหภูมิภายในคงที่ โดยตั้งค่าไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส และใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ขนาด 9,000 BTU

---

[3] พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. การเลือกใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน “ชุดรู้รักพลังงาน”. เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. (กรุงเทพฯ: 2548).

1.4.3 ศึกษาตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อนสำหรับผนัง และปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานปรับอากาศภายในอาคาร เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับฉนวนเท่านั้น ส่วนปัจจัยด้านอื่นๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน เช่น รูปแบบ สี หรือลวดลายของผนัง เป็นตัวแปรที่ไม่ได้นำมาศึกษา ต้องควบคุมให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

1.4.4 ระยะเวลาในการทำวิจัยอยู่ในช่วงสั้นๆ จึงไม่สามารถทำการทดสอบต่อเนื่องครอบคลุมทั้งปีได้ เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาการศึกษา งบประมาณ เครื่องมือ ฯลฯ แต่ก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาได้ระดับหนึ่ง

1.4.5 การทดสอบอยู่ภายใต้อุณหภูมิอากาศของ จ.ปทุมธานี โดยมีช่วงเวลาทดสอบอยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์

1.4.6 การทดลองนี้มุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ ที่มีผลกระทบมาจากความร้อนที่ผ่านระบบผนัง ซึ่งมีตำแหน่งการติดตั้งฉนวนที่แตกต่างกันเท่านั้น จึงต้องมีการควบคุมความร้อนที่ผ่านองค์ประกอบอื่นๆ ของอาคารให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด และในการทดลองนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในอาคาร (internal heat gain) เป็นตัวแปรที่ไม่ได้นำมาศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ มีประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ดังนี้

1.5.1 เพื่อให้ทราบตำแหน่งการติดตั้งฉนวนสำหรับผนังที่สามารถช่วยลดค่าการใช้พลังงานปรับอากาศและมีความเหมาะสมกับสภาวะการใช้งานระบบปรับอากาศที่ต่างกัน ภายใต้สภาพอากาศประเทศไทยมากที่สุด

1.5.2 เพื่อให้ทราบปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องและมีผลต่อการเลือกตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อน เพื่อช่วยลดภาระการปรับอากาศให้มีความเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด

1.5.3 เป็นจุดเริ่มต้นในการวิจัยที่สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ เมื่อมีการวิจัยในเรื่องของการใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับผนัง เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผนัง ให้สามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีมากยิ่งขึ้น

ระเบียบวิธีวิจัยในการศึกษา

แผนภูมิที่ 1.1 แสดงระเบียบวิธีวิจัยในการศึกษา

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ มีการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบ่งเป็น 4 หัวข้อหลัก ได้แก่

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับความร้อนและการถ่ายเทความร้อน

2.1.1 กระบวนการถ่ายเทความร้อน

2.1.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ

2.1.3 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

2.1.4 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (thermal transfer)

2.1.5 อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน (mean radiant temperature : MRT)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานปรับอากาศ

2.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานปรับอากาศที่เกิดจากผนัง

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับฉนวนกันความร้อน

2.3.1 ความหมายและกระบวนการถ่ายความร้อนของวัสดุฉนวน

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการลดความร้อนของฉนวนกันความร้อน

2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับความร้อนและการถ่ายเทความร้อน

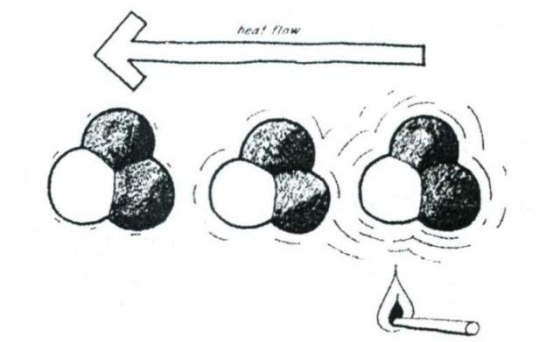
2.1.1 กระบวนการถ่ายเทความร้อน (heat transfer mechanisms)

การถ่ายเทความร้อน คือ การเคลื่อนที่หรือแลกเปลี่ยน ความร้อนจากที่ใดๆ ไปยังอีกที่หนึ่ง โดยปกติแล้วการถ่ายเทความร้อนจะถ่ายจากที่ที่อุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ หากผู้ออกแบบเข้าใจกฎการถ่ายเทความร้อนเป็นอย่างดี จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้ การออกแบบอาคารที่ดีต้องมีปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารให้น้อยที่สุด ความร้อนจาก ด้านนอกสามารถถ่ายเทเข้า สู่ด้านในอาคารโดยผ่านทางผนัง

อาคารได้ 3 ทาง คือ การนำความร้อน (heat conduction) การพาความร้อน (heat convection) การแผ่รังสีความร้อน (heat radiation)[1]

การนำความร้อน (heat conduction)

การนำความร้อนเกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากบริเวณที่ร้อนกว่าหรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลมากกว่า สู่บริเวณที่เย็นกว่าหรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลช้ากว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดในทุกทิศทาง และไม่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงของโลก วัสดุจะมีการนำความร้อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล วัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะนำความร้อนได้มาก วัสดุโลหะ เช่น อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง จะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีที่สุด รองลงมา ได้แก่ คอนกรีต อิฐ ส่วนวัสดุธรรมชาติ เช่น ไม้ จะมีค่าการนำความร้อนน้อยกว่า เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 แสดงการนำความร้อน (Fuller, 1993)

โดยอากาศหรือก๊าซชนิดต่างๆ เป็นตัวนำความร้อนที่แย่ที่สุด ทำให้อากาศเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี อย่างไรก็ตามค่าการนำความร้อนไม่สามารถผ่านไปยังที่ที่ไม่มีโมเลกุลเรียงตัวกันอย่างสูญญากาศได้ ความสามารถในการนำความร้อนขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิววัสดุ ความหนาวัสดุ พื้นที่สัมผัสโดยตรงกับความร้อน และช่วงเวลาที่สัมผัส เป็นต้น

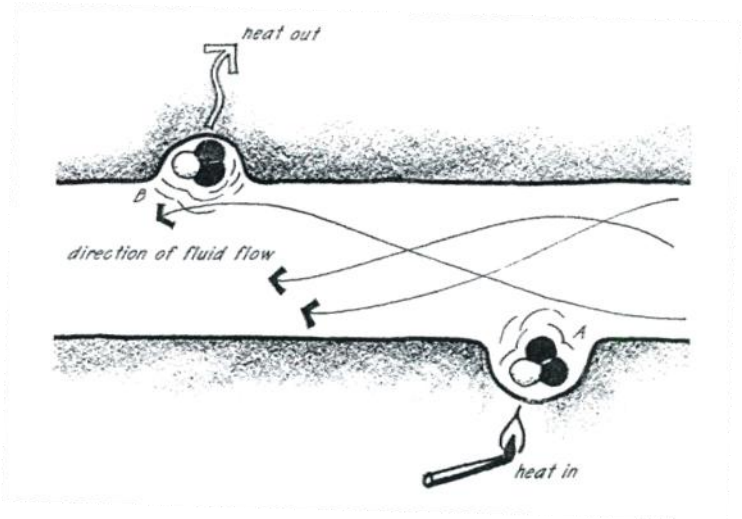
การพาความร้อน (heat convection)

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านตัวกลาง ได้แก่ ของเหลว อากาศ เมื่อสสารถูกทำให้ร้อน โมเลกุลจะเคลื่อนไหวเร็วขึ้นและแตกกระจาย

---

[1] ธนิต จินดาวณิค. เอกสารประกอบการสอน การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบสถาปัตยกรรม. (กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540).

ออกไปในทิศต่างๆ ก่อให้เกิดการขยายตัวของสสารนั้นๆ โดยของแข็งจะมีการเพิ่มปริมาตรขึ้น ของเหลวและก๊าซจะมีความหนาแน่นต่ำลงและลอยตัวขึ้น สามารถสังเกตปรากฏการณ์นี้ได้ จากปล่องไฟที่มีควันลอยตัวขึ้นมา อัตราการส่งผ่านความร้อนในระบบการพาส่วน มากจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ คือ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน เป็นผลต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างตัวกลางกับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ซึ่งคุณสมบัตินี้สามารถใช้ในการระบายอากาศให้เย็นลงได้



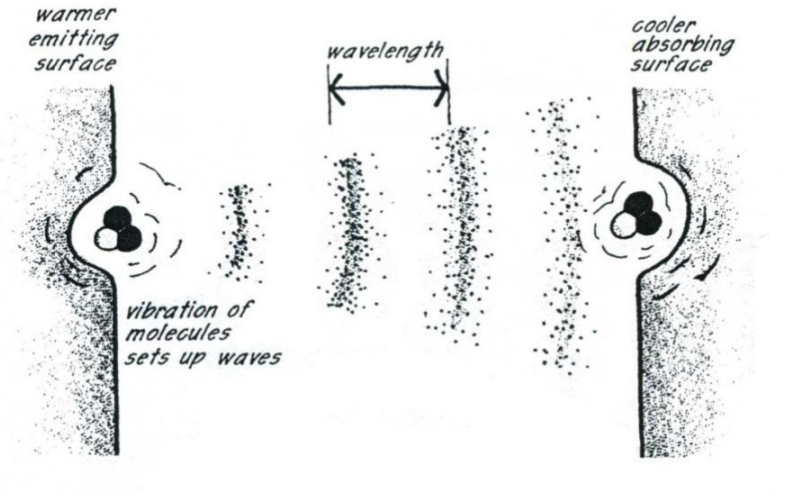
ภาพที่ 2.2 แสดงการพาความร้อน (Fuller, 1993)

จากภาพที่ 2.2 การถ่ายเทจากจุด A (ด้านที่ร้อน) ไปยังจุด B (ด้านที่เย็น) มีการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากภายนอกจนมากระทบที่จุด A ความร้อนนี้จะถ่ายเทไปที่อากาศ และพาความร้อนผ่านอากาศไปยังจุด B ความแตกต่างของการนำความร้อนและการพาความร้อน คือ ความแตกต่างของการเคลื่อนที่โมเลกุล การนำความร้อนนั้นโมเลกุลจะไม่เปลี่ยนตำแหน่ง แต่จะเคลื่อนย้ายพลังงานจากโมเลกุลหนึ่งไปยังโมเลกุลใกล้เคียง ส่วนการพาความร้อน พลังงานจะถูกถ่ายเทไปโดยโมเลกุลจะนำไปด้วยตัวเอง

การแผ่รังสีความร้อน (heat radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อโมเลกุลของสสารเกิดการเคลื่อนไหวจะคายพลังงานคลื่นออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) การแผ่รังสีความร้อนจึงเป็นการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งจะเคลื่อนที่จากวัตถุที่ร้อนกว่า ไปสู่วัตถุที่เย็นกว่าเช่นเดียวกับการนำความร้อน แต่การแผ่รังสีความร้อนสามารถส่งความร้อนผ่านสูญญากาศได้ การเคลื่อนที่หรือการสั่นของโมเลกุลพื้นผิวของสสารจะก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนผ่านตัวกลางได้เร็วเท่ากับความเร็วแสง การ

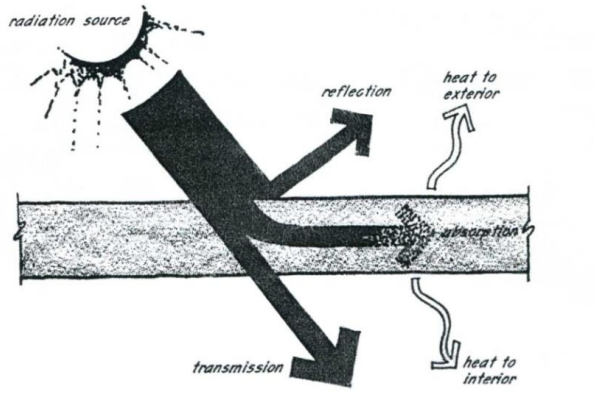
เคลื่อนที่ของโมเลกุลจะช้าลง เมื่อเปลี่ยนแปลงไปเป็นคลื่นรังสีความร้อน โดยเมื่อความร้อนเคลื่อนที่ผ่านของแข็ง อากาศ หรือสูญญากาศ ไปจนกระทบพื้นผิววัสดุอีกด้านจะสะสมพลังงานความร้อนในด้านนั้นๆ และทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวมากขึ้นจนอุณหภูมิสูงขึ้นและคายความร้อนออกมา การแผ่รังสีความร้อนจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทุกทิศทาง และไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วง



ภาพที่ 2.3 แสดงการแผ่รังสีความร้อน (Fuller, 1993)

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) กระทบผิววัสดุทึบแสง บางส่วนจะถูกดูดกลืน (absorption : α) และบางส่วนจะสะท้อน (reflection : β) ออกมา รังสีส่วนที่ถูกดูดกลืนจะทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะถ่ายเทเข้าไปภายในตัวของมันเองโดยการนำความร้อน ซึ่งผลรวมของรังสีความร้อนที่ถูกดูดกลืนและรังสีที่ถูกสะท้อน จะเท่ากับ 1 หรือ 100% รังสีความร้อนที่ตกกระทบผิวหน้าวัสดุนั้น โดยวัตถุที่มีการดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีจะคายรังสีความร้อนได้ดีเช่นกัน ถ้าวัสดุมีคุณสมบัติที่ความร้อนสามารถผ่านไปได้ ความร้อนจะทะลุผ่าน (transmission : τ) ซึ่งค่าของคุณสมบัติทั้ง 3 รวมกันจะเท่ากับ 1 และไม่มีหน่วย ตามสูตร

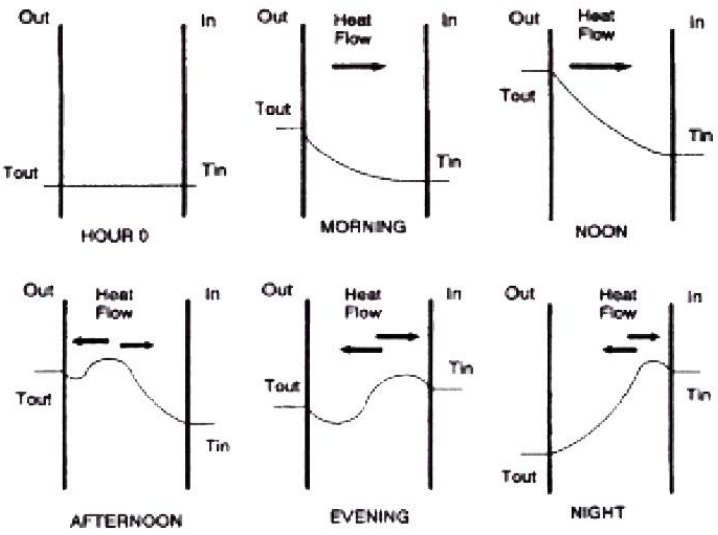
$$\alpha+\beta+\tau = 1$$



ภาพที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติการดูดกลืน การสะท้อน และการทะลุผ่านของวัสดุ (Fuller, 1993)

โดยทั่วไปการแผ่รังสีของวัตถุจะแปรตามอุณหภูมิและสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อน (Emissivity : ε) ของผิววัตถุนั้น[2] ซึ่งค่าการคายความร้อนเป็นหน่วยวัดความสามารถของผิววัสดุที่จะคายความร้อนออกมาในอุณหภูมิที่กำหนด สามารถวัดได้เป็น 0.0 ในกรณีที่วัสดุไม่มีการคายความร้อน ไปจนถึง 1.0 ซึ่งเป็นการคายความร้อนที่สูงที่สุดเทียบกับวัตถุสีดำ (black body) ซึ่งสามารถดูดกลืนรังสีเท่ากับ 1 หรือ 100%

2.1.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนัง



ภาพที่ 2.5 แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ

(Santamouris and Asimakopoulos, 1996)

---

[2] ตรึงใจ บูรณสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. (กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2543).

ในชั่วโมงที่ 0 อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าใกล้เคียงกัน ในช่วงเช้าอุณหภูมิอากาศภายนอกเริ่มสูงขึ้นจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ และเริ่มแทรกซึมผ่านผิวผนังอาคารโดยการนำความร้อน บริเวณผิวของวัสดุผนังที่อยู่ติดกับอากาศจึงเริ่มร้อนขึ้น โดยที่อุณหภูมิผิวภายในยังไม่เปลี่ยนแปลง

ในขณะที่ช่วงเที่ยงอุณหภูมิอากาศภายนอกจะขึ้นสูงสุด อุณหภูมิผิวภายในเริ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากความร้อนบางส่วนได้ถ่ายเทเข้ามา ในช่วงบ่ายอุณหภูมิอากาศภายนอกเริ่มลดลง แต่ภายในวัสดุผนังยังคงมีความร้อนที่กักเก็บอยู่ โดยการถ่ายเทความร้อนเป็นไปใน 2 ทิศทาง คือ ทิศทางแรกความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร และทิศทางที่สอง คือ ความร้อนส่วนหนึ่งถ่ายเทออกจากอาคาร เนื่องจากความร้อนจะมีการถ่ายเทจากอุณหภูมิสูงไปหาอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

ในช่วงเย็น ความร้อนสูงสุดที่กักเก็บภายในผนังช่วงกลางวันเริ่มมีการถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารมากขึ้น ส่งผลให้ในช่วงค่ำอุณหภูมิภายในจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก กล่าวคือ วัสดุผนังทำหน้าที่เป็นตัวหน่วงให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นช้าลง ส่งผลให้เกิดสภาวะการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag) ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะส่งผลต่อภาระการใช้งานปรับอากาศในการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องและผิววัสดุ ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันออกไป

2.1.3 **คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน**

วัสดุมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ส่งผลให้วัสดุแต่ละชนิด มีการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวประกอบด้วย

1.) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (conductivity : k) หน่วยเป็น W/m °K (W/m °C) หรือ Btu/h.ft. °F คือ คุณสมบัติหนึ่งของวัสดุที่บ่งบอกถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุทึบตันที่มีเนื้อเดียว นั่นคือ อัตราส่วนจำนวนวัตต์ (watts) ถ่ายเทผ่านวัสดุขนาด 1 ตารางเมตร เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 °C หรือเทียบเท่ากับจำนวน British Thermal Units ต่อชั่วโมง (Btu/h) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุขนาด 1 ตารางฟุตที่มีความหนา 1 นิ้ว เมื่อผ่านวัสดุนี้อุณหภูมิจะลดลง 1 °F ภายใต้สภาพการถ่ายเทความร้อนคงที่ (steady state conditions)

2.) ความนำความร้อน (conductance : C) หน่วย $W/m^{2.}$ °K หรือ $Btu/(h.ft^{2.}$ °F) คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารในความหนาที่กำหนด ในช่วงเวลา 1 หน่วย โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 หน่วย ค่าความนำความร้อนคล้ายกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แต่หน่วยของการวัดจะกำหนดตายตัว เช่น คอนกรีตหนา 3 นิ้ว มีค่าความนำความร้อนเท่ากับ 4 $Btu/(ft^{2.}h.$ °F) (ซึ่งมาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหารด้วย

ความหนา 3 นิ้ว) หมายความว่าถ้าคอนกรีตหนา 3 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางฟุต มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก 1 °F จะมีค่าการนำความร้อน 4 BTU ผ่านวัสดุใน 1 ชั่วโมง

$$C = k / \text{ความหนาวัสดุ}$$

3.) ความต้านทานความร้อน (resistance : R, R-value) หน่วย m^2. °K/W หรือ ($h.ft^2$. °F/Btu) คือ ส่วนกลับของค่าความนำความร้อน เป็นค่าที่นิยมใช้ในการกำหนดค่าฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ค่า R-value ที่มากขึ้นยิ่งแสดงถึงค่าความเป็นฉนวนที่มีมากขึ้น

$$R = 1 / C$$

4.) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (thermal transmittance : U, U-value) หน่วย W/m^2. °K หรือ $Btu/(h.ft^2$. °F) คือ อัตรารวมที่ความร้อนเคลื่อนที่ถ่ายเทผ่านส่วนประกอบทั้งหมดของผิวอาคารเข้ามาในอาคารในช่วงเวลาหนึ่ง และพื้นที่หนึ่ง เป็นส่วนกลับของค่า R

$$U = 1 / \sum R$$

$$= 1 / (R1+R2+R3+\ldots+Rn)$$

5.) การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนัง (time lag) คือ ช่วงเวลาที่วัสดุสามารถเก็บกักปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาไว้ได้เป็นระยะเวลาหนึ่งจนวัสดุอิ่มตัวและคายความร้อนออกมาสู่ภายในซึ่งจะเลื่อนการเกิดความร้อนสูงสุดภายในออกไปจากช่วงเวลาการเกิดความร้อนสูงสุดที่ภายนอกได้เป็นระยะเวลาหนึ่งๆ โดยวัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูงกว่ามวลสารน้อย แต่ในสภาพการใช้งานจริง การหน่วงเหนี่ยวความร้อนจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ และที่สำคัญคือปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุแต่ละชั้นร้อนขึ้นถึงจุดอิ่มตัว (fill up the heat capacity) ก่อนที่จะถ่ายลงไปในชั้นต่อไป ความร้อนที่กระทำด้านนอกผิวผนังอาคารจะเกิดการถ่ายเทความร้อน (heat transmission) เข้าสู่ผนังอาคาร ส่งผลให้คลื่นความร้อนจางลง ปริมาณความร้อนผ่านเข้ามาได้บางส่วน ปรากฏการณ์นี้ได้จากคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนของวัสดุ ที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ค่า U ยิ่งต่ำก็ยิ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี

ช่วงเวลาที่ได้จากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุด้านตรงข้ามจะไม่ร้อนทันทีที่ถูกความร้อนกระทำด้านนอก และจะกินเวลาชั่วระยะหนึ่งแล้วแต่คุณสมบัติของวัสดุ การเก็บกัก

ความร้อนยิ่งมากเท่าใด เวลาที่ได้จากการหน่วงเหนี่ยวก็เพิ่มขึ้น [3] วัสดุที่มีความจุความร้อนมากจะสามารถเก็บสะสมความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุได้มาก จึงมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ช้ากว่าวัสดุที่มีความจุความร้อนน้อย โดยอัตราในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุนี้ จะแสดงออกมาในรูปของค่าการหน่วงเวลา หรือการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag)

6.) ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (thermal capacity) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยปริมาตร หรือพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา มีหน่วยเป็น Kcal/m^3°C สำหรับกรณีที่คิดค่าความจุความร้อนของวัสดุในหน่วยปริมาตร (CV) และมีหน่วยเป็น Kcal/m^2°C สำหรับการคิดค่าความจุความร้อนของผนัง (CW) ค่าความจุความร้อนของวัสดุสามารถหาได้จากสมการ

$$C = \rho S$$

โดยที่ C = ค่าความจุความร้อนของวัสดุหรือผนัง (Kcal/m^3°C หรือ Kcal/m^2°C)

ρ = ความหนาแน่นของวัสดุหรือผนัง (kg/m3 หรือ kg/m2)

S = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (specific heat capacity) มีหน่วยเป็น kcal/kg°C

ความจุความร้อนของวัสดุจะเท่ากับผลคูณของมวลสารกับความจุความร้อนจำเพาะ ซึ่งความจุความร้อนจำเพาะของสสาร (specific heat capacity) เป็นค่าที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและอุณหภูมิ เนื่องจากความจุความร้อนจำเพาะของสสารเป็นปริมาณพลังงานความร้อนที่ทำให้สสารที่มีมวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา โดยมีหน่วยวัดเป็น Cal/g-°C หรือ J/kg.°C หรือบางกรณีใช้เป็น Wh/kg.°C

ค่าความจุความร้อนของวัสดุ ไม่สามารถบอกได้โดยตรงว่าควรจะมีค่ามากหรือน้อยจึงจะดี เพราะถ้ามีความจุความร้อนน้อย การส่งผ่านความร้อนสู่ภายในจะมากและส่งผ่านได้เร็ว ซึ่งจะเหมาะกับส่วนที่มีการใช้งานเฉพาะกลางคืน แต่ในทางกลับกันการที่สามารถเก็บความร้อนไว้ในตัวเองได้มาก ความร้อนที่ถูกส่งผ่านต่อมายังในอาคารก็จะน้อยลงหรือส่งผ่านได้ช้าลง (time lag) ซึ่งเหมาะกับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะกลางวัน จะเห็นว่าการส่งผ่านความร้อนเนื่องจากค่าความจุความร้อนของวัสดุมีความเกี่ยวข้องกับช่วงเวลา

---

[3] สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศในเขตร้อนชื้น. (กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541).

2.1.4 **ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร** (thermal transfer)

ความร้อนจะเคลื่อนที่จากสสารที่ร้อนสู่สสารที่เย็นกว่าเสมอ และถ้าสสารใดๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแล้ว ก็จะไม่มีการถ่ายเทความร้อน การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยการนำ สามารถคำนวณหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

$$Q = U \times A \times CLTD$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (W)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (W/m^2)

A = พื้นที่ที่ความร้อนจะถ่ายเทผ่านวัสดุนั้นๆ (m^2)

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอก ($^{\circ}C$)

CLTD = ค่าความแตกต่างภาระการทำความเย็นหรือเทียบเท่า (cooling load temperature difference ($^{\circ}C$))

ความแตกต่างในการเลือกใช้สูตรแต่ละสูตรขึ้นอยู่กับ

1. ΔT จะใช้ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งอุณหภูมิที่ผิววัสดุและอุณหภูมิอากาศ จะมีค่าใกล้เคียงกัน และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกคงที่ (steady state condition)

2. ค่า CLTD จะใช้ในกรณีที่มีอิทธิพลจากแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง แสงแดดเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังเข้าสู่อาคารมากที่สุด เมื่อผนังโดนแดดจะร้อนขึ้นเนื่องจากการดูดกลืนรังสีความร้อนจากแสงแดด ทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารเปลี่ยนไป การปรับเปลี่ยนค่า CLTD เป็นการปรับให้เข้ากับอิทธิพลภายนอก เพราะในความเป็นจริงแล้วค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารไม่คงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะอากาศตลอดเวลา โดยจะใช้องค์ประกอบ เช่น วัน เดือน เวลา อิทธิพลของแสงแดด อิทธิพลของมวลสารผนัง การถ่ายเทความร้อนจากผิวนอก การหน่วงเวลา สภาพแวดล้อม โดยการปรับเปลี่ยนค่าให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น จะใช้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกไม่ได้ เนื่องจากค่าที่ได้จะแตกต่างจากความจริงมาก

สำหรับประเทศไทย การคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่คำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มวลสาร และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ใช้ค่า TD_{eq} (equivalent temperature difference) ในการคำนวณแทนค่า CLTD โดยใช้สมการในการคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อน ดังนี้ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536)

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

โดยที่ Q = ปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่ในหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

U_w = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/m^2.\ ^\circ C$)

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (˚C)

ตารางที่ 2.1 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

มวลของผนัง กก ม.^{2}	**ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า *ระดับค่ามวลของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)***				
	0.1 <0-0.2>	0.3 <0.2-0.4>	0.5 <0.4-0.6>	0.7 <0.6-0.8>	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

ที่มา: พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. กรุงเทพฯ : 2536.

ตารางที่ 2.2 แสดงรายการวัสดุและสีทาผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำผนังภายนอก	**วัสดุผนัง**	**สีที่ใช้ทาภายนอก**
1. วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง [α<0.2]	ผิววัสดุที่ฉาบด้วยดีบุก แผ่นอลูมิเนียม แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอลูมิเนียม แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียมขัดมัน	สีสะท้อนแสง
2. วัสดุที่มีผิวอ่อน [0.2<α<0.4]	อิฐเคลือบเป็นมันสีขาว เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	แลคเกอร์สีขาว สีเงิน สีขาวเป็นเงา

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำผนังภายนอก (ต่อ)	วัสดุผนัง	สีที่ใช้ทาภายนอก
4. วัสดุที่มีสีผิวค่อนข้างเข้ม [0.6<α<0.8]	คอนกรีตไม่ทาสี ไม้ผิวเรียบ แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส หินล้างสีเทา	สีแดง สีน้ำเงิน สีเทาอ่อน สีสนิมแก่ปานกลาง
5. วัสดุที่มีผิวสีเข้ม [0.8<α<1.0]	วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะตอย คอนกรีตสีน้ำตาล วัสดุมุงหลังคาสีเขียว หินชนวนสีเทาแกมสีน้ำเงิน อิฐสีแดง อิฐสแตฟฟอร์ดสีน้ำเงิน คอนกรีตสีดำ	สีน้ำเงินแก่หรือสีเขียวแก่ สีเทาแกมน้ำเงินเข้ม สีน้ำตาลแก่ สีโอลีฟเข้ม สีดำ แลคเกอร์สีน้ำเงินแก่ สีเทาแก่ แลคเกอร์สีดำ สีดำธรรมดา สีดำเรียบมาก
α หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์		

ที่มา: พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. กรุงเทพฯ : 2536.

2.1.5 **อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน** (mean radiant temperature : MRT) [4]

อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบวัดได้จากค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อน รวมถึงแสงอาทิตย์โดยตรงที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้นๆ อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน (MRT) สามารถคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของด้านต่างๆ ในห้อง และตำแหน่งที่วัด MRT นั้น โดยใช้มุมกระทำ (solid angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบเขตของแต่ละพื้นผิว โดยหาค่าเฉลี่ยออกมาเป็น MRT อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิพื้นผิวที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย และการที่จะสามารถวัดออกมาได้นั้นจะต้องใช้ในรูปของ operative temperature โดยที่ค่า operative temperature นั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศในห้อง และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวต่างๆ ในห้องนั้น

[4] ธนิต จินดาวณิค. เอกสารประกอบการสอน การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบสถาปัตยกรรม. (กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540).

(MRT) ในการวัดจะใช้ globe thermometer โดยใช้ลูกโลหะทองแดงกลมทาสีดำด้านเจาะรูกลมเล็กๆ และใช้เทอร์โมมิเตอร์สอดเข้าไปให้อยู่ประมาณกึ่งกลางของลูกโลหะกลม ที่เทอร์โมมิเตอร์นี้จะอ่านค่าออกมาเป็นค่า operative temperature หรือ globe temperature

MRT มีผลต่อสภาวะน่าสบาย (thermal comfort) มากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 40 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือถ้าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 1.4 องศาเซลเซียส และ MRT ลดลง 1 องศาเซลเซียส ความรู้สึกร้อนหนาวจะยังคงเหมือนเดิม

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานปรับอากาศ

2.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานปรับอากาศที่เกิดจากผนัง

ผนังอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งผนังภายนอกอาคาร เป็นส่วนที่ติดกับสภาพแวดล้อมภายนอกโดยตรง ซึ่งในภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าขอบเขตสภาวะน่าสบายค่อนข้างมาก และมีความแปรปรวนสูง ในการปรับสภาพอากาศภายในอาคารให้มีความคงที่ และอยู่ในสภาวะน่าสบายนั้น จำเป็นต้องใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศ ซึ่งภาระการปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

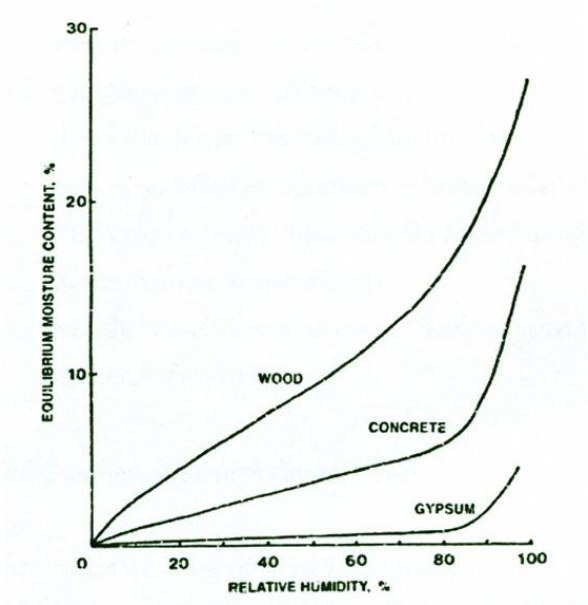
2.2.1.1 ภาระการปรับอากาศในการรีดความร้อนและความชื้นที่สะสมในเนื้อวัสดุในช่วงเริ่มต้นของการปรับอากาศ (start up time)

ในช่วงที่ไม่ได้ทำการปรับอากาศ วัสดุผนังจะเกิดการสะสมความร้อน และความชื้นจากสภาพแวดล้อม ทำให้เมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ จะเกิดภาระในการรีดความร้อนและความชื้นที่สะสมอยู่ในเนื้อวัสดุออก ซึ่งปริมาณพลังงานในการรีดความร้อนและความชื้นดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผนัง ได้แก่

ก. มวลสารของผนัง และค่าความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat) ซึ่งวัสดุที่มีมวลสารและความจุความร้อนจำเพาะมาก จะต้องใช้ปริมาณพลังงานมากในการเปลี่ยนอุณหภูมิมากกว่าวัสดุที่มีมวลสาร และความจุความร้อนน้อยกว่า

ข. การดูดซับความชื้นของวัสดุ (sorption isotherm) ค่าการดูดซับความชื้นของวัสดุจะสัมพันธ์กับสมดุลความชื้นของวัสดุ (equilibrium moisture content หรือ EMC) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ ค่าความจุความชื้นของวัสดุ (moisture content หรือ MC) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณ (มวล) ของน้ำในวัสดุต่อมวลของวัสดุในสภาวะแห้ง ในเบื้องต้นการพิจารณาค่า

การดูดซับความชื้นจำเป็นที่จะต้องทราบอุณหภูมิและปริมาณความชื้นของสภาวะแวดล้อม จากนั้นจึงนำวัสดุที่ต้องการทดสอบไปตั้งไว้ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว เพื่อให้วัสดุทำการดูดซับความชื้นจากสภาพแวดล้อมดังกล่าว จนเข้าสู่สภาวะสมดุลของความจุความชื้น คือ เป็นสภาวะที่เกิดความสมดุลของความชื้นในวัสดุกับความชื้นของสภาพแวดล้อม ผลที่ได้รับจากการวัดจะพบว่าพฤติกรรมของการดูดซับความชื้นของวัสดุแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อวัสดุดูดซับความชื้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุลความชื้นแล้ว ผลที่ปรากฏอาจจะพบทั้งปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้น (absorption isotherm) หรือ ลดลง (desorption isotherm)



ภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลความชื้นของวัสดุต่างๆ และความชื้นสัมพัทธ์ (ASHRAE, 2001)

2.2.1.2 ภาระการปรับอากาศที่เกิดจากความร้อนและความชื้นที่ถ่ายเทผ่านวัสดุผนังในระหว่างการปรับอากาศ ความร้อนและความชื้นจากสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกอาคาร จะเกิดการถ่ายเทสู่ภายในอาคาร ซึ่งปริมาณพลังงานที่เป็นภาระของเครื่องปรับอากาศจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัจจัยที่เกิดจากคุณสมบัติของตัววัสดุผนัง (ดังที่กล่าวไว้ในข้อ 2.1) และปัจจัยที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

ปัจจัยที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ได้แก่

ก. ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวผนัง ซึ่งปริมาณรังสีที่ตกกระทบจะขึ้นอยู่กับ เขตภูมิภาค ฤดูกาล เวลา ทิศทางของผนัง และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องกระทบถูกผิววัสดุผนังภายนอกอาคารจะทำให้อุณหภูมิผิวผนังมีค่าสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิอากาศ เมื่อ

อุณหภูมิผิวผนังสูงขึ้นจะทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายนอกและภายในอาคารมีค่าสูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนจะมีปริมาณมากขึ้น

ข. อุณหภูมิอากาศและความเร็วลมภายนอก ซึ่งส่งผลต่ออัตราแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและผิวผนังภายนอกโดยตรง (surface conduction) ซึ่งอิทธิพลจะมีค่าน้อยมากในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ผนังนั้นๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง

ค. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก ซึ่งส่งผลต่อการส่งผ่านความชื้นจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับฉนวนกันความร้อน

2.3.1 ความหมายและกระบวนการถ่ายความร้อนของวัสดุฉนวน

“ฉนวน” [5] โดยทั่วไปหมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งได้ง่าย

การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนให้ถูกต้องจำเป็นต้องเข้าใจกลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ ก่อน ฉนวนกันความร้อนโดยทั่วไปแล้ว เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยช่องโพรงเล็กๆ และช่องอากาศภายในวัสดุที่มีลักษณะเป็นแบบปิดทึบ (totally enclosed) เรียกว่าฉนวนมวลสาร (mass insulation) ช่องเล็กๆ เหล่านี้อาจเกิดขึ้นจากเกล็ด (flakes) เส้นใย (fibers) ปมแข็ง (nudeles of solids) หรือเซลล์ของตัววัสดุเอง ยกเว้นฉนวนสะท้อนความร้อน (reflective insulation)

กลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนมวลสาร เกิดขึ้นได้โดยช่องเล็กๆ ที่อยู่ภายในวัสดุ และลักษณะเป็นโพรงอากาศนี้เองที่ทำหน้าที่ต้านทานการไหล (flow) ของอากาศหรือก๊าซ ทำให้มีความร้อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ที่จะสามารถถ่ายเทผ่านจากด้านหนึ่งของวัสดุไปยังอีกด้านหนึ่งโดยกระบวนการพาความร้อนได้

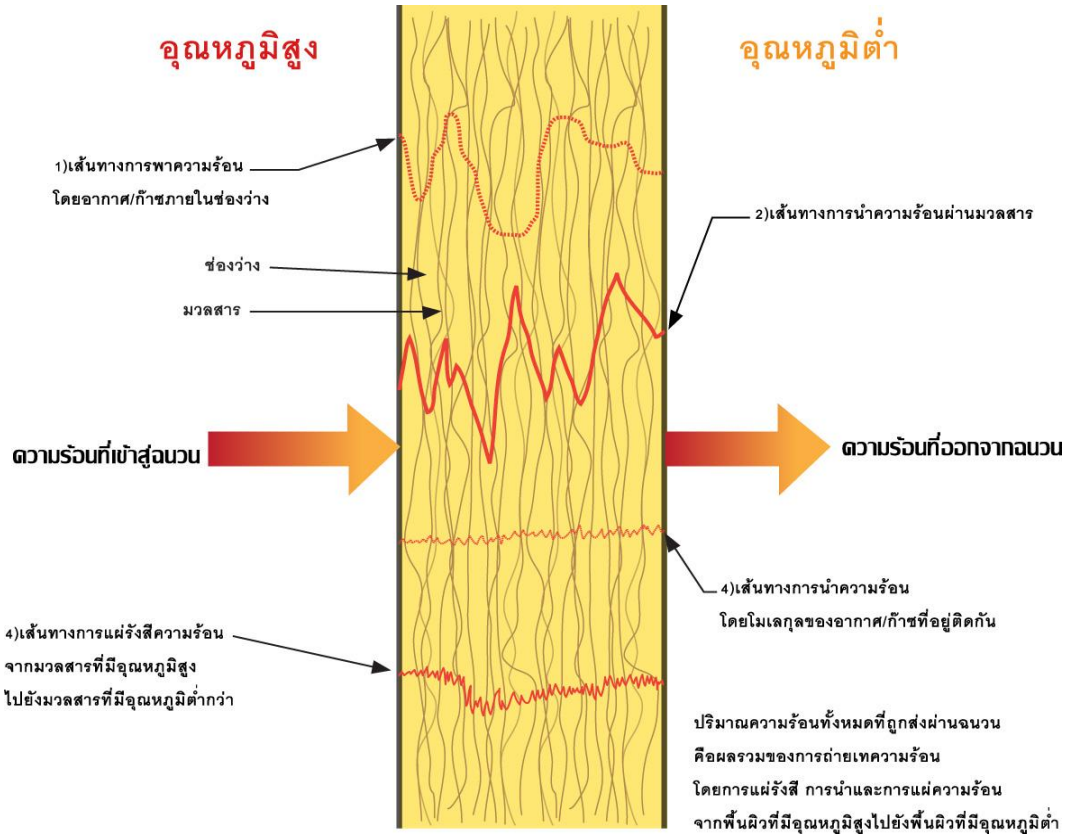
เมื่อพิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฉนวนที่มีค่าความหนาแน่นค่าหนึ่งของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนใดๆ นั้น สภาพการนำความร้อนปรากฏ (apparent thermal conductivity) ที่เกิดขึ้นจะลดลงได้ เนื่องจากการพาความร้อนโดยอากาศ

---

[5] สุนทร บุญญาธิการ และอุษณีย์ มิ่งวิมล. การใช้ฉนวน. (กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2543).

ภายในฉนวนกันความร้อนนั้นลดลง เพราะการลดขนาดของช่องอากาศระหว่างเซลล์ของเส้นใยที่ทำให้อากาศภายในฉนวนกันความร้อนหยุดนิ่งไม่เคลื่อนที่ จนมีสภาพเป็นฉนวนกันความร้อนอย่างดี ถึงแม้ภายในเซลล์บางส่วนจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยแต่ละเส้น แต่เมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มมากขึ้น เส้นใยแต่ละเส้นเรียงชิดติดกัน การแผ่รังสีตามทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนจะลดลง เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่เส้นใยติดกันมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อความหนาแน่นของวัสดุหรือฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยสู่เส้นใย และพื้นผิวสู่พื้นผิวจะลดลง ทำให้สภาพการนำความร้อนลดลงด้วย จนกระทั่งเมื่อเส้นใยหรือเซลล์ต่อเชื่อมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จะทำให้เกิดการนำความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุ จนถึงจุดที่การแผ่รังสีความร้อนมีค่าน้อยกว่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น อันเกิดจากการเพิ่มความหนาแน่นของวัสดุที่ทำให้เส้นใยชิดกันมากขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้ฉนวนมวลสารนั้น จะมีค่าความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ในแต่ละประเภทที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าหนึ่งเท่านั้น โดยสรุปรวมแล้วฉนวนกันความร้อนที่ดี จึงควรเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่าสภาพการนำความร้อนรวมต่ำสุด



ภาพที่ 2.7 แสดงการไหลของความร้อนผ่านฉนวนมวลสาร

(สุนทร บุญญาธิการ และอุษณีย์ มิ่งวิมล, 2543)

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการลดความร้อนของฉนวนกันความร้อน

ก. ชนิดของฉนวนกันความร้อน

ข. คุณลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุฉนวน

ค. ความหนาของฉนวนกันความร้อน

ง. ตำแหน่งของฉนวนกันความร้อน

ก. ชนิดของฉนวน

ฉนวนกันความร้อนที่ใช้กันทั่วไป แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ฉนวนแบบมีมวลและฉนวนแบบสะท้อนความร้อน

1.) ฉนวนกันความร้อนแบบมีมวล (mass insulation) หมายถึง วัสดุที่ใช้ป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ โดยอาศัยความเป็นฉนวนของวัสดุที่มีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนที่สูงของตัววัสดุเอง วัสดุส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย มีโพรง หรือช่องกลาง อาทิ ฉนวนใยแก้ว (fiber glass) ฉนวนใยหิน (rock fiber) ฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) โฟมโพลีสไตรีน (polystyrene foam/ PS) โฟมโพลียูรีเทน (polyurethane foam/ PU) และโฟมโพลีเอทธิลีน (polyethylene foam/ PE)

2.) ฉนวนแบบสะท้อนความร้อน (reflective sheet) หมายถึงวัสดุที่ใช้ป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ โดยอาศัยคุณสมบัติการสะท้อนรังสีความร้อนของวัสดุ เพื่อที่จะลดค่าพลังงานความร้อนไม่ให้ถูกดูดซับ และทะลุผ่านไปในวัสดุ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางหรือมีผิวที่มีการสะท้อนสูง เช่น แผ่นอลูมินั่มฟอยล์ (alluminium foil sheet) เซรามิคโค้ทติ้ง (ceramic coating) เป็นต้น

ข. คุณลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุฉนวน[6]

วัสดุฉนวนในปัจจุบันมีหลายประเภท ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงฉนวนกันความร้อนบางชนิดที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในท้องตลาด ได้แก่

1) ฉนวนใยแก้ว (fiber glass)

ภาพที่ 2.8 เนื้อฉนวนใยแก้ว และฉนวนใยแก้วชนิดปิดผิวด้วยอลูมินั่มฟอยล์

ที่มา: http://lifetimeroofingltd.com/reflective-insulation/

http://www.microfiber.co.th/product_wall_02.php

ใยแก้วเป็นฉนวนที่ผลิตจากการหลอมแก้วแล้วปั่นมาเป็นเส้นใยสีขาว จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนเซลเปิด ใยแก้วมีความหนาแน่นต่างกันตั้งแต่ 10 kg/m^3 ไปถึงมากกว่า 64 kg/m^3 อาจผลิตในรูปแผ่นแข็ง แบบม้วน หรือขึ้นเป็นรูปทรงต่างๆ กัน ตัวเส้นใยจะถูกเคลือบไว้ด้วยตัวประสาน (binder) เช่น ฟีโนสิกเรซิน ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเส้นใย ที่พบมากจะเป็นฟีนอลฟอร์มอัลดีไฮน์ ซึ่งจะทำให้สีเหลืองหลังการผลิต

ตัวใยแก้วเป็นสารอนินทรีย์จึงไม่ติดไฟ แต่ตัวประสานติดไฟได้ จึงควรพิจารณาอุณหภูมิในการใช้งาน และการดูดซับความชื้น จะทำให้ความสามารถในการต้านทานความร้อนลดลง จึงต้องมีแผ่นมาประกบเพื่อช่วยต้านทานไอน้ำ เช่น แผ่นอลูมินั่มฟอยล์ หรือ ฟิล์มพลาสติกห่อหุ้มขณะใช้งานจริง ซึ่งต้องพิจารณาคุณภาพและคุณสมบัติการติดไฟ ในการเลือกใช้งานด้วย และจากการที่ขนาดของเส้นใยแก้วที่เล็กและยาวทำให้มีคุณสมบัติในการคืนรูป หรือคืนความหนาได้ดี คุณสมบัตินี้จะช่วยในการคืนสภาพของฉนวนจากการบรรจุและการขนส่ง ที่มักมีการบีบอัด และสุดท้ายคือเรื่องของกลิ่นที่มาจากตัวประสาน จึงควรจัดเก็บในที่เปิดโล่ง การใช้งานโดยทั่วไป จะวางฉนวนใยแก้วที่มีการหุ้มด้วยแผ่นอลูมินั่มฟอยล์เหนือฝ้าเพดาน ซึ่งเป็นพื้นที่การใช้งานโดยตรง

---

[6]พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. การเลือกใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ชุดรู้รักพลังงาน. เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. (กรุงเทพฯ : 2548).

ภาพที่ 2.9 การติดตั้งฉนวนใยแก้วที่ตำแหน่งต่างๆ

ที่มา: http://www.weloveshopping.com/template/a38/show_article.php?

2) **ฉนวนเยื่อกระดาษ หรือเซลลูโลส** (cellulose)

ภาพที่ 2.10 วัสดุฉนวนเยื่อกระดาษ และฉนวนเยื่อกระดาษแบบแผ่น

ที่มา: http://www.coolorcosythai.com/thcellulose.html

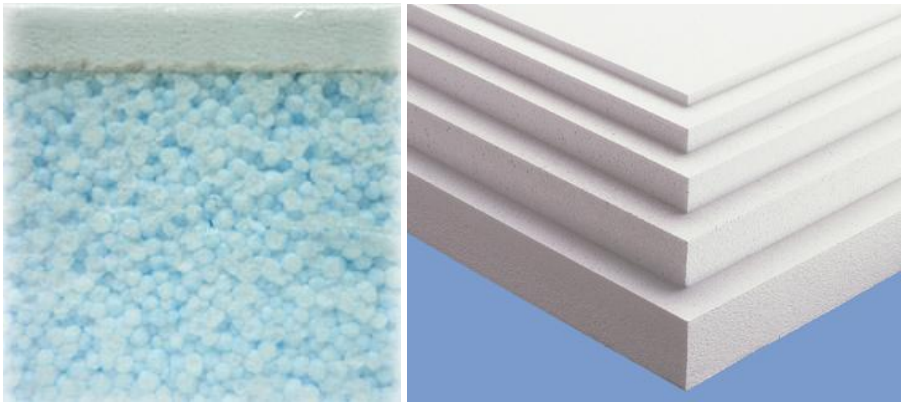
http://www.greenenergynet.net/tec_Insulation.html

เป็นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากการนำไม้ หรือกระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง โดยการแผ่ให้กระจายออกและทำการย่อยให้ละเอียดจากนั้นทำการประสานเข้าด้วยบอแร็กซ์ ส่วนผสมทั้งสองจะช่วยให้มีสภาพต้านทานการลุกไหม้ และการดูดซับความชื้น การประยุกต์ใช้งานอาจใช้ในลักษณะของการเทบรรจุในช่องผนังหรือเพดานของอาคาร ใช้ในลักษณะของฉนวนแบบแผ่น แบบคลุมห่ม หรือเป็นโฟมฉีดสำหรับเป็นฉนวนกันความร้อนใต้ดาดฟ้าหรือหลังคา

ข้อจำกัดในการใช้งานของฉนวนแบบนี้ คือ การควบคุมให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐานที่กำหนด และวัสดุที่ใช้ผลิตเป็นเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งติดไฟง่าย ดังนั้นจำเป็นจะต้องผสมสารหน่วงการไหม้ไฟในอัตราส่วนที่เหมาะสมด้วย

โดยทั่วไปในท้องตลาดมักทำขึ้นจากเยื่อกระดาษที่ใส่สารกันไม่ให้ไฟลาม ทำให้ป้องกันไฟได้ในระดับหนึ่ง ความสามารถในการเป็นฉนวนมีค่าที่ใกล้เคียงกับใยแร่และใยแก้ว

3) ***ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม*** (polystyrene, PS - foam)



ภาพที่ 2.11 ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม

ที่มา: http://cementfoam.com/

http://www.buypolystyrene.org

จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนแบบกึ่งเซลล์ปิด มี 2 ลักษณะ คือ

- **ฉนวนโพลีสไตรีนแบบอัดรีด** (extruded polystyrene)

ผลิตโดยขบวนการอัดรีด ทำให้เซลล์ที่ละเอียดซึ่งมีอากาศผสมกับก๊าซฟลูออโรคาร์บอน (ปัจจุบันมีการใช้ก๊าซประเภทอื่นเพื่อหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์เรือนกระจก) อยู่ภายในทำให้มีสภาพในการนำความร้อนที่ต่ำกว่าโพลีสไตรีนแบบหล่อ มีโครงสร้างและรูปร่างที่แข็งแรงคงที่มากกว่า ทำให้สามารถทนต่อแรงกดทับและต้านทานไอน้ำได้ดี แต่ข้อเสีย คือ ติดไฟได้และหากสัมผัสกับรังสีอุลตร้าไวโอเลต (UV) ในบรรยากาศจะมีการเสื่อมสภาพได้ จึงควรมีวัสดุปิดผิวในการใช้งาน ปัจจุบันยังคงต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงต้องมีเปลือกที่ต้านทานเปลวไฟได้ เช่น ยิปซัมบอร์ด ปูนฉาบ เป็นต้น

- **ฉนวนโพลีสไตรีนแบบหล่อหรือขยายตัว** (molded or expanded polystyrene)

เป็นสไตรีนโพลีเมอร์เช่นกัน แต่ผลิตโดยกระบวนการหล่อหรือขยายตัว ผลคือเซลล์จะหยาบกว่าและมีอากาศบรรจุอยู่ภายใน เมื่อเทียบกับแบบอัดรีดแล้วจะมีสภาพการนำความร้อนสูงกว่า ความหนาแน่นต่ำกว่า ต้านทานไอน้ำพอใช้ ติดไฟและก่อให้เกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แต่มีราคาถูกกว่า มีการเสื่อมสภาพจากการสัมผัสรังสียูวีในบรรยากาศได้เช่นกัน จึงควรเลือกใช้ในโครงเคร่าปิดหรือมีแผ่นปิดผิว โดยมีการขึ้นรูปประกอบเป็นผนังมีแผ่นปิด 2 ด้านเพื่อป้องกันรังสียูวีและใช้งานได้สะดวก ปัจจุบันมีการผลิตจำหน่ายในประเทศไทยแล้ว

ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม เป็นฉนวนที่นำเอาเม็ดโฟมขนาดเล็กๆ มาอัดเข้าด้วยกัน ทำให้มีช่องว่างระหว่างเม็ดโฟมแทรกอยู่บ้าง ดังนั้นจึงไม่สามารถกันความชื้นได้ 100% ซึ่งการกันความชื้นของโฟมโพลีสไตรีนจึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของโฟม

4) **ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม** (polyurethane, PU-foam)

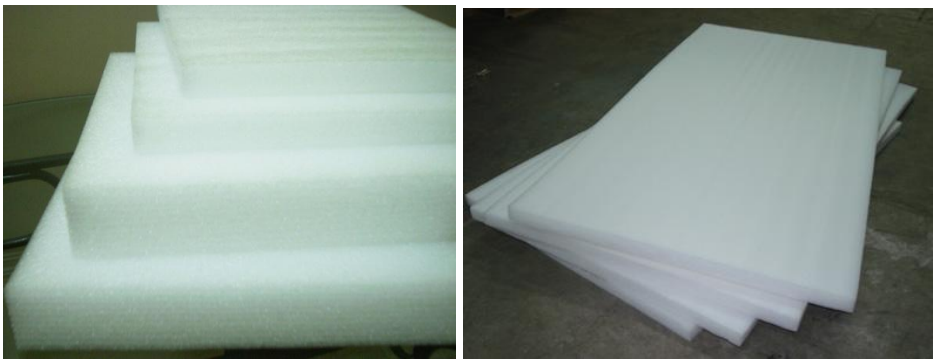
ภาพที่ 2.12 ฉนวนโพลียูริเทนโฟม และภาพการฉีดพ่นฉนวนโฟมที่ผนัง

ที่มา: http://www.sompongpanich.com/Insulation/

http://www.rf-foam.com/

เป็นพลาสติกโพลิเมอร์ประเภทหนึ่ง พ่นให้เกิดเป็นโฟมมีลักษณะแข็ง อาทิ การพ่นเพื่อป้องกันความร้อนใต้หลังคา จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนแบบกึ่งเซลล์ปิด เซลล์ภายในบรรจุด้วยก๊าซฟลูออโรคาร์บอนซึ่งเป็นก๊าซที่มีค่าการนำความร้อน (k) ต่ำกว่าอากาศ ทำให้ฉนวนประเภทนี้มีสภาพการนำความร้อนต่ำอย่างไรก็ตามการนำความร้อนของฉนวนประเภทนี้จะเพิ่มขึ้นหรือค่าการต้านทานความร้อน (R-Value) จะลดลงตามอายุการใช้งาน เนื่องจากการแพร่กระจายของอากาศเข้าไปในเซลล์ โดยเฉพาะกรณีที่สัมผัสกับรังสียูวีจะทำให้สีของฉนวนเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเสื่อมสภาพลง โดยเฉพาะโฟมที่ไม่ได้ปิดผิว การดูดซับน้ำจะมีบ้างเนื่องจากไม่ใช่เซลล์ปิดทั้งหมด และกรณีเกิดเพลิงไหม้แม้ว่าจะมีการผสมสารป้องกันการติดไฟแล้ว แต่ก็ยังก่อให้เกิดก๊าซที่มีองค์ประกอบของไซยาไนด์ซึ่งเป็นอันตราย เนื้อฉนวนมีการขยายและหดตัวจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หากใช้โครงเคร่าปิด เช่น ผนังห้องเย็น หรือมีวัสดุปิดผิวที่แข็งแรงพอก็จะเป็นฉนวนที่ดีมาก

5) **ฉนวนโพลีเอทธีลีนโฟม** (polyethylene, PE - foam)



ภาพที่ 2.13 ฉนวน PE (โพลีเอทธีลีน)

ที่มา: http://www.ewhafoam.com/otherproducts.htm

http://www.mymaterial.com.my/foam/

เป็นเอทธีลีนโพลิเมอร์รีดขึ้นรูปเป็นแผ่นมีฟองละเอียดของก๊าซอยู่ด้านใน จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนแบบเซลล์ปิด มีลักษณะอ่อนนุ่ม จึงไม่ควรใช้กับงานที่มีการกดทับ การต้านทานไอน้ำอยู่ในเกณฑ์สูง มีการเสื่อมสภาพได้จากรังสียูวี จึงควรมีแผ่นปิดผิวขณะใช้งาน หรือไม่สัมผัสกับรังสียูวี โดยตรง การเลือกใช้งานป้องกันความร้อนในระบบหลังคาในประเทศไทย ต้องพิจารณาความหนาของฉนวนให้มีค่าการต้านทานความร้อน (R-Value) ที่เพียงพอ คือ มีความหนาไม่น้อยกว่า 40 มม. ในการใช้ติดใต้แผ่นหลังคา ซึ่งความหนาดังกล่าวจะต้านทานการไหลผ่านของพลังงานความร้อนได้น้อย และเนื่องจากเป็นโพลีเมอร์พลาสติกประเภทหนึ่งจึงก่อให้เกิดควันปริมาณมากและก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ที่เป็นอันตรายเมื่อเกิดเพลิงไหม้

6) **ฉนวน** PE-Bubble Foil

ภาพที่ 2.14 ฉนวน PE-Bubble Foil

ที่มา: http://www.insulationexpress.co.uk/

โครงสร้างประกอบด้วย Polyethylene Air Bubble ชนิดปิดคุณภาพสูง ทำหน้าที่ป้องกันการส่งผ่านความร้อน โดยใช้หลักของช่องว่างอากาศภายใน ปิดผิวด้านบนด้วยอลูมิเนียมฟอยล์บริสุทธิ์ที่มีค่าสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity) สูงถึง 95% และมีค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ต่ำเพียง 0.05 และปิดผิวด้านล่างด้วยอลูมิเนียมฟิล์ม (Metalized Film) ที่มีค่าการสะท้อนรังสีความร้อน 86% จึงช่วยป้องกันการคายความร้อน

7) **แผ่นสะท้อนความร้อนอลูมินั่มฟอยล์** (aluminum foil)

ภาพที่ 2.15 แผ่นสะท้อนความร้อนอลูมิเนียมฟอยล์

ที่มา: http://aluminium-foil.in.th/

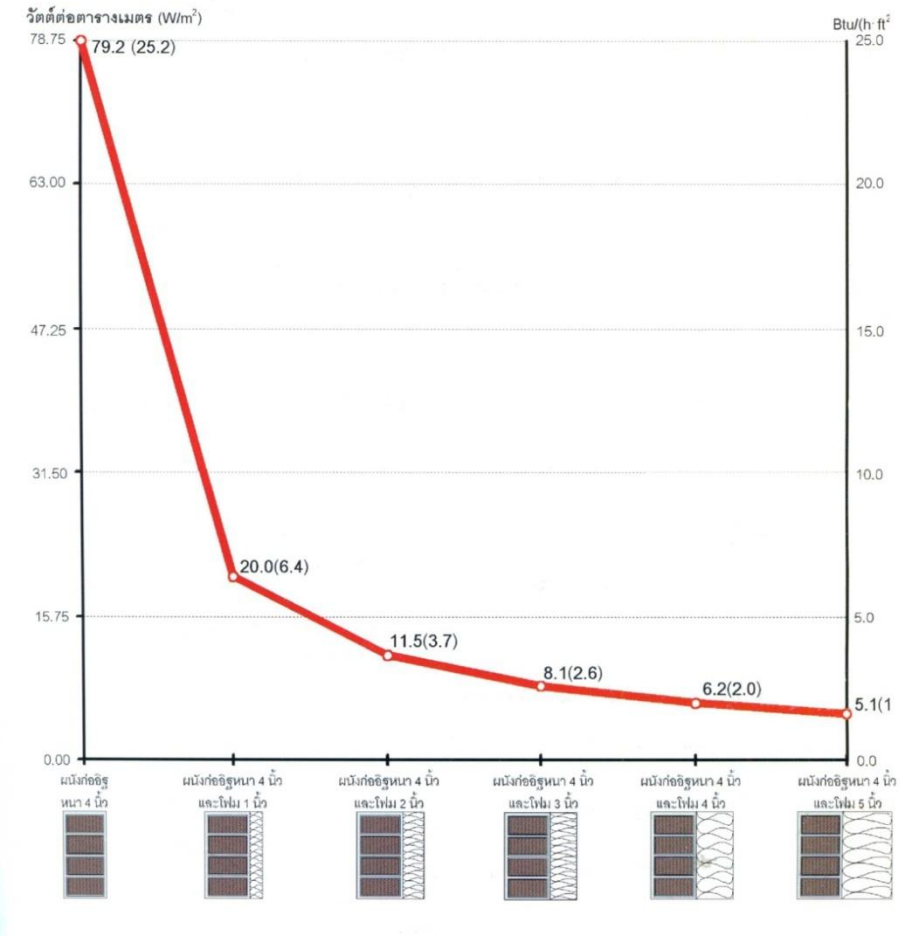
http://www.microfiber.co.th/product_other_03.php

อลูมิเนียมฟอยล์เป็นชนิดหนึ่งของฉนวนประเภทสะท้อนความร้อน และเป็นที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน โดยทั่วไปเป็นแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ทากาวประกบกับแผ่นกระดาษคราฟมีเส้นใยเสริมแรง บางชนิดอาจมีชั้นของบิทูเมน (Bitumen) อยู่ด้วย ซึ่งถ้ามีควรพิจารณาคุณสมบัติการติดไฟด้วย การใช้งานทั่วไปจะติดตั้งใต้แผ่นหลังคาอาศัยความหนาของช่องอากาศระหว่างแผ่นหลังคา แผ่นอลูมินั่มฟอยล์เป็นตัวลดสภาพการ ถ่ายเทความร้อน และความมันวาวของอลูมินั่มฟอยล์เป็นตัวลดการแผ่รังสี ทำให้ความร้อนผ่านเข้าสู่อาคารได้น้อยลง ปัญหาที่พบ คือ ฝุ่นที่มาเกาะบนผิวทำให้คุณสมบัติการต้านทานการแผ่รังสีความร้อนลดลงด้วย

ภาพที่ 2.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) ของวัสดุ ที่ความหนา 1 นิ้ว (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

ค. ความหนาของฉนวนกันความร้อน

การผสมผสานวัสดุฉนวนเข้าไปในระบบผนังก่ออิฐหนา 4 นิ้วของอาคารทั่วไปนั้น จะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งหมายถึง สามารถลดอัตราความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารได้มากที่สุดที่ความหนา 1 นิ้วแรกของฉนวน เพราะจะลดอัตราความร้อนได้มากถึงประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าค่าต้านทานความร้อนของผนังที่มีการใส่ฉนวนเพิ่มเข้าไปนั้น ไม่ได้เป็นอัตราส่วนที่แปรผันโดยตรงกับปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ดังนั้นปริมาณการเพิ่มฉนวนมากเกินไป จึงอาจไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.1 7 แสดงอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารเปรียบเทียบระหว่างผนังก่ออิฐ 4 นิ้วทั่วไป และเมื่อมีการผสมผสานฉนวนที่ความหนาต่างกันตั้งแต่ 1 - 5 นิ้ว (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

นอกจากนี้จากการวิจัยเรื่อ งการปรับปรุงผนังอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดย สิทธิชัย วุฒิวรวงศ์ (2539) พบว่า คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนจะแปรผันตามความหนาของฉนวน ฉนวนที่มีความหนามากขึ้นย่อมสามารถป้องกันความร้อนได้มากขึ้น โดยทดสอบด้วยการใช้ฉนวนโฟม ความหนา 1, 2 และ 3 นิ้ว ร่วมกับผนังก่ออิฐ ติดตั้งผนังทดสอบขนาด 0.60 x 0.60 เมตร ที่ผนังทั้ง 4 ด้านของอาคารทดสอบขนาด 4.00 x 4.00 x 2.40 เมตร ซึ่งมีการควบคุมสภาพอากาศภายในด้วยเครื่องปรับอากาศ วัดอุณหภูมิผิวด้านนอกและด้านในของผนังทดสอบ และนำมาคำนวณปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาในอาคารของผนังแต่ละชนิด พบว่า การใช้ฉนวนโฟมติดตั้งภายนอกอาคารที่ความหนา 1 และ 2 นิ้ว จะมีปริมาณการถ่ายเทความร้อนต่างกัน 7 – 16 % และความหนา 2 และ 3 นิ้ว มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนต่างกัน 2 – 4 % ส่วนการติดตั้ง

ภายในอาคารพบว่า ฉนวนโฟมความหนา 1 และ 2 นิ้ว จะมีปริมาณการถ่ายเทความร้อนต่างกัน 3 – 7% ส่วน ฉนวนโฟมหนา 2 และ 3 นิ้ว มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนลดลงเพียง 1 – 3% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนค่าความต้านทานความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เป็นสัดส่วนเดียวกับปริมาณความร้อนที่ลดลง โดยที่

- ฉนวนโฟมหนา 1 นิ้ว ทำให้ปริมาณความร้อนลดลง 50%
- ฉนวนโฟมหนา 2 นิ้ว ทำให้ปริมาณความร้อนลดลง 60%
- ฉนวนโฟมหนา 3 นิ้ว ทำให้ปริมาณความร้อนลดลง 62%

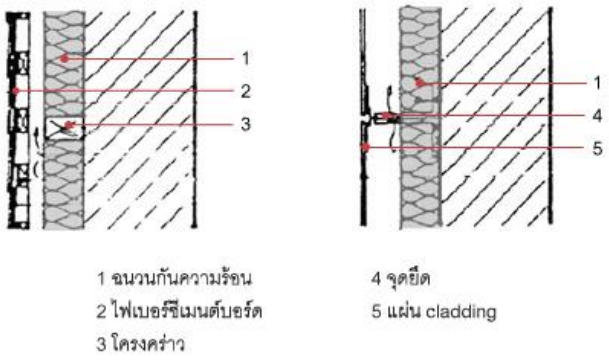
ง. ตำแหน่งของการใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนังอาคาร

การใส่ฉนวนป้องกันความร้อนให้กับผนังอาคาร นอกจากการเลือกใช้ฉนวนให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว ตำแหน่งในการติดตั้งก็เป็นอีกปัจจัยที่ควรคำนึงถึง โดยตำแหน่งในการติดตั้งฉนวนที่ผนังอาคารทั่วไปมี 2 ตำแหน่ง คือ

1. ใส่ฉนวนไว้ด้านนอกผนังอาคาร (exterior insulation)

การใส่ฉนวนไว้ด้านนอกผนังอาคาร สามารถทำได้หลายแบบ เช่น

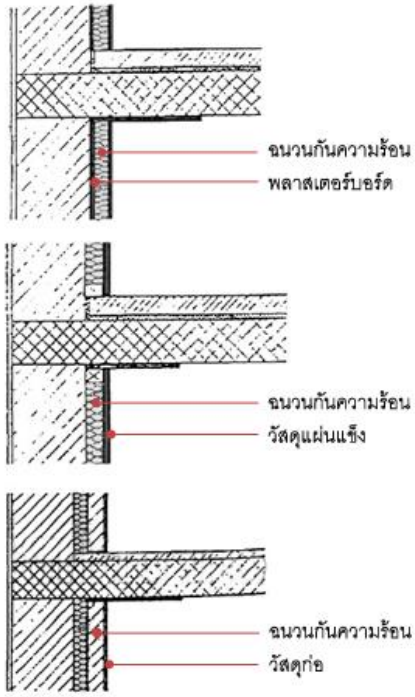
- ใช้วัสดุฉาบผิวที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.09-0.14 W/m.-°C และควรฉาบหนาอย่างน้อย 60 mm.
- ใช้ฉนวนกันความร้อนร่วมกับการปูตาข่ายเสริมความแข็งแรง
- ใส่ฉนวนกันความร้อนไว้ในช่องอากาศแบบเปิด (ventilate air gap) ที่อยู่ด้านนอกอาคาร และปิดทับด้วยวัสดุผนัง (ภาพที่ 2.17)



ภาพที่ 2.18 การใส่ฉนวนกันความร้อนภายนอกผนังอาคารร่วมกับการใช้ช่องอากาศแบบเปิด (Zold and Steven V.Szokolay, 1997)

2. ใส่ฉนวนไว้ด้านในผนังอาคาร (interior insulation)

มักใช้ในกรณีที่ไม่สามารถใส่ฉนวนไว้ด้านนอกได้ เช่น ผนังอาคารที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์หรือมีคุณค่าทางสุนทรียภาพที่ต้องการรักษาไว้ หรือในกรณีที่อาคารไม่มีช่องว่างอากาศ ซึ่งมีข้อคำนึงถึง คือ ตำแหน่งของสวิตซ์ เต้ารับ และสายไฟ การปิดผิวฉนวนที่ใส่ไว้ด้านในอาคารสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การฉาบผิวด้วยวัสดุฉาบ การปิดทับด้วยวัสดุแผ่น การปิดทับด้วยวัสดุก่อ เป็นต้น



ภาพที่ 2.19 การปิดผิวของฉนวนกันความร้อนที่ติดตั้งภายในอาคาร

(Zold and Steven V.Szokolay, 1997)

ในการพิจารณาตำแหน่งของการใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนังอาคาร ควรพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพของอาคาร การใช้งานอาคาร และผลกระทบต่อผู้ใช้อาคาร ซึ่งแต่ละตำแหน่งมีจุดเด่น และจุดด้อย ดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบจุดเด่นและจุดด้อยของการใส่ฉนวนกันความร้อนตำแหน่งต่างๆ

ตำแหน่งฉนวน	จุดเด่น	จุดด้อย
ด้านนอกผนังอาคาร	1. สามารถป้องกันผนังอาคารและโครงสร้างจากสภาพดินฟ้าอากาศได้ 2. ไม่เกิดจุดที่เป็นสะพานความร้อน 3. ช่วยป้องกันความร้อนได้ โดยไม่ลดพื้นที่ใช้สอย 4. ซ่อมแซมได้ง่าย ไม่รบกวนผู้ใช้อาคาร	1. มีค่าใช้จ่ายในด้านวัสดุปิดผิวเพิ่มขึ้น 2. ฉนวนได้รับรังสีความร้อนมากอาจทำให้อายุการใช้งานสั้นกว่าการติดตั้งภายใน 3. เกิดการจำกัดวัสดุปิดผิวของผนัง ไม่สามารถเลือกวัสดุได้หลากหลาย 4. วงกบประตู หน้าต่าง ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น 5. วัสดุฉาบผิวมีโอกาสแตกร้าว หากส่วนที่ฉาบมีความลาดเอียงมากเกินไป
ด้านในผนังอาคาร	1. สามารถปรับอุณหภูมิของผนังด้านในอาคารให้เย็นได้เร็ว 2. สามารถคงลักษณะของผนังภายนอกไว้ได้ เช่น อาคารที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ หรืออาคารที่ต้องการการตกแต่งที่หลากหลาย 3. สามารถใช้วัสดุปิดผิวด้านในได้หลายวิธี 4. อายุการใช้งานฉนวนยาวนานกว่าการติดตั้งไว้ภายนอก	1. พื้นที่ใช้สอยในอาคารลดลง 2. เกิดจุดที่เป็นสะพานความร้อน 3. อาจเกิดการควบแน่นของหยดน้ำในฉนวนได้

ที่มา: เขียนขึ้นใหม่จาก สกนธ์ ศรีวิไลสกุลวงศ์. การพัฒนาระบบผนังโฟมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2545.

2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 อิทธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารเข้าด้วยกัน (THE EFFECTS OF HEAT TRANSFER DUE TO THE COMBINATION OF MASS AND INSULATION) โดย รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ (2543)

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการเลือกตำแหน่งมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน รวมไปถึงการศึกษาตัวแปรจากอิทธิพลภายนอก ได้แก่ สภาวะการทาสีที่มีค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน สภาวะการได้รับและไม่ได้รับรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ และในสภาวะที่มีการปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

โดยการศึกษาได้ใช้มวลสารคอนกรีต หนา 4 นิ้ว จำนวน 2 ชุด ผสมผสานกับฉนวนโฟมโพลีสไตรีน หนา 1 นิ้ว โดยมีตำแหน่งในการติดตั้งฉนวน คือ ด้านนอกแผ่นคอนกรีต กึ่งกลางแผ่นคอนกรีต ด้านในแผ่นคอนกรีต โดยทำการทดสอบในเซลทดสอบบุฉนวนหนา 6 นิ้ว ทั้ง 5 ด้าน ขนาด 0.90x0.90x0.90 เมตร และเปิดผนังด้านหนึ่ง ขนาดหน้าตัด 0.6x0.60 เมตร สำหรับใส่วัสดุทดลอง และนำเซลทดสอบมาประกอบติดตั้งกับอาคารขนาด 8.40x8.40 เมตร เพื่อทดสอบในสภาวะที่มีการปรับอากาศ

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ตำแหน่งของฉนวนและมวลสารที่เหมาะสม คือ การใช้วัสดุฉนวนด้านนอกเพื่อลดอิทธิพลรุนแรงจากสภาพอากาศภายนอกและใช้วัสดุมวลสารที่มีค่าความจุความร้อนสูงไว้ด้านในเพื่อหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ผ่านฉนวนเข้ามา โดยวัสดุทดสอบที่มีฉนวนอยู่ภายนอกมวลสารมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศด้านนอกสูงสุดประมาณ 7 องศา ส่วนวัสดุทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนอยู่กึ่งกลางมวลสารและด้านในมวลสาร มีอุณหภูมิในเซลทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ประมาณ 6 และ 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การทดสอบตัวแปรจากอิทธิพลภายนอก วัสดุทดสอบที่เคลือบผิวด้วยสีดำมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าวัสดุทดสอบที่เคลือบผิวด้วยสีขาว ประมาณ 1 องศาเซลเซียส และวัสดุที่ไม่มีการบังแดดให้กับผิวภายนอกจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าวัสดุที่มีการบังแดดประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส

สำหรับอาคารที่ไม่ปรับอากาศ ควรใช้ผนังที่มีการติดฉนวนไว้ด้านนอกและใช้มวลสารปริมาณมากด้านในอาคารเพื่อให้อุณหภูมิอากาศภายในเข้าใกล้สภาวะน่าสบายในช่วงกลางวัน ส่วนอาคารที่มีการปรับอากาศควรใช้ผนังที่ติดตั้งฉนวนด้านนอกอาคาร และใช้มวลสารปริมาณน้อยด้านในอาคารเพื่อให้เครื่องปรับอากาศไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการลดความร้อนสะสมในมวลสารเมื่อเริ่มปรับอากาศ

2.4.2 อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและภาระการปรับอากาศในการออกแบบอาคาร (THE IMPACT OF EXTERIOR WALL MASS ON THERMAL COMFORT AND COOLING LOAD IN BUILDING DESIGN) โดย สรญา ประวิตรางกูร (2543)

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการออกแบบผนังภายนอกที่มีปริมาณมวลสารและมีรูปแบบของอาคารที่มีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานทั้งในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศและสภาวะที่มีการปรับอากาศตามช่วงเวลาที่กำหนด

โดยการศึกษาจะมีการกำหนดสภาพการใช้งานที่จะทำการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็นสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ปรับอากาศเวลากลางวัน (8.00-18.00) ปรับอากาศเวลากลางคืน (20.00-6.00 น.) สำหรับวัสดุผนังมวลสารที่เลือกมาทดลอง มีการจัดกลุ่มโดยแยกประเภทตามคุณลักษณะของมวลสาร ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่างๆ ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 3.979-3.989 W/m^2C ได้แก่ ผนังไม้เนื้อแข็งหนา 12 มม., ผนังอิฐ 7 ซม. กับปูนทราย ข้างละ 8 มม., ผนังคอนกรีตหนา 12.5 ซม. กลุ่มที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 0.953-0.959 W/m^2C ได้แก่ ผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 7 ซม. กับปูนขนาดกลางข้างละ 5 มม., ผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 17 ซม. กับปูนน้ำหนักเบา ข้างละ 1 ซม., ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 27 ซม. กับปูนน้ำหนักเบา ข้างละ 1 ซม. และนำมาจำลองสภาพการใช้งานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1 D ซึ่งจะทำการเก็บวัดผลข้อมูลทางด้านอุณหภูมิภายในอาคาร และค่าภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และประเมินผลการใช้งานผนังมวลสารภายนอกกับอาคารรูปแบบต่างๆ ที่มีรูปร่างภายนอกของอาคารต่างกัน แต่มีพื้นที่ใช้สอยของอาคารเท่ากัน

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า รูปแบบผนังและรูปแบบอาคารที่มีจำนวนชั่วโมงของอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วงสภาวะน่าสบายมากที่สุด ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ ได้แก่ ผนังมวลสารน้อย และรูปแบบอาคารที่มีลักษณะผังพื้นแบบแผ่คลี่ – มีพื้นที่ผนังอาคารมาก สภาพการใช้งานในสภาวะที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง และปรับอากาศเฉพาะเวลากลางวันนั้น จะให้ผลทดลองเหมือนกัน คือ แบบผนังที่มีผลรวมของค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุด คือ ผนังมวลสารมาก รูปแบบอาคารที่เหมาะสมที่สุด คือ อาคารที่มีพื้นที่ผนังน้อยที่สุด (อาคารสี่เหลี่ยมจัตุรัส) สำหรับในสภาวะที่มีการปรับอากาศเฉพาะกลางคืน ผลการทดลองรูปแบบผนัง และรูปแบบอาคารที่มีค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุด ได้แก่ ผนังมวลสารน้อย และรูปแบบอาคารที่มีพื้นที่ผนังน้อยที่สุด

2.4.3 แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดย กัญจน์ พิเชษฐ์ศิลป์ (2545)

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคารเดิมที่มีการปรับอากาศภายในอาคาร เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ด้วยการนำเอาฉนวนกันความร้อนมาใช้ร่วมกับผนังอาคาร โดยพิจารณาระบบผนังที่นิยมก่อสร้างกันในปัจจุบัน ประกอบด้วยผนังอิฐมอญและผนังมวลเบา หารูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ กับรูปแบบที่จะนำมาใช้งานกับผนัง 2 ชนิด 4 ทิศทางของอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ พร้อมทั้งหาความหนาที่เหมาะสม และทำการเลือกรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งาน โดยพิจารณาตัวแปรด้านอุณหภูมิประกอบการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

โดยการศึกษาได้ทำการเลือกความหนาของฉนวนกันความร้อนตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ที่มีความเหมาะสมในการปรับปรุงผนังของอาคารปรับอากาศทั้ง 4 ทิศ โดยทำการติดตั้งฉนวนทั้งภายในและภายนอกของผนังอาคารเดิม และเลือกรูปแบบที่เป็นไปได้ในการใช้งาน

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนสามารถลดค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของวันลงได้ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันค่อนข้างคงที่ การติดตั้งฉนวนที่มีความหนา 3 นิ้ว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันคงที่มากที่สุด

ในส่วนของความร้อนพบว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 1-3 นิ้ว ทั้งภายในและภายนอก สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมลงได้ 75%, 85% และ 90% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการคืนทุนพบว่า การเลือกใช้ฉนวน 3 นิ้วทั้ง 4 ทิศทาง มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด (ไม่เกินระยะเวลาที่สามารถยอมรับได้ที่ 3.5 ปี) และสามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้สูงสุด ซึ่งได้ผลดีกว่าการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 2 นิ้ว และ 1 นิ้ว ส่วนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของการติดตั้งฉนวน 3 นิ้ว มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดในทุกช่วงการใช้งาน

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานกับอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ มากกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายใน เนื่องจากค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดมีค่าน้อย (ติดฉนวนภายในหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ 4 ชั่วโมง ติดฉนวนภายนอกหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ 5 ชั่วโมง) ส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาลดลง นอกจากนี้การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารยังสามารถป้องกันการเกิดสะพานความร้อน (thermal bridge) และป้องกันความชื้น จึงไม่มีผลต่อการเกิดการควบแน่นในผนัง และทำให้ไม่สูญเสียพื้นที่ใช้งานในอาคาร

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ สรุปผล เพื่อให้ได้ผลข้อมูลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารที่มีรูปแบบการใช้งานระบบปรับอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) ด้วยการจำลองสภาพ การใช้งานปรับอากาศที่มีรูปแบบต่างๆ โดยมีระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการศึกษา แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ได้แก่

1. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. การกำหนดและจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง
3. การจัดเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย
4. การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
5. การทดลองในสภาวะการใช้งานปรับอากาศรูปแบบต่างๆ
6. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล
7. การสรุปผลและข้อเสนอแนะ

3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับความร้อนและการถ่ายเทความร้อน

- กระบวนการถ่ายเทความร้อน
- พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ
- คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน
- ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (thermal transfer)
- อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน (mean radiant temperature: MRT)

3.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานปรับอากาศ

- ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานปรับอากาศที่เกิดจากผนัง

3.1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับฉนวนกันความร้อน

- ความหมายและกระบวนการถ่ายความร้อนของวัสดุฉนวน
- ปัจจัยที่มีผลต่อการลดความร้อนของฉนวนกันความร้อน

3.1.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2 การกำหนดและจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ ผนัง วัสดุฉนวนกันความร้อน รวมไปถึงตัวแปรที่มีผลกับค่าการใช้พลังงานปรับอากาศ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในกำหนดและสร้างวัสดุที่ ใช้ในการทดลองที่มีคุณสมบัติเหมาะสม สามารถใช้ในการทด ลองได้ตรงตามจุดประสงค์ ทั้งยังเป็นการควบคุมตัวแปรที่ต้องการทด ลองให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยในขั้นตอนการกำหนดและสร้างวัสดุที่ใช้ในการทดลอง สามารถแบ่งขั้นตอนได้ดังนี้

3.2.1 การคัดเลือกวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลองและการควบคุมตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

3.2.1 การคัดเลือกวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

โดยการคัดเลือกจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร ซึ่งอ้างอิงจากวัสดุประกอบอาคารที่มีการใช้งานแพร่หลายในประเทศ [1] และนำมาพิจารณาคุณสมบัติด้านความร้อนของวัสดุ วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความสามารถในการนำความร้อน และคุณสมบัติอื่นที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุนั้นๆ จากข้อมูลที่ได้จากเอกสารประกอบหลักสูตรมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อที่จะคัดเลือกวัสดุที่ใช้เป็นตัวแทนของวัสดุผนังภายนอก และวัสดุฉนวน นอกจากนี้ยังมีเกณฑ์ในการเลือกวัสดุเพื่อใช้เป็นตัวแทนของวัสดุผนัง และวัสดุฉนวน เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะพื้นฐาน เพื่อเลือกวัสดุที่สามารถนำผลวิจัยไปใช้อ้างอิงได้จริงเมื่อมีการก่อสร้างภายในประเทศ โดยพิจารณาปัจจัยด้านการใช้งานเพิ่มเติม

หลักเกณฑ์การคัดเลือกวัสดุเพื่อเป็นตัวแทนของวัสดุผนัง และวัสดุฉนวน สำหรับงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. เป็นวัสดุที่สามารถใช้ในระบบการก่อสร้างผนังภายนอกได้
2. เป็นวัสดุที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศ
3. เป็นวัสดุที่สามารถจัดหาได้ง่าย
    - ตัวแทนของวัสดุผนังต้องมีค่าการนำความร้อนที่ดี แข็งแรงทนทาน วิธีการก่อสร้างไม่ยุ่งยาก

---

[1] พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. การเลือกใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน “ชุดรู้รักพลังงาน”. เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. (กรุงเทพฯ: 2548).

- ตัวแทนของวัสดุฉนวนต้องมีประสิทธิภาพในการกันความร้อนได้ดี และมีราคาที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุก่อสร้างชนิดที่เลือกมาพิจารณา

วัสดุ	k (W/m ^{o}C)	ρ (kgm^{-3})	c_p (kJ.kg^{-1}.^{o}C^{-1})
วัสดุผนัง			
อิฐมอญ	0.473	1600	0.79
คอนกรีตบล็อก	0.519	2210	0.92
คอนกรีตมวลเบา	0.21	700	0.84
ยิปซั่มบอร์ด	0.282	800	1.09
ไฟเบอร์บอร์ด	0.052	264	1.3
วัสดุฉนวน			
ใยแก้ว	0.038	16	0.96
โพลีสไตรีน แบบขยายตัว	0.037	16	1.21
โพลียูรีเทน	0.023-0.026	24-40	1.59

จากการวิเคราะห์ตาราง ที่ 3.1 พบว่าวัสดุอิฐมอญ มีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดของตัวแทนวัสดุผนังมากที่สุด โดยมีคุณสมบัติคือ มีค่าการนำความร้อนสูง มีค่าความหนาแน่นมาก สามารถเก็บกักความร้อนได้ดี อีกทั้งยังเป็นระบบผนังภายนอกที่มีความแข็งแรงทนทาน มีการใช้งานแพร่หลาย และมีระบบการก่อสร้างที่ไม่ยุ่งยาก สามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปใช้ได้จริง

ตัวแทนวัสดุฉนวนที่เลือกใช้ ได้แก่ ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้สามารถลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุได้เป็นอย่างดี แม้จะไม่มากเท่าฉนวนโพลียูรีเทน แต่หากคำนึงถึงการใช้งานโดยทั่วไปแล้ว ฉนวนโฟมโพลีสไตรีนมีราคาค่าวัสดุค่าติดตั้งที่เหมาะสมกับคุณภาพ และมีความคุ้มค่าสำหรับการใช้งานในระยะยาวมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฉนวนประเภทอื่นๆ[2]

สรุปการคัดเลือกวัสดุผนัง และวัสดุฉนวนที่ใช้ในการทดลอง

- วัสดุผนัง ได้แก่ อิฐมอญ
- วัสดุฉนวน ได้แก่ โฟมโพลีสไตรีนแบบขยายตัว (Expanded polystyrene foam,EPS)

---

[2] กษิดา ชำนาญดี. แนวทางในการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับผนัง ที่มีความคุ้มค่าในการติดตั้งกับบ้านพักอาศัยมากที่สุด ใน .บทความประชุมวิชาการสาระศาสตร์ ครั้งที่ 16. (กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554).

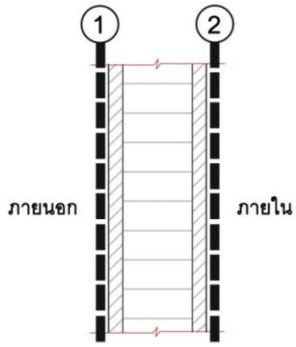
ซึ่งเมื่อนำวัสดุผนังและวัสดุฉนวนที่เลือกมาประกอบกัน จะได้ระบบผนังมีความเหมาะสมและมีคุณสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้

3.2.2 การจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และการควบคุมตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

หลังจากทำการคัดเลือกวัสดุเพื่อเป็นตัวแทนในการทดสอบ ขั้นต่อไปคือการติดตั้งวัสดุทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ผนังที่มีประสิทธิภาพในการช่วยลดการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นมาใช้ในการทดลอง โดยเมื่อพิจารณาระบบโครงของอาคารทั่วไป ส่วนใหญ่มักใช้ระบบผนังภายนอกเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนครึ่งแผ่น (ความหนา 10 เซนติเมตร) การติดตั้งวัสดุฉนวนที่ผนัง จึงมีตำแหน่งในการติดตั้งได้ 2 กรณี คือ

1.) การติดตั้งวัสดุฉนวนภายนอกอาคาร

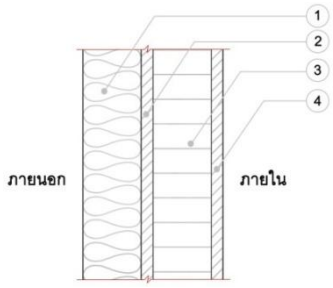
2.) การติดตั้งวัสดุฉนวนภายในอาคาร



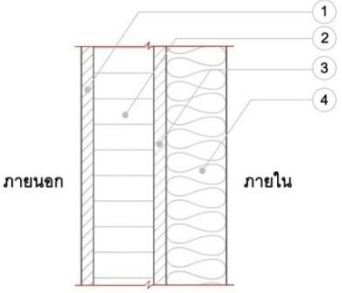
ภาพที่ 3.1 แสดงตำแหน่งในการติดตั้งวัสดุทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน

ในการติดตั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองสองชนิดเข้าด้วยกัน ทั้ง 2 กรณี มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่ออุณหภูมิและอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศจากการติดตั้งตำแหน่งฉนวนที่แตกต่างกัน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมตัวแปรอื่นๆ นอกเหนือจากตำแหน่งของฉนวน ทั้งที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องให้เหมือนหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งตัวแปรที่สามารถควบคุมได้จากการเลือกใช้วัสดุประเภทเดียวกันทั้งหมดทั้งวัสดุผนังและวัสดุฉนวน คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value) ส่วนตัวแปรอื่นๆ นอกเหนือจากวัสดุ เช่น สีและลักษณะพื้นผิวภายนอก จะมีการควบคุมด้วยการใช้สีชนิดเดียวกัน เพื่อให้ถือว่ามีค่าการกระจายและดูดซับความร้อนที่ผิววัสดุเท่ากันทั้ง 2 กรณี โดยสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value) ของผนังทั้ง 2 กรณีได้ดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุในกรณีติดตั้งฉนวนภายนอก

ติดตั้งวัสดุฉนวนภายนอก	ชั้นของวัสดุ	ความหนา (m)	K (W/m °C)	R value (m^2. °C/W)
	ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
	1. โฟมโพลีสไตรีน 2 นิ้ว	0.050	0.037	1.351
	2. ปูนฉาบ	0.015	0.72	0.021
	3. ก่ออิฐมอญ 7 ซม.	0.07	0.473	0.148
	4. ปูนฉาบ	0.015	0.72	0.021
	ฟิล์มอากาศภายใน			0.120
			R total =	1.705
			U value	**0.59**

ตารางที่ 3.3 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุในกรณีติดตั้งฉนวนภายใน

ติดตั้งวัสดุฉนวนภายใน	ชั้นของวัสดุ	ความหนา (m)	K (W/m °C)	R value (m^2. °C/W)
	ฟิล์มอากาศภายนอก			0.044
	1. ปูนฉาบ	0.015	0.72	0.021
	2. ก่ออิฐมอญ 7 ซม.	0.07	0.473	0.148
	3. ปูนฉาบ	0.015	0.72	0.021
	4. โฟมโพลีสไตรีน 2 นิ้ว	0.050	0.037	1.351
	ฟิล์มอากาศภายใน			0.120
			R total	1.705
			U value	**0.59**

3.3 การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

เป็นกระบวนการจัดการวัสดุและอุปกรณ์ที่มีความเกี่ยวข้องในการวิจัย โดยเริ่มตั้งแต่การสร้างห้องที่ใช้ในการทดลอง ตลอดไปจนการติดตั้งเครื่องมือวัดผลต่างๆ เพื่อเตรียมสำหรับการทดลองและเก็บข้อมูลในสภาวะ การใช้งานปรับอากาศรูปแบบต่างๆ โดยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

3.3.1 **ห้องทดลองด้านพลังงาน** (Mockup for Energy Testing)

ห้องทดลองด้านพลังงาน เป็นห้องที่ใช้เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการใช้พลังงานปรับอากาศ ขนาด 9 ตารางเมตร (3.00x3.00 เมตร) สูง 2.50 เมตร จำนวน 2 ห้อง โดยใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 4 นิ้ว ปิดด้านบนแทนหลังคา เพื่อลดอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกซึ่งมาจากหลังคาให้มีผลกระทบต่อการทดลองน้อยที่สุด

สถานที่ทำการทดลองอยู่ในบริเวณพื้นที่โล่ง ตั้งอยู่ที่ อ.เมือง จ.ปทุมธานี ทำการทดลองและเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2555 ถึงวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2555 ซึ่งเป็นช่วงที่มีสภาพอากาศร้อนและมีแดดตลอดทั้งวัน

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของห้องทดลองด้านพลังงาน

ประเภท	วัสดุ
1.โครงสร้าง	เสาเหล็ก 4”x4 “ , โครงหลังคาเหล็กกล่อง 3”x1 ½”
2.พื้น	คอนกรีต ความหนา 0.15 m.
3.ผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนครึ่งแผ่น ความหนา 0.10 m. ทาสีขาว
4.หลังคา	แผ่นไม้อัดหนา 6 mm. ปิดทับด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน หนา 4”
5.หน้าต่าง	กระจกเขียว หนา 6 mm. (บานเปิด เฟรมอลูมิเนียม)
6.ประตู	ไม้อัด ขนาด 0.80x2.00 m. หนา 35 mm.
7.แผงกันแดด	ไม้อัด หนา 6 mm. ทาสีขาว

1.) ด้านทั้ง 4 ของห้องทดลองหันเข้าหาทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก

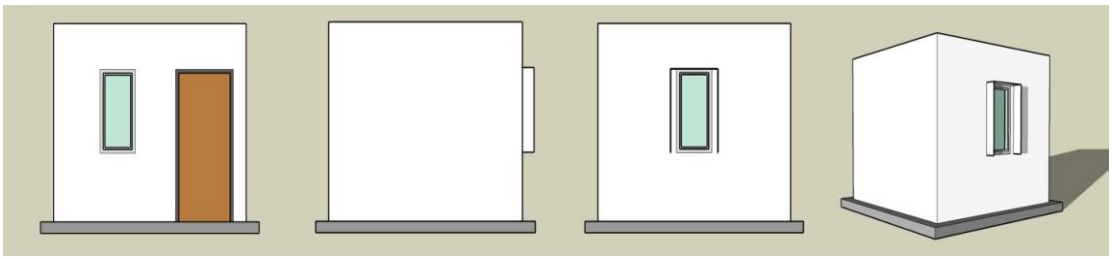
2.) ผนังด้านทิศเหนือซึ่งได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์น้อยที่สุด ติดตั้งประตูบานไม้ขนาด 0.80 x 2.00 เมตร และหน้าต่างเฟรมอลูมิเนียมบานเปิดเดี่ยว ขนาด 0.45 x 1.00 เมตร 1 บาน (กระจกเขียว)

3.) ด้านทิศตะวันออกและตะวันตกเป็นผนังทึบ

4.) ด้านทิศใต้ซึ่งเป็นทิศทางที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด ติดตั้งหน้าต่างเฟรมอลูมิเนียมบานเปิดเดี่ยว ขนาด 0.45 x 1.00 เมตร 1 บาน (กระจกเขียว) พร้อมแผงกันแดดเพื่อลดรังสีตรงจากดวงอาทิตย์เข้าสู่ภายในห้อง

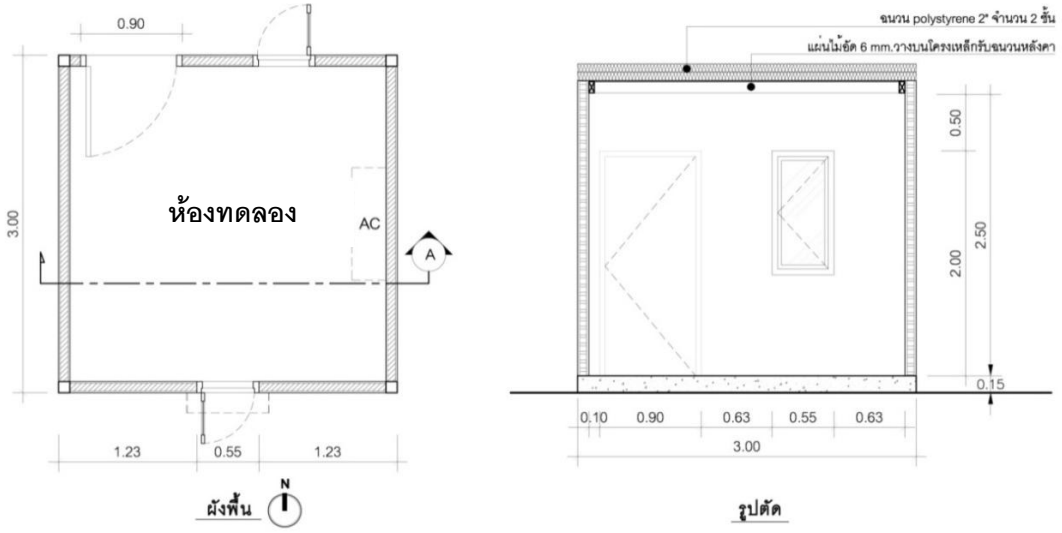
5.) หลังคาของห้องทดลองติดตั้งแผ่นไม้อัดหนา 6 mm. วางบนโครงเหล็ก ปิดทับด้านบนด้วยฉนวนโพลีสไตรีน หนา 4” และปิดด้วยแผ่นพลาสติก 1 ชั้นเพื่อกันน้ำรั่วซึม

6.) พื้นที่หน้าต่างเพื่อใช้ในการระบายอากาศ (เมื่อปิดเครื่องปรับอากาศ) คิดเป็นร้อยละ 10 ของพื้นที่ห้อง โดยอ้างอิงจากเกณฑ์หน้าต่างที่เล็กที่สุดตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39



ผนังด้านทิศเหนือ ผนังด้านทิศตะวันตก ผนังด้านทิศใต้ perspective

ภาพที่ 3.2 รูปด้านห้องทดลองด้านพลังงาน



ภาพที่ 3.3 ผังพื้นและรูปตัดของห้องทดลอง

ภาพที่ 3.4 ห้องทดลอง และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ด้านในห้องทดลองติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ยี่ห้อ DAIKIN รุ่น Seista (AT09JV2S) ขนาด 9,000 BTU เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคาร

เมื่อกำหนดและควบคุมตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในสภาวะเดียวกันแล้ว จะเหลือตัวแปรที่ต้องการทำการทดสอบเพียงตัวแปรเดียวที่แตกต่างกัน คือ ตำแหน่งการติดตั้งฉนวน โดยจะทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังอาคารทั้ง 4 ด้าน โดยห้องทดลองห้องแรกติดตั้งภายนอกอาคาร และห้องที่สองติดตั้งภายในอาคาร

ขั้นตอนการทำห้องทดลองด้านพลังงาน

ขั้นตอนที่ 1 ทำการปรับพื้นที่และเทพื้นของห้องทดลอง

ขั้นตอนที่ 2 วางโครงสร้างเสา และโครงหลังคา

ขั้นตอนที่ 3 ก่อผนังก่ออิฐ ฉาบปูน

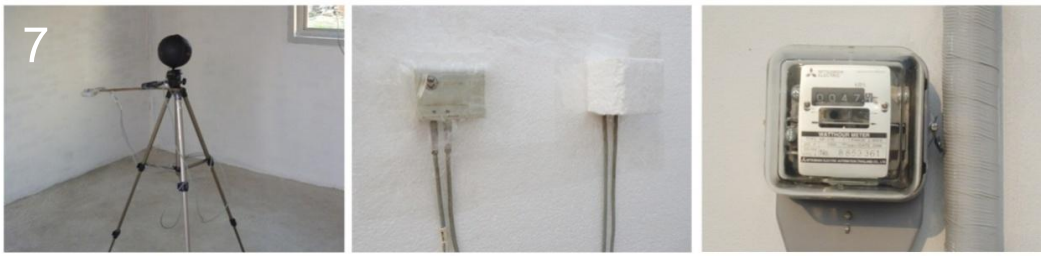
ขั้นตอนที่ 4 ติดตั้งประตู หน้าต่าง ทาสีผนังอาคาร ติดตั้งแผงบังแดดทางทิศใต้

ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการสร้างห้องทดลองด้านพลังงาน

ขั้นตอนที่ 5 ติดตั้งฉนวนด้านบน(แทนหลังคา) และตรวจสอบรอยรั่วซึม

ขั้นตอนที่ 6 ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และมิเตอร์ไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 7 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของอุณหภูมิภายในห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง



ขั้นตอนที่ 8 ติดตั้งฉนวนภายนอกและภายในผนังอาคาร และตรวจสอบรอยรั่วซึม

ขั้นตอนที่ 9 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ

ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการสร้างห้องทดลองด้านพลังงาน (ต่อ)

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และการติดตั้ง

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของห้องทดลอง เพื่อตรวจวัดค่าการใช้พลังงาน ดังนี้

ก. เครื่องคอมพิวเตอร์ และsoftware โปรแกรม Boxcar Pro

ข. เครื่องมือที่ใช้บันทึกข้อมูลด้านอุณหภูมิอัตโนมัติ (data logger) ของ HOBO

ค. สายวัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple)

ง. globe thermometer พร้อมขาตั้ง

จ. มิเตอร์ไฟฟ้าเพื่อใช้วัดอัตราการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศ

เครื่องคอมพิวเตอร์

data logger (HOBO)

สายวัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปิล

globe thermometer

มิเตอร์ไฟฟ้า

ภาพที่ 3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

3.4 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ เพื่อความถูกต้องเที่ยงตรงของข้อมูล

3.4.1 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัววัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple)

3.4.2 การตรวจสอบอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

3.4.3 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองด้านพลังงาน

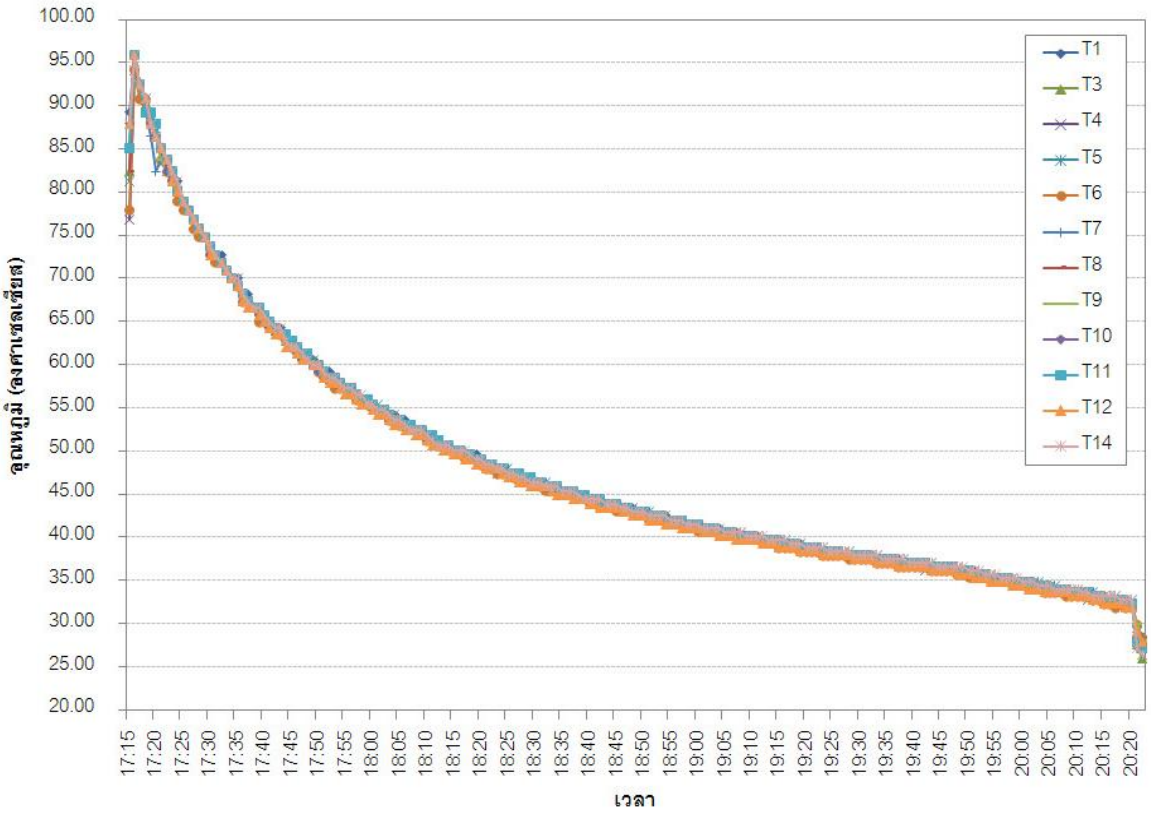
3.4.1 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัววัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปิล(thermocouple)

1.) ทดสอบโดยกวนในน้ำร้อน

นำหัวเทอร์มอคัปเปิลทั้งหมดจุ่มในน้ำร้อนให้อ่านค่าอุณหภูมิได้ทั่วถึงและทิ้งไว้ให้น้ำมีอุณหภูมิลดลงช้าๆ จนใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง และนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบ เปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ทั้งหมด หากมีหัววัดอุณหภูมิใดที่มีความคลาดเคลื่อนจากตัววัดอื่นๆ จะทำการคัดแยกไม่นำมาใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 3.8 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัววัดเทอร์มอคัปเปิลด้วยการกวนในน้ำร้อน

แผนภูมิที่ 3.1 แสดงข้อมูลค่าอุณหภูมิของหัววัดเทอร์มอคัปเปิลที่ได้จากการกวนในน้ำร้อน

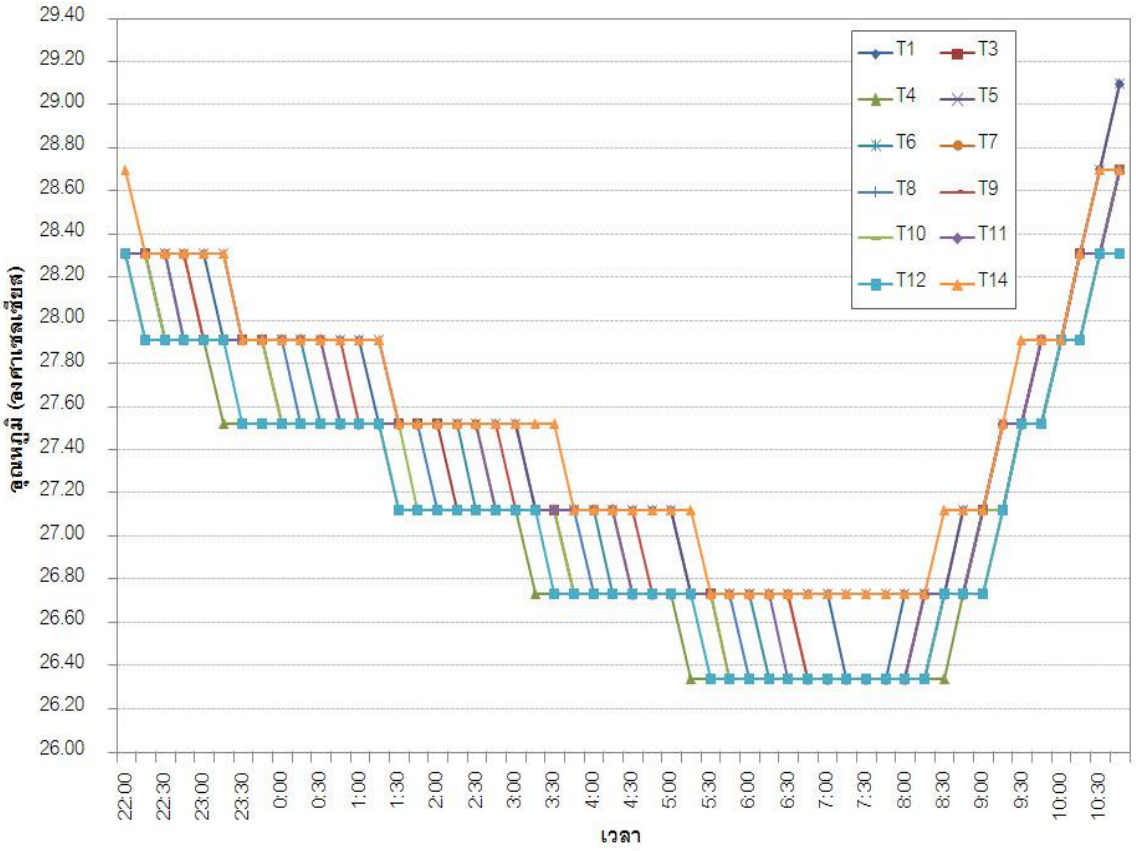


2.) ทดสอบโดยเก็บข้อมูลภายใต้สภาวะเดียวกัน

นำหัวเทอร์มอคัปเปิลติดตั้งไว้ที่จุดเดียวกันภายในห้อง ที่มีลักษณะปิด เพื่อควบคุมปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลกระทบ ทำการเก็บข้อมูล ด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้น เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบ หากมีหัววัดอุณหภูมิใดที่มีความคลาดเคลื่อนจากตัววัดอื่น จะทำการคัดแยกไม่นำมาใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 3.9 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัววัดเทอร์มอคัปเปิลโดยเก็บข้อมูลภายใต้สภาวะเดียวกัน

แผนภูมิที่ 3.2 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของหัววัดเทอร์มอคัปเปิลที่วัดได้ภายใต้สภาวะเดียวกัน



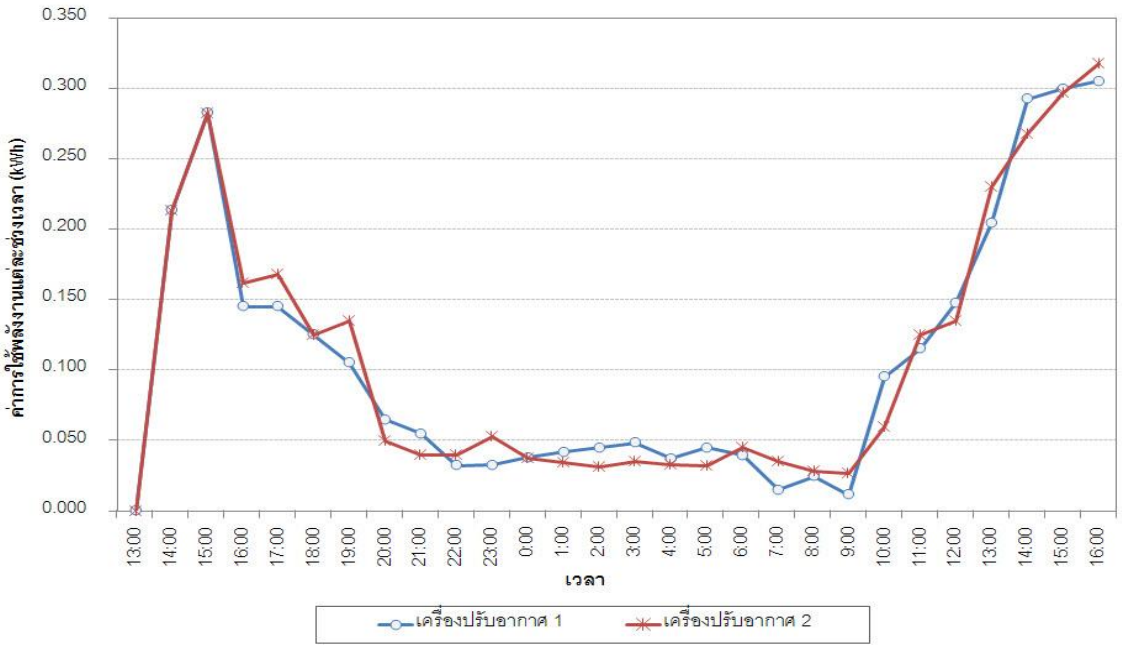
ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบทั้ง 2 รูปแบบ พบว่า จากจำนวนหัววัดอุณหภูมิทั้งหมด 14 หัว มีจำนวน 12 หัวที่ให้ค่าการวัดอุณหภูมิไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนอีก 2 หัวมีค่าที่คลาดเคลื่อนมากอย่างชัดเจน จึงทำการคัดแยกออกไม่นำมาใช้งาน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก) สำหรับหัววัดอุณหภูมิจำนวน 12 หัวที่คัดเลือกมาใช้งาน มีค่าการคลาดเคลื่อนของข้อมูลประมาณ 0.39 องศาเซลเซียส จึงนำข้อมูลที่ วัดได้จากทุกหัวมา ทำการหาค่าเฉลี่ยและตรวจสอบว่าแต่ละหัวมีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่าเฉลี่ยเป็นบวกหรือลบเท่าใด จากนั้นจึงใช้วิธีการจับคู่หัววัดอุณหภูมิที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่าๆ กัน เลือกนำไปติดตั้งในตำแหน่งที่เหมือนกันของห้องทดลองแต่ละห้อง

3.4.2 การตรวจสอบอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

ทำการทดสอบโดยการเปิดเครื่องปรับอากาศภายในห้องทดลอง และทำการตรวจวัดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศจากค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ไฟฟ้า เป็นเวลา 27 ชั่วโมง โดยทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ ทุกๆ 1 ชั่วโมง

ผลที่ได้คือ ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ทั้ง 2 ตัวมีค่าใกล้เคียงกัน โดยห้องทดลองที่ 1 ใช้พลังงานปรับอากาศรวมทั้งสิ้น 3.005 kWh ส่วนห้องทดลองที่ 2 ใช้พลังงานปรับอากาศรวม 3.038 kWh ซึ่งมีค่ามากกว่าห้องทดลองที่ 1 คิดเป็น 1.09% หลังจากนั้นทำการทดสอบแบบเดียวกันซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งอัตราการใช้พลังงานที่ได้ให้ผลที่ได้ไปในทิศทางเดียวกัน

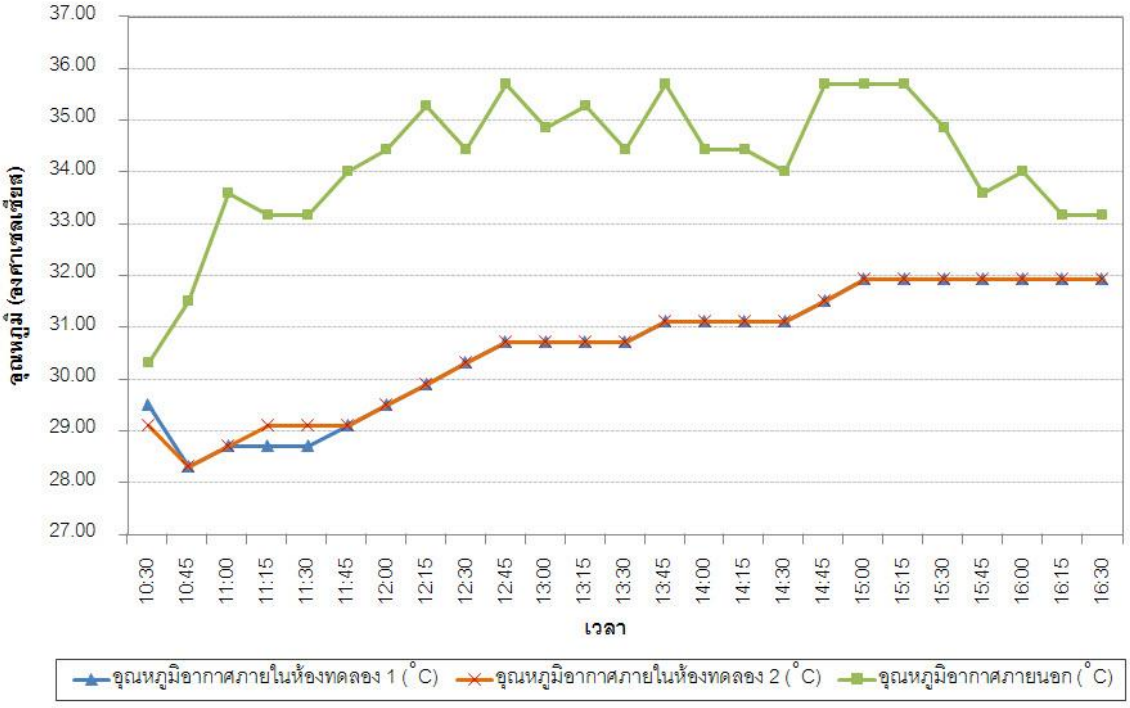
แผนภูมิที่ 3.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจากมิเตอร์ไฟฟ้า



3.4.3 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองด้านพลังงาน

หลังจากก่อสร้างห้องทดลองแล้วเสร็จ ทำการเปิดห้องทดลองให้มีการระบายอากาศตามธรรมชาติเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นจึงเริ่มทำการตรวจสอบค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในห้องทดลองทั้งสอง โดยทำการวัดอุณหภูมิโดยติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ data logger และหัววัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple) ที่ห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง ในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบ โดยทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2555 ตั้งแต่เวลา 10.30 – 16.30 น.

แผนภูมิที่ 3.4 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองทั้งสองห้อง เมื่อไม่มีการปรับอากาศ



ผลการทดสอบที่ได้พบว่า ช่วงเวลาที่ทำการทดสอบอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอกมีค่า 34.18 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 1 และห้องทดลองที่ 2 มีอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 30.6 และ 30.62 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยห้องทดลองทั้ง 2 ห้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยแตกต่างกัน 0.02 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก)

3.5 การทดลองในสภาวะการใช้งานปรับอากาศรูปแบบต่างๆ

ขั้นตอนในการทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิที่พื้นผิวผนัง ที่เกิดจากการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังของห้องทดลอง ที่มีการจำลองสภาวะการใช้งานเครื่องปรับอากาศที่แตกต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 สภาวะ ได้แก่

3.5.1 สภาวะที่ 1 ไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

เป็นการใช้งานโดยไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง และมีการเปิดหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง ซึ่งเป็นเกณฑ์ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 เพื่อให้มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศทุกๆ 30 นาที ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน

3.5.2 สภาวะที่ 2 การใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน (08.00 – 17.00 น.)

เป็นการใช้งานที่มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน 08.00 – 17.00 น. และปิดเครื่องปรับอากาศในเวลา 17.01 – 07.59 น. ขณะปิดเครื่องปรับอากาศ มีการเปิดหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง เพื่อให้มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศทุกๆ 30 นาที และค่าการใช้พลังงานปรับอากาศจากมิเตอร์ไฟฟ้าทุกๆ 1 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน

3.5.3 สภาวะที่ 3 การใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (20.00 – 06.00 น.)

เป็นการใช้งานที่มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน 20.00 – 06.00 น. และปิดเครื่องปรับอากาศในเวลา 06.01 – 19.59 น. ขณะปิดเครื่องปรับอากาศ มีการเปิดหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง เพื่อให้มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศทุกๆ 30 นาที และค่าการใช้พลังงานปรับอากาศจากมิเตอร์ไฟฟ้าทุกๆ 1 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน

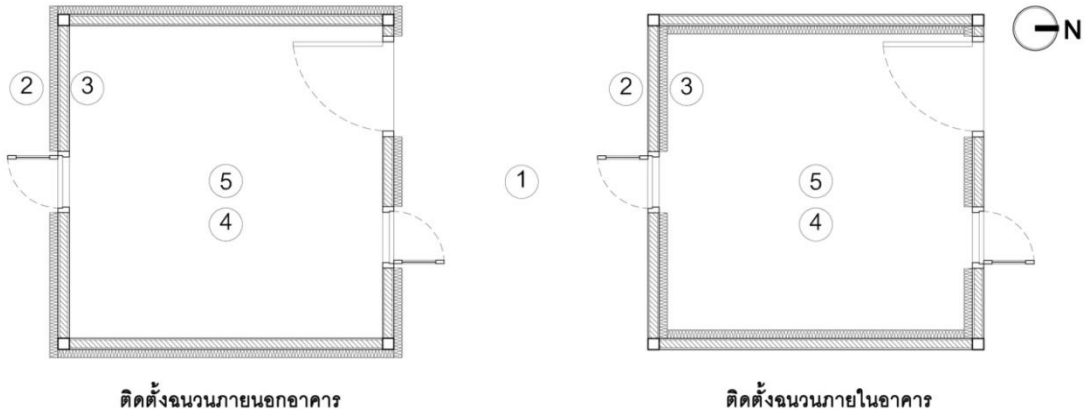
3.5.4 สภาวะที่ 4 มีการปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง

เป็นการใช้งานที่มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศทุกๆ 30 นาที และค่าการใช้พลังงานปรับอากาศจากมิเตอร์ไฟฟ้าทุกๆ 1 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน

ข้อมูลที่ทำการเก็บในแต่ละสภาวะ ประกอบด้วย 6 ข้อมูล ได้แก่

- อุณหภูมิอากาศภายนอก (outside air temperature)
- อุณหภูมิอากาศภายใน (inside air temperature)
- อุณหภูมิที่ผิวของผนังภายนอก (outside wall surface temperature)
- อุณหภูมิที่ผิวของผนังภายใน (inside wall surface temperature)
- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature)
- การใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศ ที่ได้จากมิเตอร์ไฟฟ้า

กำหนดให้ห้องทดลองที่ 1 เป็นการติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร และห้องทดลองที่ 2 เป็น การติดตั้งฉนวนภายในอาคาร โดยมีตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple) ที่ห้องทดลองแต่ละห้อง เพื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 3.10 ตำแหน่งการติดตั้งจุดค่าวัดอุณหภูมิของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง

ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายนอก 1 จุด

ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิที่ผิวภายนอกของผนัง ห้องละ 1 จุด

ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิที่ผิวภายในของผนัง ห้องละ 1 จุด

ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายใน ห้องละ 1 จุด

ตำแหน่งที่ 5 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature) ห้องละ 1 จุด

กำหนดความสูงของตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์เก็บผลการทดลอง ที่ความสูง 1.25 เมตร

3.5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

เมื่อได้ผลการทดลองครบทุกสภาวะ นำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ในหัวข้อต่างๆ ได้แก่

3.5.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องทดลอง

3.5.2 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในห้องทดลองแต่ละห้อง กับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอก ในสภาวะการใช้งานปรับอากาศรูปแบบต่างๆ

3.5.3 เปรียบเทียบค่า เฉลี่ย อุณหภูมิที่ผิวภาย ใน และ อุณหภูมิอากาศ ภายในของห้องทดลองแต่ละห้อง เพื่อพิจารณาการใช้พลังงานปรับอากาศ และค่าอุณหภูมิภายในเฉลี่ยทั้งในช่วงที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ เมื่อมีรูปแบบการใช้งานปรับอากาศที่แตกต่างกัน

3.5.4 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ ผิวภายในห้องทดลอง ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดของวัน เพื่อตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้อง และการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

3.5.5 เทียบเทียบการใช้พลังงานปรับอากาศที่เก็บข้อมูลได้จากการใช้งานสภาวะการใช้งานปรับอากาศต่างๆ ทั้งในแง่ของรูปแบบการใช้งานที่เกิดขึ้น และอัตราการใช้พลังงานที่เกิดขึ้น

3.6 การสรุปผล และข้อเสนอแนะ

นำผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาสรุป ตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่มีความเหมาะสมกับการปรับอากาศที่มีรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกัน สรุปข้อดี - ข้อเสียของการติดตั้งฉนวนแต่ละตำแหน่ง พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางในการนำผลการวิจัยไปใช้งานได้จริงให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ โดยทำการทดลองในสภาวะที่มีการใช้งานปรับอากาศในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศที่เกิดขึ้นจริงภายในห้องทดลองที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเข้ากับวัสดุผนังอาคารในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 2 ตำแหน่ง คือ การติดตั้งฉนวนภายนอก และการติดตั้งฉนวนภายใน จากนั้นจึงนำมาผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบ วิเคราะห์ และสรุปรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่มีตำแหน่งเหมาะสม ซึ่งสามารถช่วยลดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศในอาคารที่มีรูปแบบการใช้งานปรับอากาศที่แตกต่างกันลงได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

ในแต่ละการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนผลการทดลองที่เกิดขึ้น และส่วนการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยในส่วนแรกจะเป็นการอธิบายผลข้อมูลที่ได้แสดงออกมาในรูปแผนภูมิ และผลข้อมูลที่อ่านได้จากแผนภูมิ ในส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองที่เกิดขึ้น ซึ่งในการวิเคราะห์ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ ได้กำหนดหัวข้อหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ดังต่อไปนี้

1. เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่วัดได้
2. เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศ

4.1 การทดลองสภาวะที่ 1: ไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

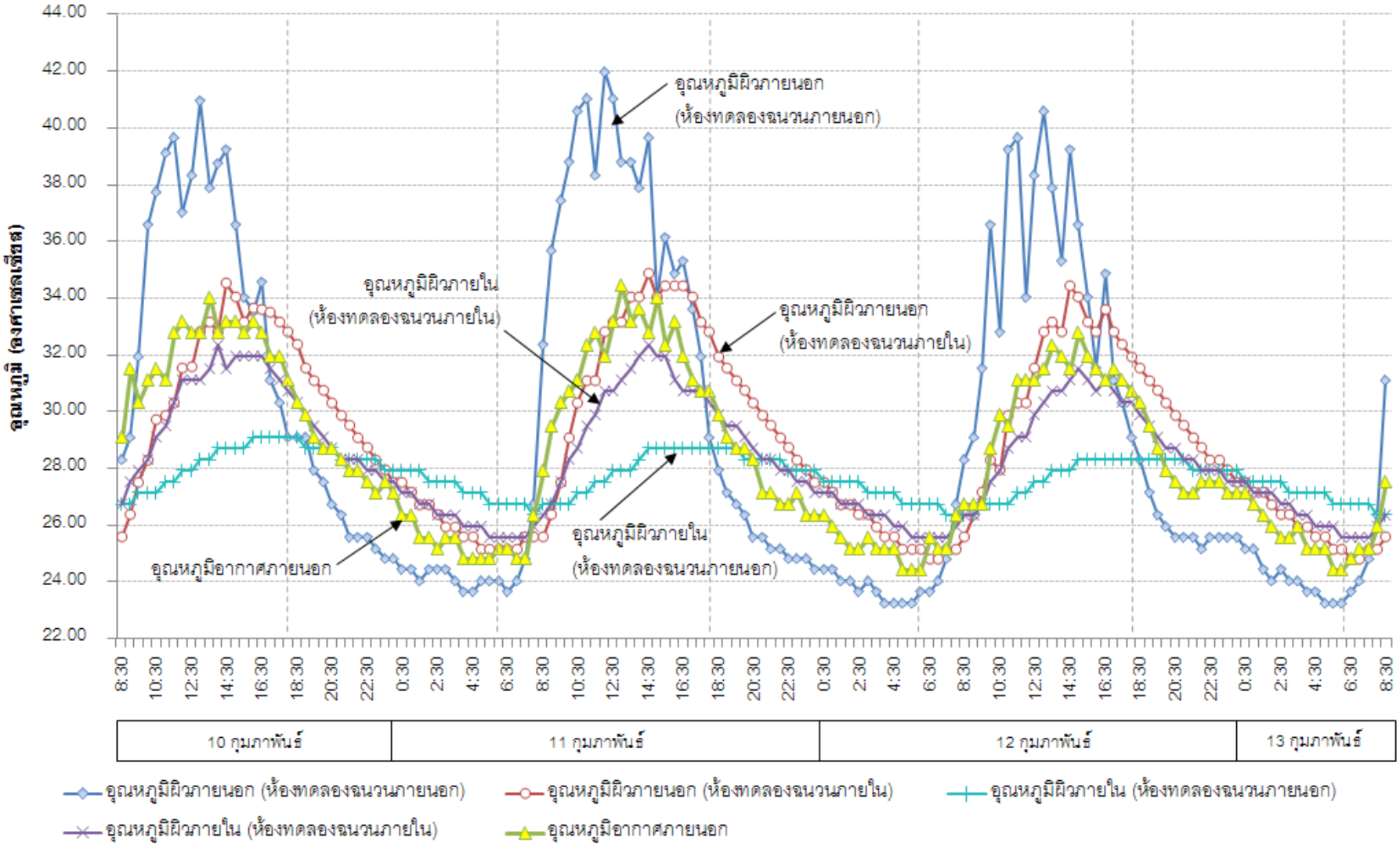
การทดลองสภาวะที่ 1 เป็นการทดลองการใช้งานในรูปแบบของห้องที่ไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร และผลทางอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวภายนอก ผิวภายใน อุณหภูมิอากาศภายใน รวมไปถึงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature) เมื่อมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ คือ ติดตั้งฉนวนภายนอกและติดตั้งฉนวนภายใน โดยวัสดุที่เป็นตัวแทนผนังภายนอกของอาคารทั่วไป ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูนครึ่งแผ่น หนา 0.10 เมตร ทาสีขาว ส่วนวัสดุที่เป็นตัวแทนฉนวน ได้แก่ โฟมโพลีสไตรีน หนา 2 นิ้ว (ความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)

สภาวะที่ 1 ทำการทดลองในวันที่ 10 – 13 กุมภาพันธ์ 2555 สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆบางส่วน (partly cloudy sky) และมีแดดตลอดช่วงกลางวัน โดยกำหนดให้ห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง มีรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ดังนี้

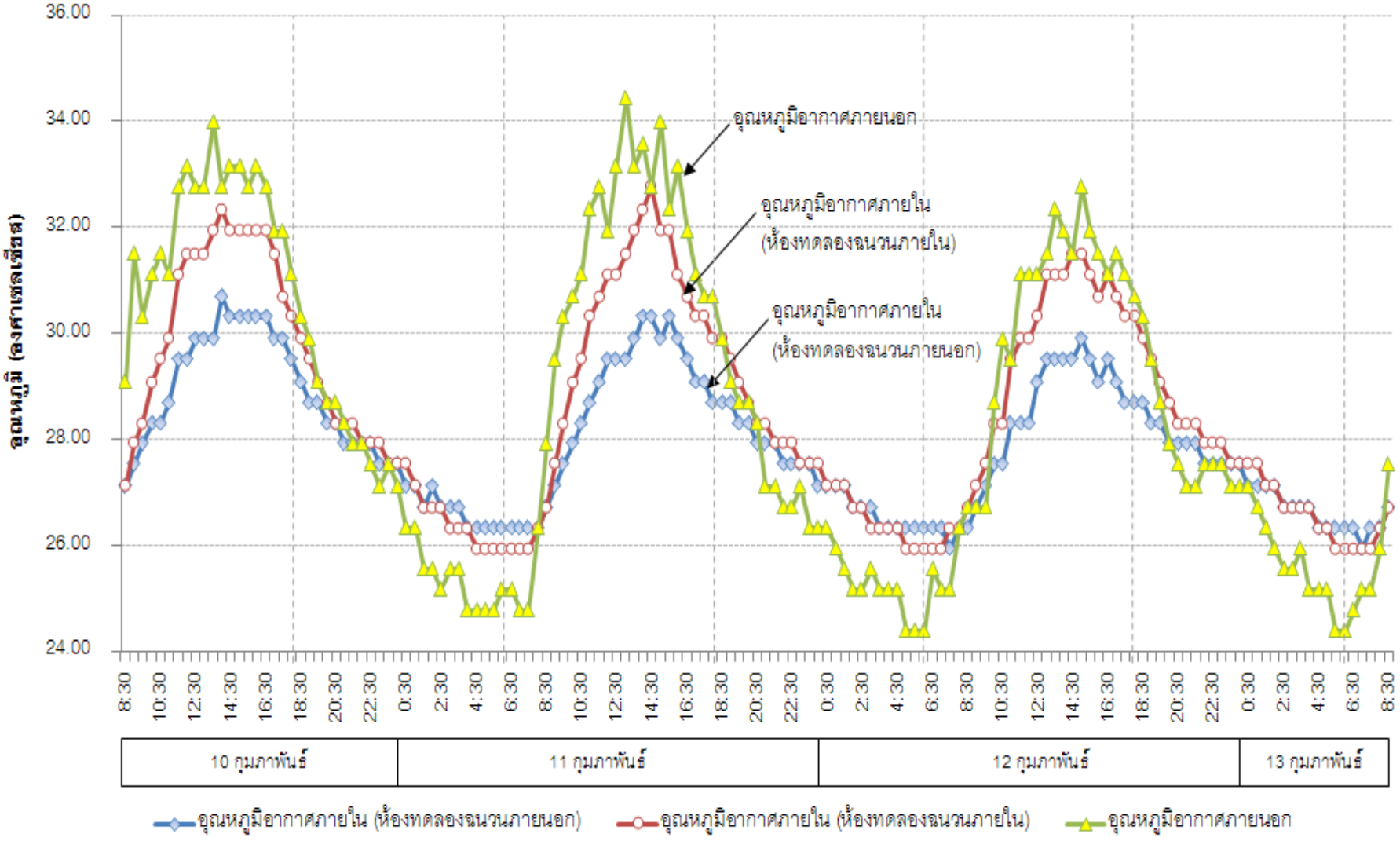
ห้องทดลองที่ 1 ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร

ห้องทดลองที่ 2 ติดตั้งฉนวนภายในอาคาร

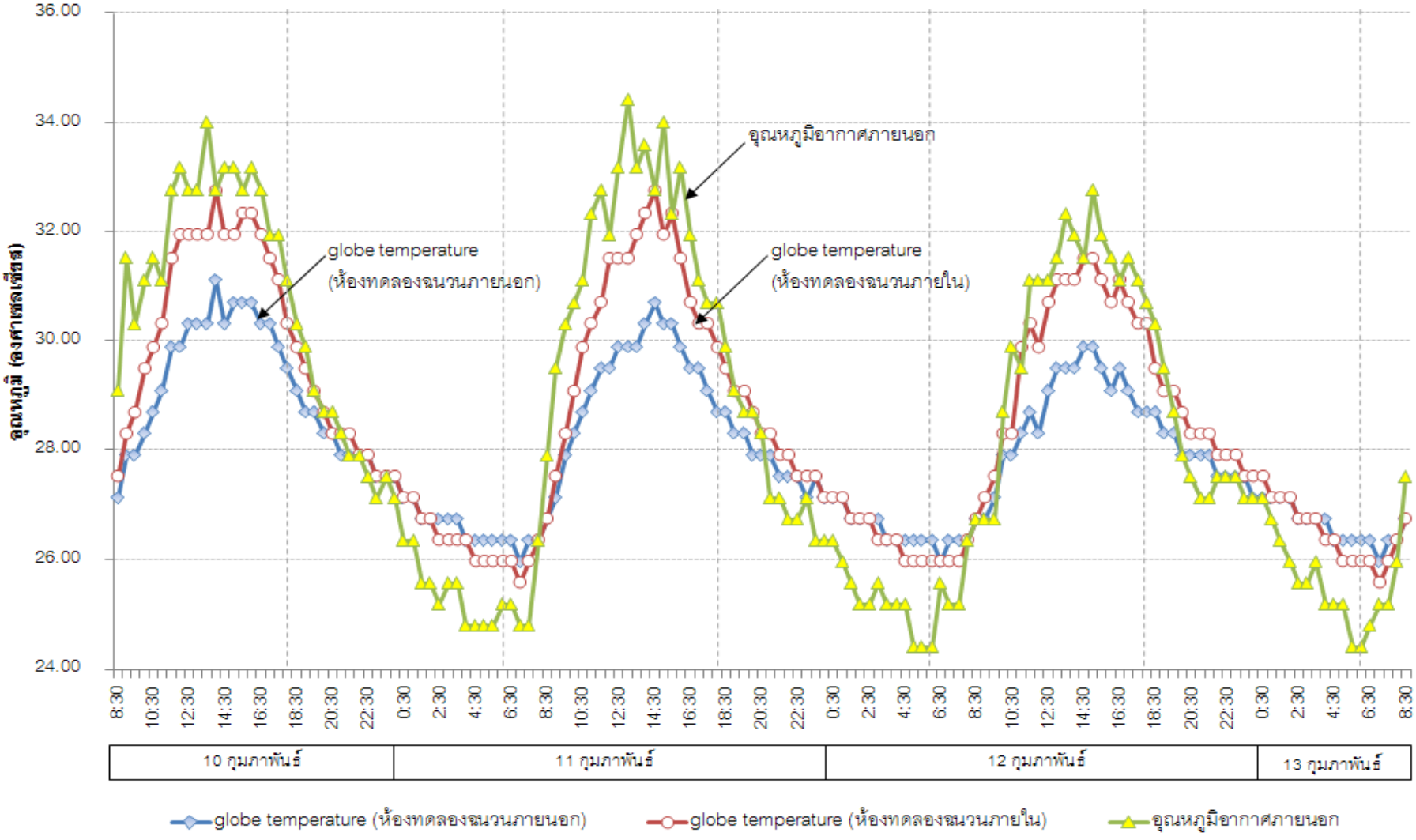
การทดลองนี้เป็นการทดลอง โดยไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง เมื่อคำนึงถึงการใช้งานตามความเป็นจริง จึงต้องมีการเปิดช่องหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง ซึ่งเป็นเกณฑ์ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39



แผนภูมิที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายนอก และอุณหภูมิผิวภายใน (สภาวะไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)



แผนภูมิที่ 4.2 เปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)



แผนภูมิที่ 4.3 เปรียบเทียบระหว่าง globe temperature) และอุณหภูมิอากาศภายนอกภายนอก (สภาวะไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)

4.1.1 ผลการทดลองสภาวะที่ 1: ไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

การทดลองสภาวะที่ 1 ทำการทดลองในวันที่ 10 – 13 กุมภาพันธ์ 2555 สภาพอากาศส่วนใหญ่มีเมฆบางส่วน (partly cloudy sky) และมีแดดตลอดช่วงกลางวัน

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองในสภาวะที่ 1

ค่าอุณหภูมิ	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ช่วงเวลา (น.)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	ช่วงเวลา (น.)	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (°C)
อุณหภูมิอากาศภายนอก	28.58	34.43	13.00	24.40	05.00 - 06.00	10.03
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายนอก	27.93	30.71	14.00	25.95	07.00 - 07.30	4.76
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายใน	28.55	32.76	14.30	25.95	04.30 - 07.30	6.81

จากแผนภูมิที่ 4.1 – 4.3 สามารถสรุปข้อมูลอุณหภูมิที่วัดค่าได้ในแต่ละจุด ดังนี้

<u>จุดที่ 2 อุณหภูมิที่ผิวภายนอก</u>

ห้องทดลองฉนวนภายนอก มีอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ย 29.38 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุด 41.99 องศาเซลเซียส (12.00 น.) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด 23.24 องศาเซลเซียส (04.00 – 05.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 18.75 องศาเซลเซียส โดยในช่วงเวลา 08.00 – 17.30 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และช่วงเวลา 18.00 – 07.30 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

ห้องทดลองฉนวนภายใน มีอุณหภูมิ ผิวภายนอกเฉลี่ย 29.13 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุด 34.85 องศาเซลเซียส (14.30 น.) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด 24.79 องศาเซลเซียส (06.30 – 07.00 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 10.06 องศาเซลเซียส โดยในเวลา 12.00 – 06.00 น. อุณหภูมิที่ผิววัสดุจะ มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และเวลา 08.00 – 12.00 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

จุดที่ 3 อุณหภูมิที่ผิวภายใน

ห้องทดลองฉนวนภายนอก มีอุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ย 27.70 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุด 29.10 องศาเซลเซียส (16.00 -18.30 น.) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด 26.34 องศาเซลเซียส (07.30 – 09.00 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 2.76 องศาเซลเซียส โดยในช่วงเวลา 21.00 – 07.30 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และช่วงเวลา 08.00 – 20.00 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

ห้องทดลองฉนวนภายใน มีอุณหภูมิผิวภาย ในเฉลี่ย 28.37 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุด 32.34 องศาเซลเซียส (14.30 น.) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด 25.56 องศาเซลเซียส (05.30 – 09.00 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 6.78 องศาเซลเซียส โดยในเวลา 18.30 – 07.30 น. อุณหภูมิที่ผิววัสดุจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และเวลา 08.00 – 18.00 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

จุดที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในห้อง

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ช่วงเวลา 20.30 – 08.00 น. อุณหภูมิภายในจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และช่วงเวลา 08.30 – 20.00 น. อุณหภูมิภายในจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

ห้องทดลองฉนวนภายใน เวลา 20.00 – 08.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และเวลา 08.30 – 18.30 น. อุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยตั้งแต่เวลาประมาณ 01.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก

จุดที่ 5 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature)

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง จะมีลักษณะเดียวกันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดได้ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 27.99 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 5.17 องศาเซลเซียส

ห้องทดลองฉนวนภายใน ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง จะมีลักษณะเดียวกันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดได้ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 28.56 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 7.20 องศาเซลเซียส

4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองในรูปแบบไม่มีการปรับอากาศ 24 ชั่วโมง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อสรุปข้อมูลด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในสภาวะใช้งานแบบไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีการวิเคราะห์ข้อมูลจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องทดลอง
- ค่าอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุด
- ค่าอุณหภูมิอากาศภายในเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก

<u>ลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องทดลอง</u>

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ฉนวนโฟมมีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิว ด้านนอกตลอดทั้งวันสูงมาก แต่สามารถช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทมาสู่ด้านในได้ดี ประกอบกับผนังก่ออิฐด้านในที่สามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อน ที่ผ่านเข้ามาสะสมในผนัง ไว้ได้ส่วนหนึ่ง ทำให้อุณหภูมิผิวผนังภายในมีค่าต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างช้าๆ ส่งผลให้อุณหภูมิผิวภายในค่อนข้างคงที่ และมีค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในตลอดทั้งวัน (temperature swing) น้อย โดยที่

ช่วงกลางวัน (06.00 – 18.00 น.) ฉนวนโฟมและผนังก่ออิฐด้านในสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในได้มาก ทำให้อุณหภูมิผิวภายในห้องมีความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อย (ประมาณ 2.76 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้อุณหภูมิภายในมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมาก (มากที่สุด 4.93 องศาเซลเซียส เวลา 13.00 น.) โดยมีค่าอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 28.45 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน 1.01 องศาเซลเซียส

ช่วงกลางคืน (18.01 – 05.59 น.) ผิวภายนอกมีอุณหภูมิลดต่ำลงอย่างรวดเร็วตามอุณหภูมิอากาศ แต่ผนังยังคงมีความร้อนส่วนหนึ่งสะสมอยู่ และค่อยๆ ปล่อยออกมา ทำให้อุณหภูมิผิวภายในและอุณหภูมิอากาศภายในลดต่ำลงอย่างช้าๆ จึงมีค่าความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่น้อย (ประมาณ 1.97 องศาเซลเซียส) และในช่วงเวลา 03.00 – 07.30 น. อุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าสูงกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน

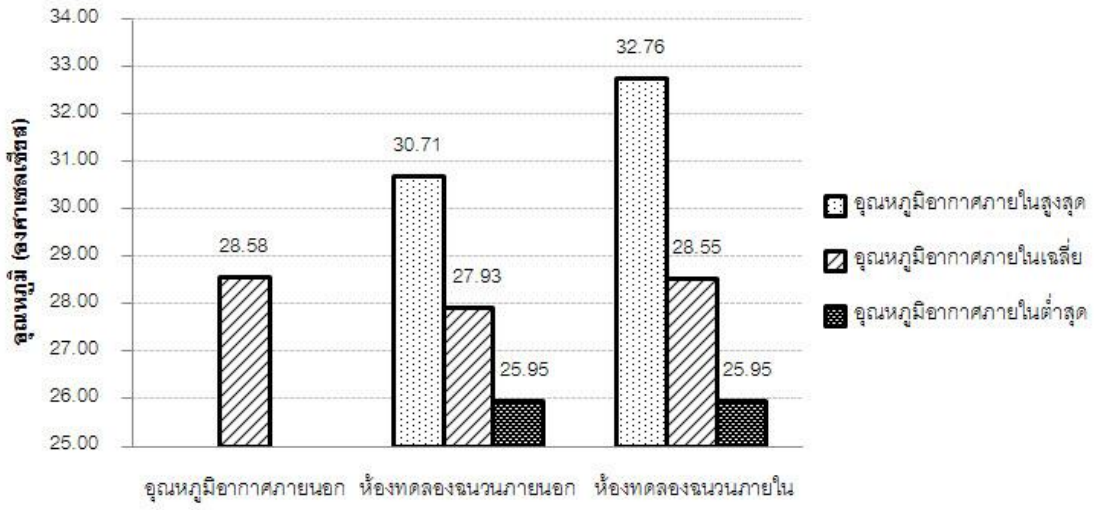
ห้องทดลองฉนวนภายใน ผนังก่ออิฐด้านนอกมีการกักเก็บความร้อนในช่วงกลางวันไว้และค่อยๆ คายความร้อนออกมาสู่ภายในในช่วงบ่าย ประกอบกับฉนวนโฟมด้านในที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวได้ง่ายตามสภาพพลังงานที่ได้รับ ทำให้อุณหภูมิผิวภายในไม่คงที่ และมี

ค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดทั้งวัน (temperature swing) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับห้องทดลองฉนวนภายนอก ส่งผลให้

ช่วงกลางวัน (06.00 – 18.00 น.) ฉนวนด้านในไม่สามารถช่วยลดความร้อนที่ได้รับจากผนังก่ออิฐด้านนอกมากนัก ทำให้อุณหภูมิผิวภายในและอุณหภูมิอากาศภายในมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวภายนอกเพียงเล็กน้อย (มากสุด 3.61 องศาเซลเซียส เวลา 9.00 น.) โดยมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย 29.46 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก

ช่วงกลางคืน (18.01 – 05.59 น.) เนื่องจากผิวภายในที่เป็นฉนวนโฟมทำให้อุณหภูมิผิวลดต่ำลงและมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวภายนอกได้อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิผิวและอากาศภายในจึงมีค่าความเปลี่ยนแปลงมาก (ประมาณ 4.47 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าลดลงจนกระทั่งช่วงเวลา 21.30 - 08.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก และมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าอยู่ที่ประมาณ 0.18 องศาเซลเซียส

<u>ค่าอุณหภูมิอากาศภายใน เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก</u>

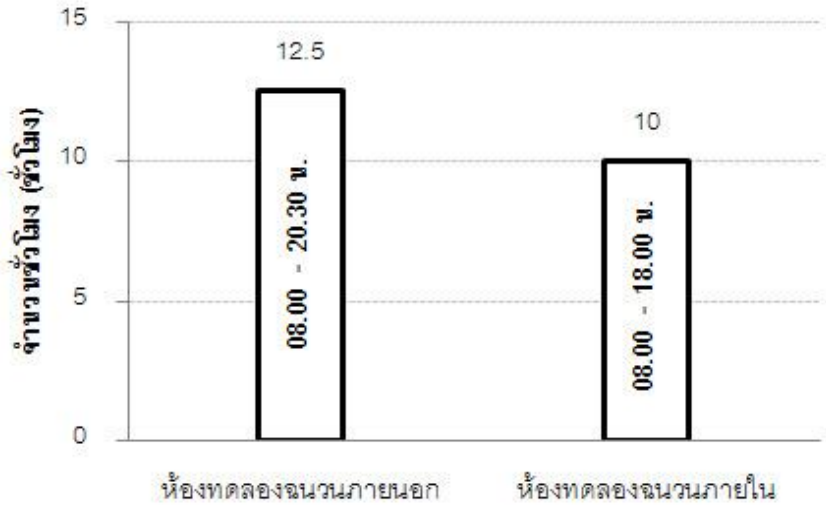


แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศภายในเปรียบเทียบระหว่าง 2 ห้องทดลอง
(สภาวะไม่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)

จากแผนภูมิที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศภายใน พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองฉนวนภายนอกมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่น้อยกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน โดยมีค่าความแตกต่างอยู่ที่ 4.76 องศาเซลเซียส คิดเป็น 15.50% ของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด เนื่องจากผนังก่ออิฐฉาบปูนที่อยู่ด้านในสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้และค่อยๆ คายความร้อนออกมา ทำให้อุณหภูมิภายในมีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดทั้ง

วัน (temperature swing) น้อยกว่า และมีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 0.65 องศาเซลเซียส ในขณะที่ห้องทดลองฉนวนภายใน มีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่แตกต่างกัน 6.81 องศาเซลเซียส คิดเป็น 20.79% ของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด เนื่องมาจากผิวภายในห้องเป็นฉนวนโฟมโพลีสไตรีนไม่สามารถ กักเก็บ ความร้อน และความเย็นเอาไว้ได้ดีเท่ากับผนังก่ออิฐฉาบปูน อีกทั้งอุณหภูมิที่ผิวของโฟมสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพพลังงานที่ได้รับได้ทันที ส่งผลให้อุณหภูมิภายในมีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดทั้งวัน (temperature swing) มากกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก และมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเพียงเล็กน้อย (0.03 องศาเซลเซียส)

<u>จำนวนชั่วโมงและช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอากาศภายนอก</u>



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอากาศภายนอก

เมื่อพิจารณาแผนภูมิที่ 4.5 ควบคู่กับแผนภูมิที่ 4.2 ซึ่งแสดงค่าอุณหภูมิอากาศภายในเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก พบว่า ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกของห้องทดลองฉนวนภายนอก คือ ช่วงเวลา 08.00 – 20.30 น. คิดเป็น 12 ชั่วโมงครึ่งต่อวัน โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกมากที่สุด 4.93 องศาเซลเซียส (เวลา 13.00 น.) ส่วนห้องทดลองฉนวนภายใน ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก คือ 08.00-18.00 น. คิดเป็น 10 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายนอกมากที่สุด 2.91 องศาเซลเซียส (เวลา 13.00 น.)

4.2 การทดลองสภาวะที่ 2: ใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน (08.00 – 17.00 น.)

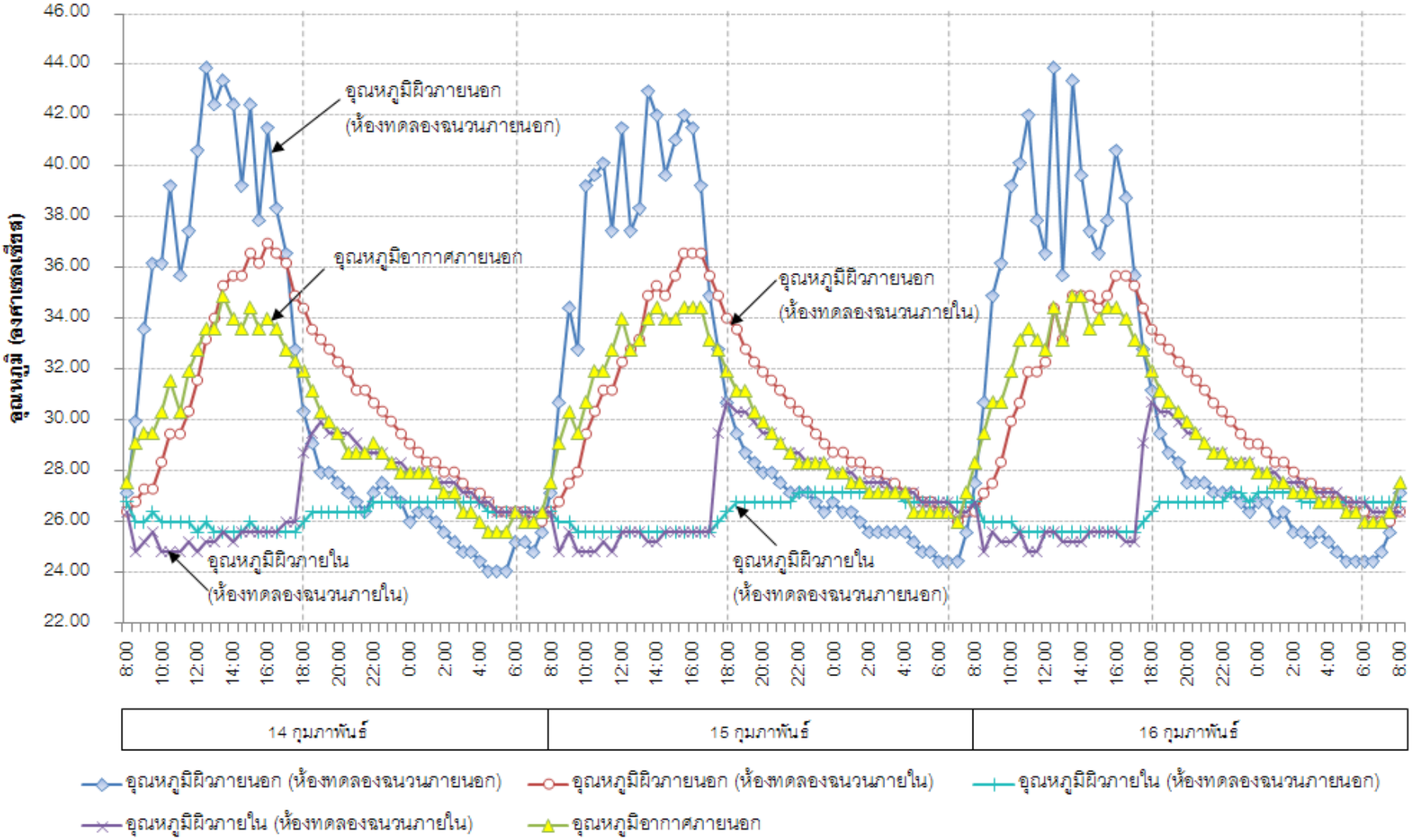
การทดลองสภาวะที่ 2 เป็นการทดลองการใช้งานในรูปแบบของห้องที่มีการใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน (08.00 – 17.00 น.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร และผลทางอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวภายนอก ผิวภายใน อุณหภูมิอากาศภายใน ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature) รวมไปถึงค่าการใช้พลังงานปรับอากาศ เมื่อมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ คือ การติดตั้งฉนวนภายนอก และการติดตั้งฉนวนภายใน โดยวัสดุที่เป็นตัวแทนผนังภายนอกของอาคารทั่วไป ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูนครึ่งแผ่นหนา 0.10 เมตร ทาสีขาว ส่วนวัสดุที่เป็นตัวแทนฉนวน ได้แก่ โฟมโพลีสไตรีนหนา 2 นิ้ว (ความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)

สภาวะที่ 2 ทำการทดลองในวันที่ 14 – 16 กุมภาพันธ์ 2555 สภาพอากาศส่วนใหญ่มีท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) และมีแดดแรงตลอดช่วงกลางวัน โดยกำหนดให้ห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง มีรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ดังนี้

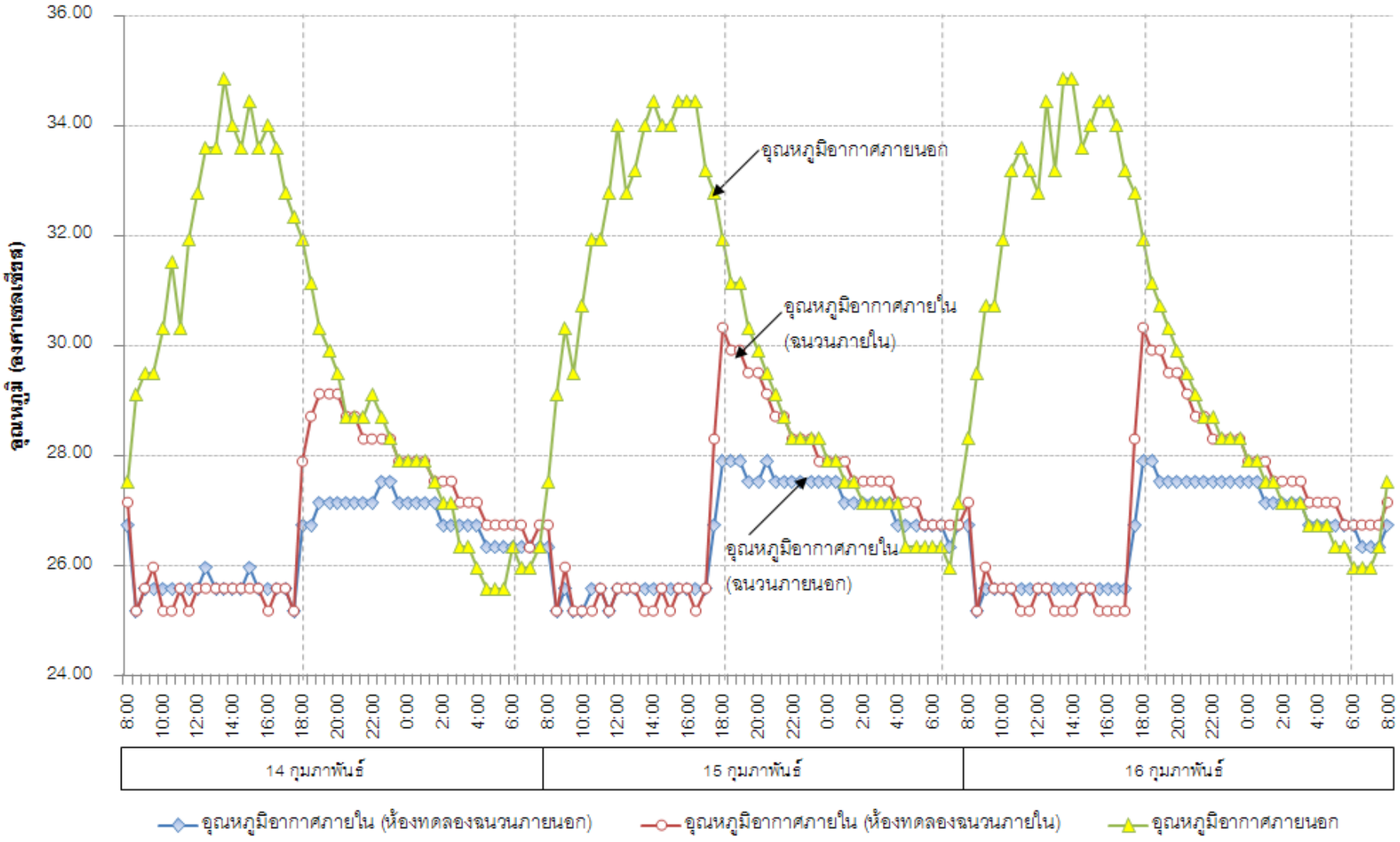
ห้องทดลองที่ 1 ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร

ห้องทดลองที่ 2 ติดตั้งฉนวนภายในอาคาร

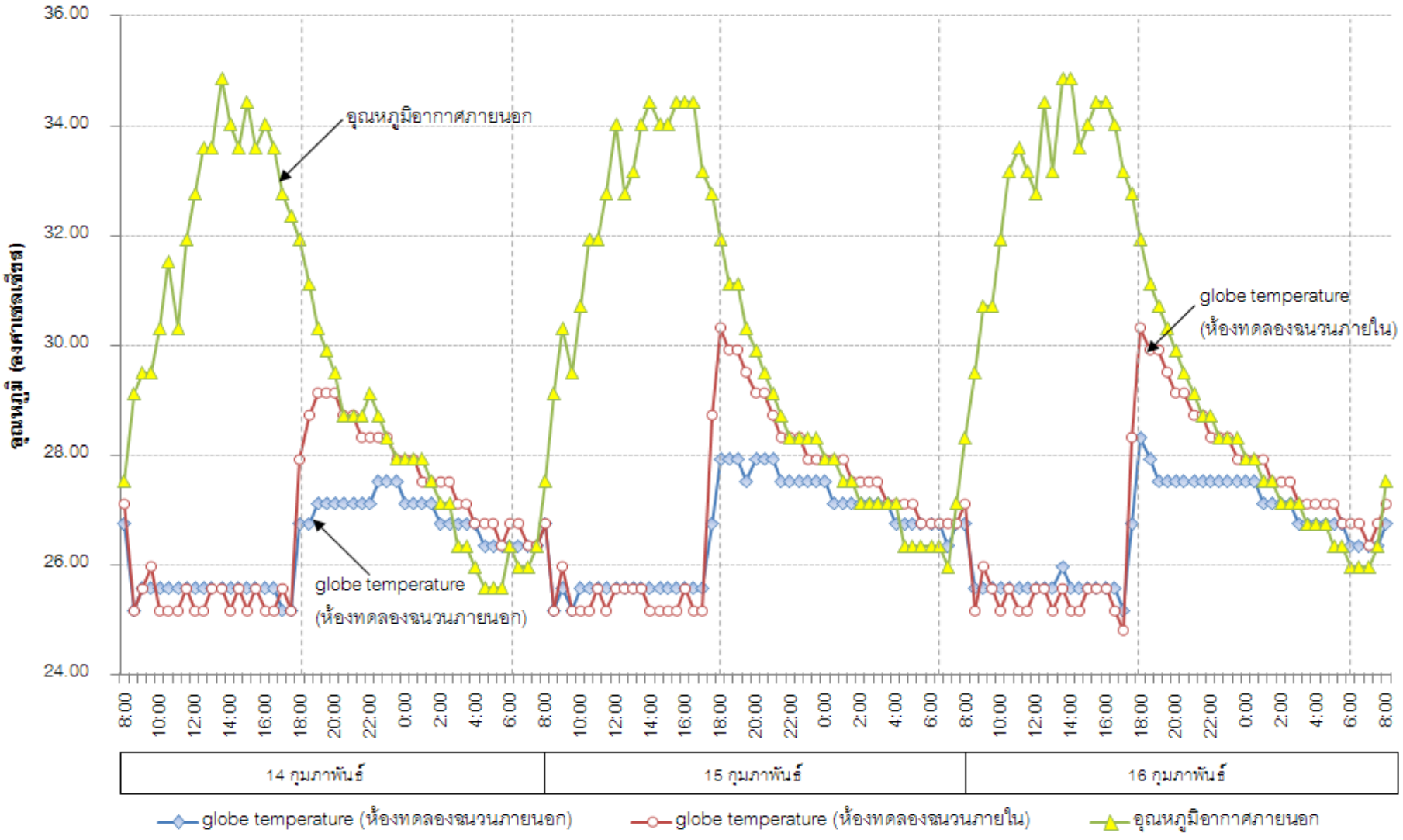
การทดลองนี้มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 08.00 – 17.00 น. เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในให้มีความเท่าเทียมกันที่ 25 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลา 17.01 – 07.59 น. ที่ไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ เมื่อคำนึงถึงการใช้งานตามความเป็นจริง จึงต้องมีการเปิดช่องหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง ซึ่งเป็นเกณฑ์ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 เพื่อให้มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ



แผนภูมิที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายนอก และอุณหภูมิผิวภายใน (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน)



แผนภูมิที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิอากาศภายใน (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน)



แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบระหว่าง globe temperature และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน)

4.2.1 **ผลการทดลองสภาวะที่** 2: **ใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน** (08.00–17.00 **น.**)

การทดลองสภาวะที่ 2 ทำการทดลองในวันที่ 14 – 16 กุมภาพันธ์ 2555 สภาพอากาศส่วนใหญ่มีท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) และมีแดดแรงตลอดช่วงกลางวัน

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองสภาวะที่ 2

ค่าอุณหภูมิ	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ช่วงเวลา (น.)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	ช่วงเวลา (น.)	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (°C)
อุณหภูมิอากาศภายนอก	29.83	34.85	13.30	25.56	04.30 - 05.30	9.29
ช่วงปรับอากาศ (08.00 – 17.00 น.)						
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายนอก	25.58	26.73	08.00	25.17	08.30 – 09.30	1.56
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายใน	25.49	27.12	08.00	25.17	***	1.95
ช่วงไม่ปรับอากาศ (17.01 – 07.59 น.)						
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายนอก	27.07	27.91	18.00 – 18.30	25.17	17.30	2.74
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายใน	27.91	30.31	18.00	25.17	17.30	5.14
หมายเหตุ: ***มีช่วงเวลาไม่แน่นอน เนื่องจากห้องทดลองฉนวนภายในมีอุณหภูมิภายในไม่คงที่						

จากแผนภูมิที่ 4.6 – 4.8 สามารถสรุปข้อมูลอุณหภูมิที่วัดค่าได้ในแต่ละจุด ดังนี้

<u>จุดที่ 2 อุณหภูมิที่ผิวภายนอก</u>

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ช่วงเวลา 08.30 – 17.00 น. อุณหภูมิผิวภายนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และช่วงเวลา 18.00 – 08.00 น. อุณหภูมิผิวจะมีค่าลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยมีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

ช่วงปรับอากาศ (08.00 – 17.00 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายนอกเฉลี่ย 37.88 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 43.91 องศาเซลเซียส (12.30 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 27.12 องศาเซลเซียส (08.00 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 16.79 องศาเซลเซียส

ช่วงไม่ปรับอากาศ (17.01 – 07.59 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายนอกเฉลี่ย 26.59 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 32.76 องศาเซลเซียส (17.30 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 24.01 องศาเซลเซียส (04.30 – 05.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 8.75 องศาเซลเซียส

ห้องทดลองฉนวนภายใน เวลา 13.30 – 06.00 น. อุณหภูมิที่ผิวภายนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และเวลา 08.00 – 13.30 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยมีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

ช่วงปรับอากาศ (08.00 – 17.00 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายนอกเฉลี่ย 32.24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 37.00 องศาเซลเซียส (16.00 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 26.34 องศาเซลเซียส (08.00 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 10.66 องศาเซลเซียส

ช่วงไม่ปรับอากาศ (17.01 – 07.59 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายนอกเฉลี่ย 29.27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 34.85 องศาเซลเซียส (17.30 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 25.95 องศาเซลเซียส (06.30 – 07.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 8.90 องศาเซลเซียส

<u>จุดที่ 3 อุณหภูมิที่ผิวภายใน</u>

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ช่วงเวลา 03.00 – 07.00 น. อุณหภูมิที่ผิวภายในจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และช่วงเวลา 07.30 – 02.30 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยมีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

ช่วงปรับอากาศ (08.00 – 17.00 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายในเฉลี่ย 25.72 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 26.73 องศาเซลเซียส (08.00 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 25.56 องศาเซลเซียส (10.30 – 17.00 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 1.17 องศาเซลเซียส

ช่วงไม่ปรับอากาศ (17.01 – 07.59 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายในเฉลี่ย 26.70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 27.12 องศาเซลเซียส (22.30 – 02.30 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 25.56 องศาเซลเซียส (17.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 1.56 องศาเซลเซียส

ห้องทดลองฉนวนภายใน เวลา 02.00 – 07.00 น. อุณหภูมิที่ผิวภายในจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และเวลา 07.30 – 01.30 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยมีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

ช่วงปรับอากาศ (08.00 – 17.00 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายในเฉลี่ย 25.33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 26.73 องศาเซลเซียส (08.00 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 24.79 องศาเซลเซียส (08.30 – 09.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 1.94 องศาเซลเซียส

ช่วงไม่ปรับอากาศ (17.01 – 07.59 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายในเฉลี่ย 28.01 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 30.71 องศาเซลเซียส (18.00 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 25.95 องศาเซลเซียส (17.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 4.76 องศาเซลเซียส

จุดที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในห้อง

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ช่วงเวลา 05.00 – 07.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และช่วงเวลา 07.30 – 04.30 น. อุณหภูมิภายในจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก คิดเป็น 21 ชั่วโมง

ห้องทดลองฉนวนภายใน เวลา 01.00 – 07.00 น. โดยอุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และเวลา 07.30 – 00.30 น. อุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก คิดเป็น 17 ชั่วโมง

จุดที่ 5 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature)

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature) จะมีลักษณะเดียวกันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดได้ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงปรับอากาศ (08.00 – 17.00 น.) 25.59 องศาเซลเซียส และช่วงไม่ปรับอากาศ (17.01 – 07.59 น.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.07 องศาเซลเซียส

ห้องทดลองฉนวนภายใน ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature) จะมีลักษณะเดียวกันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดได้ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงปรับอากาศ (08.00 – 17.00 น.) 25.44 องศาเซลเซียส และช่วงไม่ปรับอากาศ (17.01 – 07.59 น.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.86 องศาเซลเซียส

4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองในสภาวะการใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน (08.00 – 17.00 น.)

การวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อสรุปข้อมูลด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในสภาวะการใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน (08.00 – 17.00 น.) มีการวิเคราะห์ข้อมูลจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องทดลอง
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน
- ค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุด

<u>ลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องทดลอง</u>

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ในขณะที่วัสดุฉนวนโฟมที่อยู่ภายนอกทำให้อุณหภูมิที่ผิวมีค่าความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (temperature swing) สูง แต่สามารถช่วยลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในได้มาก ประกอบกับผิวภายในห้องเป็นผนังก่ออิฐซึ่งมีค่าความจุความร้อนสูง สามารถเก็บความร้อนไว้ได้ส่วนหนึ่ง อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวภายในจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิอากาศที่ได้รับอย่างช้าๆ ส่งผลให้

ช่วงกลางวัน (06.00 – 18.00 น.) ขณะเปิดเครื่องปรับอากาศ ลักษณะของอุณหภูมิผิวภายในและอากาศภายในมีความคงที่ และมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในสูงกว่าห้องทดลองฉนวนภายในเล็กน้อย (0.1 องศาเซลเซียส)

ช่วงกลางคืน (18.01 – 05.59 น.) หลังปิดเครื่องปรับอากาศ 17.00 น. อุณหภูมิห้องจะมีค่าสูงขึ้นประมาณ 1.17 – 1.56 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุดในเวลา 18.00 น. ซึ่งมีค่าสูงขึ้นหลังปิดเครื่องปรับอากาศประมาณ 2.35 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิภายในจะเริ่มคงที่และค่อยลดลงช้าๆ โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในช่วงกลางคืนมีค่าต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน (แต่มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 0.39 องศาเซลเซียส)

ห้องทดลองฉนวนภายใน ผิวผนังภายนอกเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน ที่มีค่าความจุความร้อนสูงสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ดี แต่ก็ปล่อยความร้อนออกมาได้มากเช่นกัน ในขณะที่ผิวภายในเป็นฉนวนโฟมซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ง่ายตามพลังงานที่ได้รับ ทำให้อุณหภูมิผิวภายในมีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดทั้งวันมาก และมีค่าอุณหภูมิไม่คงที่ ส่งผลให้

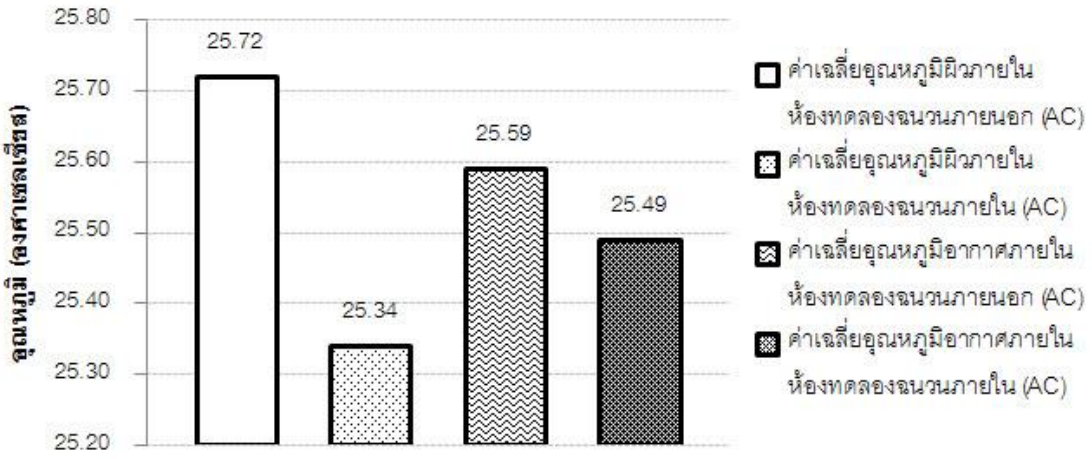
ช่วงกลางวัน (06.00 – 18.00 น.) ในช่วงเช้าที่อุณหภูมิอากาศภายนอกลดลงต่ำมากที่สุด อุณหภูมิอากาศภายในห้องจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเล็กน้อยประมาณ 1.17 องศาเซลเซียส

เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิที่ผิวและอากาศภายในจะลดลงได้รวดเร็ว (และลดต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก) ในช่วง 5 ชั่วโมงแรกของการปรับอากาศอุณหภูมิผิวภายในจะมีค่าลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิห้องที่ตั้งไว้ หลังจากนั้นจะเริ่มสูงขึ้นเล็กน้อยและคงที่ จนกระทั่งปิดเครื่องปรับอากาศ โดยช่วงที่เปิดเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในจะมีค่าต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก แต่มีอุณหภูมิไม่คงที่เนื่องจากผิวภายในเป็นโฟมโพลีสไตรีนซึ่งมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามสภาพพลังงานที่ได้รับ

ช่วงกลางคืน (18.01 – 05.59 น.) หลังปิดเครื่องปรับอากาศอุณหภูมิผิวและอุณหภูมิอากาศภายในจะเพิ่มสูงขึ้นทันทีประมาณ 2.75 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงขึ้นจากเดิมมากที่สุด 4.75 องศาเซลเซียส (เวลา 19.00 น.) หลังจากนั้นอุณหภูมิจะมีค่าลดลงมีใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกช่วง 20.00 – 01.00 น. จนกระทั่งช่วงเวลา 01.00 – 07.30 น. อุณหภูมิภายนอกมีค่าลดลงต่ำมากที่สุด ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องมีค่ามากกว่าอุณหภูมิภายนอก

<u>เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน เฉพาะช่วงที่มีการปรับอากาศ (08.00 – 17.00 น.)</u>

การพิจารณาค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในและอุณหภูมิอากา ศภายในช่วยให้ทราบถึง อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศ หากค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในของวัสดุมีค่าสูงจะทำให้เครื่องปรับอากาศจำเป็นต้องใช้พลังงานในการรีดความร้อนและความชื้นให้กับวัสดุมาก ส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานปรับอากาศมีค่าสูงตามไปด้วย ทั้งนี้การพิจารณา อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศที่เกิดขึ้นจริง จึงต้องพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยเฉพาะในช่วงที่เปิดเครื่องปรับอากาศ

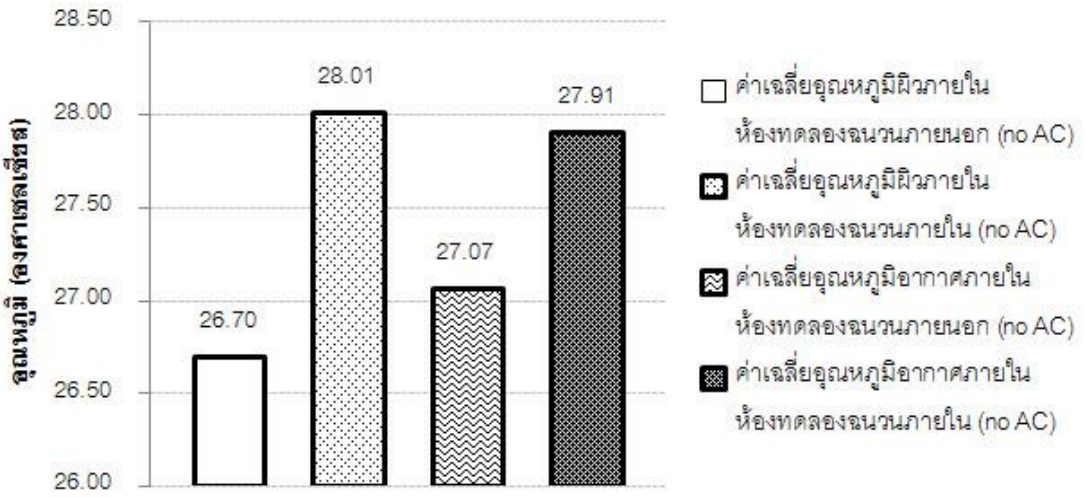


แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และอากาศภายใน
เฉพาะช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศ (08.00–17.00 น.)

จากแผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในเฉพาะช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศ (08.00 – 17.00 น.) พบว่า ในช่วงที่มีการปรับอากาศ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ทั้งสองของห้องทดลองฉนวนภายใน จะมีค่าต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก

โดยห้องทดลองฉนวนภายในมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ ผิวภายในต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก คิดเป็น 1.48% ของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวภายในของห้องทดลองฉนวนภายนอก และยังมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายใน ที่ต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก คิดเป็น 0.39% ของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ ผิวภายในของห้องทดลองฉนวนภายนอก ซึ่งส่งผลให้ อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศมีน้อยกว่า

<u>เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน เฉพาะช่วงที่ไม่มีการปรับอากาศ (17.01 – 07.59 น.)</u>

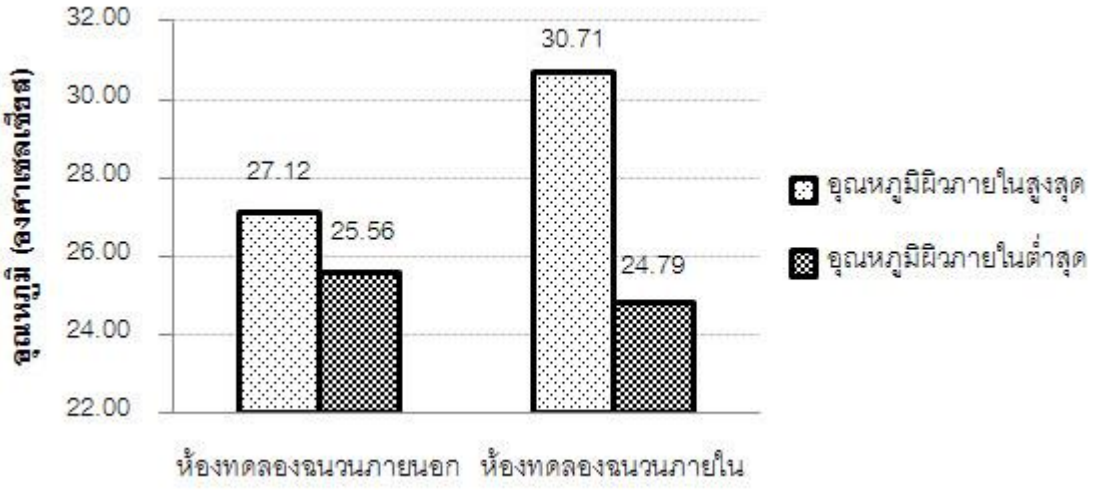


แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในเฉพาะช่วงที่ไม่ปรับอากาศ (17.01 – 07.59 น.)

จากแผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวภายใน กับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง ในช่วงที่ไม่มีการปรับอากาศ พบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในและค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทดลองฉนวนภายนอก มีค่าต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน 1.31 และ 0.84 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งฉนวนไว้ภายใน อุณหภูมิที่ผิวภายในสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพพลังงานที่ได้รับได้ง่าย เมื่อไม่มีการปรับอากาศ อุณหภูมิที่ผิวภายในจะได้รับความร้อนถ่ายเทจากภายนอกมากกว่าจึงมี

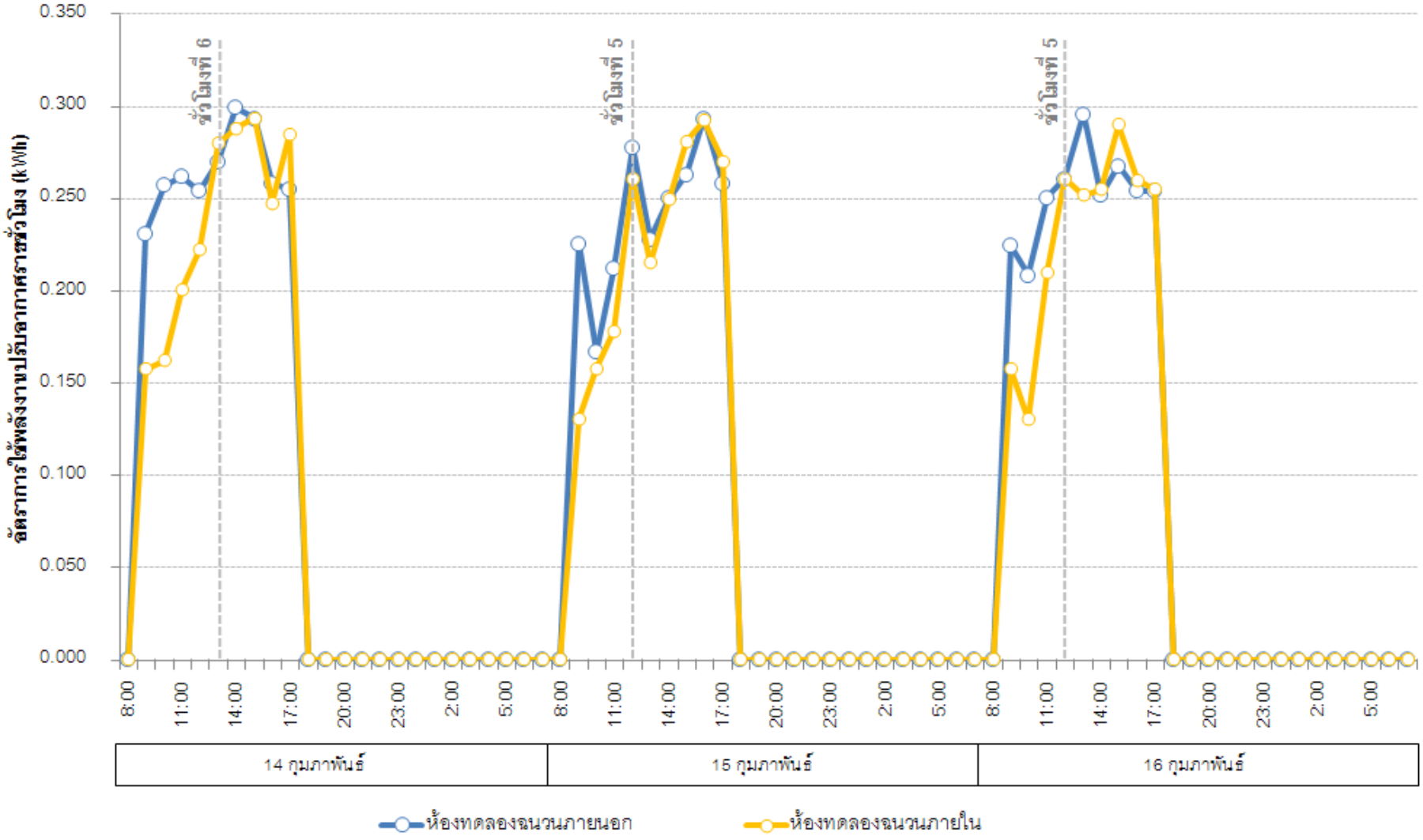
อุณหภูมิผิวที่สูงกว่า และส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าสูงมากกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอกเช่นกัน

ค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุด

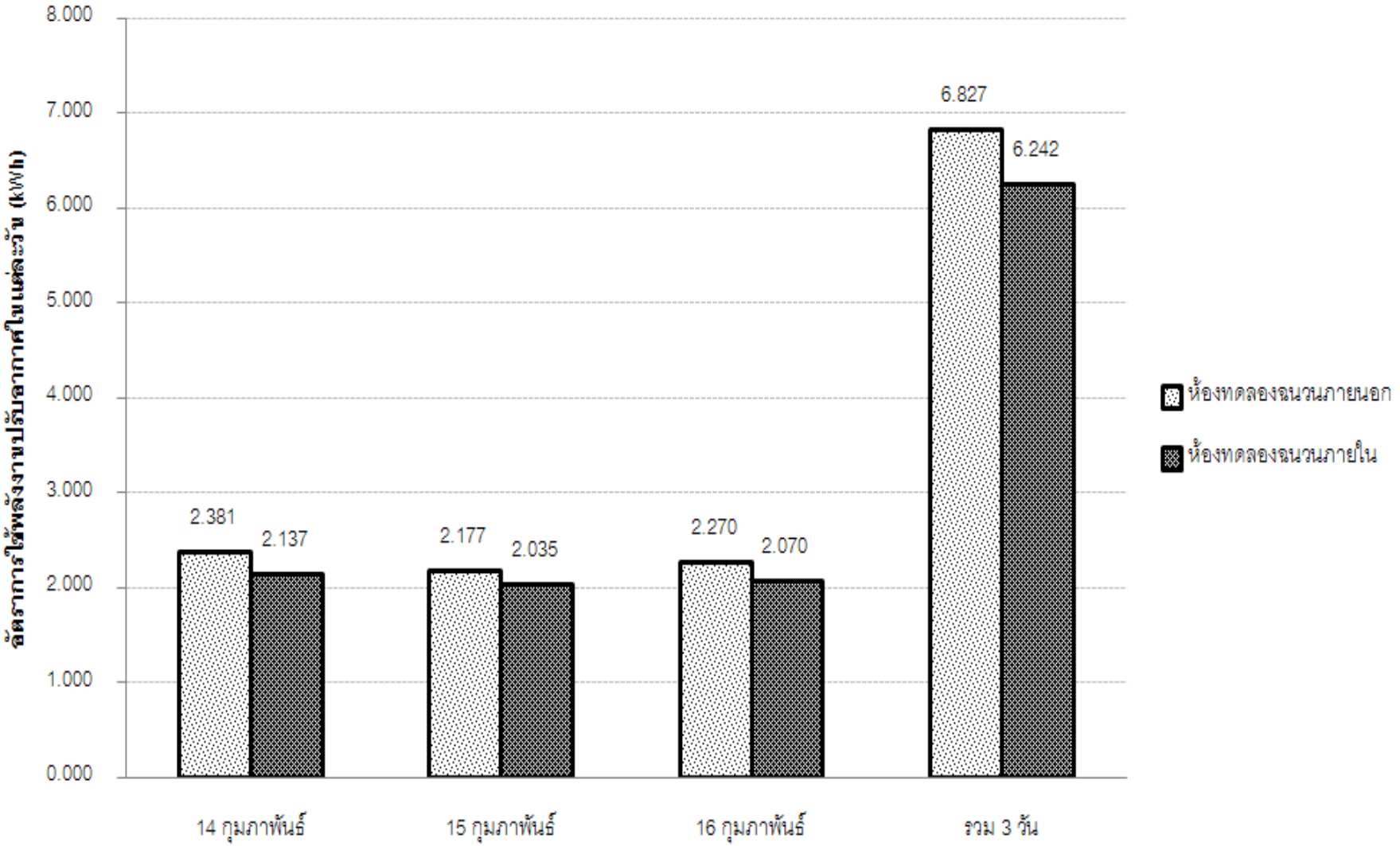


แผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน)

จากแผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุด พบว่าห้องทดลองฉนวนภายนอกมีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุด 1.56 องศาเซลเซียส หรือคิดเป็น 5.75% ซึ่งน้อยกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน ที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิถึง 5.92 องศาเซลเซียส หรือคิดเป็น 19.28% ส่งผลให้อุณหภูมิผิวภายในของห้องทดลองฉนวนภายนอกมีความคงที่มากกว่า ซึ่งความคงที่ของอุณหภูมิจะ ส่งผลดีต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากจะช่วยให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ และทำให้อุณหภูมิอากาศภายในมีความคงที่มากกว่า



แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรายชั่วโมง ของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน)



แผนภูมิที่ 4.13 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศในแต่ละวัน ของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน)

4.2.3 การวิเคราะห์ อัตรา การใช้พลังงานปรับอากาศ : ใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน (08.00 – 17.00 น.)

การทดลองสภาวะที่ 2 เป็นการทดลองการใช้งานในรูปแบบของห้องที่มีการใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน (08.00 – 17.00 น.) โดยมีการเปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง ให้มีความเท่าเทียมกันที่ 25 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4.13 พบว่า รูปแบบการใช้พลังงานปรับอากาศที่เกิดขึ้นของห้องทดลองทั้ง 2 ห้องเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ชั่วโมงแรกที่เปิดเครื่องปรับอากาศ ห้องทดลองจะมี อัตรา การใช้พลังงานปรับอากาศในช่วงเริ่มต้นจำนวนหนึ่ง โดยห้องทดลองฉนวนภายนอกจะมีอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศในช่วงเริ่มต้นมากกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน เฉลี่ย 0.079 kWh หรือเท่ากับ 34.76% ของอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศช่วงเริ่มต้นของห้องทดลองฉนวนภายใน (รายละเอียดในภาคผนวก ข) หลังจากนั้น อัตรา การใช้พลังงานจะเพิ่มมากขึ้น และเริ่มคงที่ในชั่วโมงที่ 5 ของการปรับอากาศ (12.00 น.) และจะมีค่าเพิ่มขึ้น - ลดลงในแต่ละชั่วโมงไม่แตกต่างกัน (มากที่สุดไม่เกิน 0.05 kWh) จนกระทั่งปิดเครื่องปรับอากาศ โดย รูปแบบการใช้พลังงานเช่นนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศในช่วงกลางวัน ซึ่งภายนอกห้องทดลองมีอุณหภูมิอากาศ ที่สูง อุณหภูมิผิวภายนอกจึงมีค่าสูงและมีการถ่ายเทความร้อนเข้ามายังภายในห้องตลอดเวลา ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องรักษาค่าอุณหภูมิภายในให้มีค่าคงที่ตลอดเวลาเช่นกัน ส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศในแต่ละชั่วโมงหลังผ่านช่วงทำความเย็นเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยสูงและไม่แตกต่างกันในแต่ละชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 4.14 แสดง อัตรา การใช้พลังงานปรับอากาศในแต่ละวัน พบว่า ห้องทดลองฉนวนภายนอก มีอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศ เฉลี่ย 2.256 kWh/วัน ในขณะที่ห้องทดลองฉนวนภายในมี อัตรา การใช้พลังงานปรับอากาศเฉลี่ย 2.081 kWh/วัน โดยห้องทดลองฉนวนภายนอกมี อัตรา การใช้พลังงานปรับอากาศ รวมทั้ง 3 วัน มากกว่า ห้องทดลองฉนวนภายใน คิดเป็น 8.57%

4.3 การทดลองสภาวะที่ 3: ใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (20.00 – 06.00 น.)

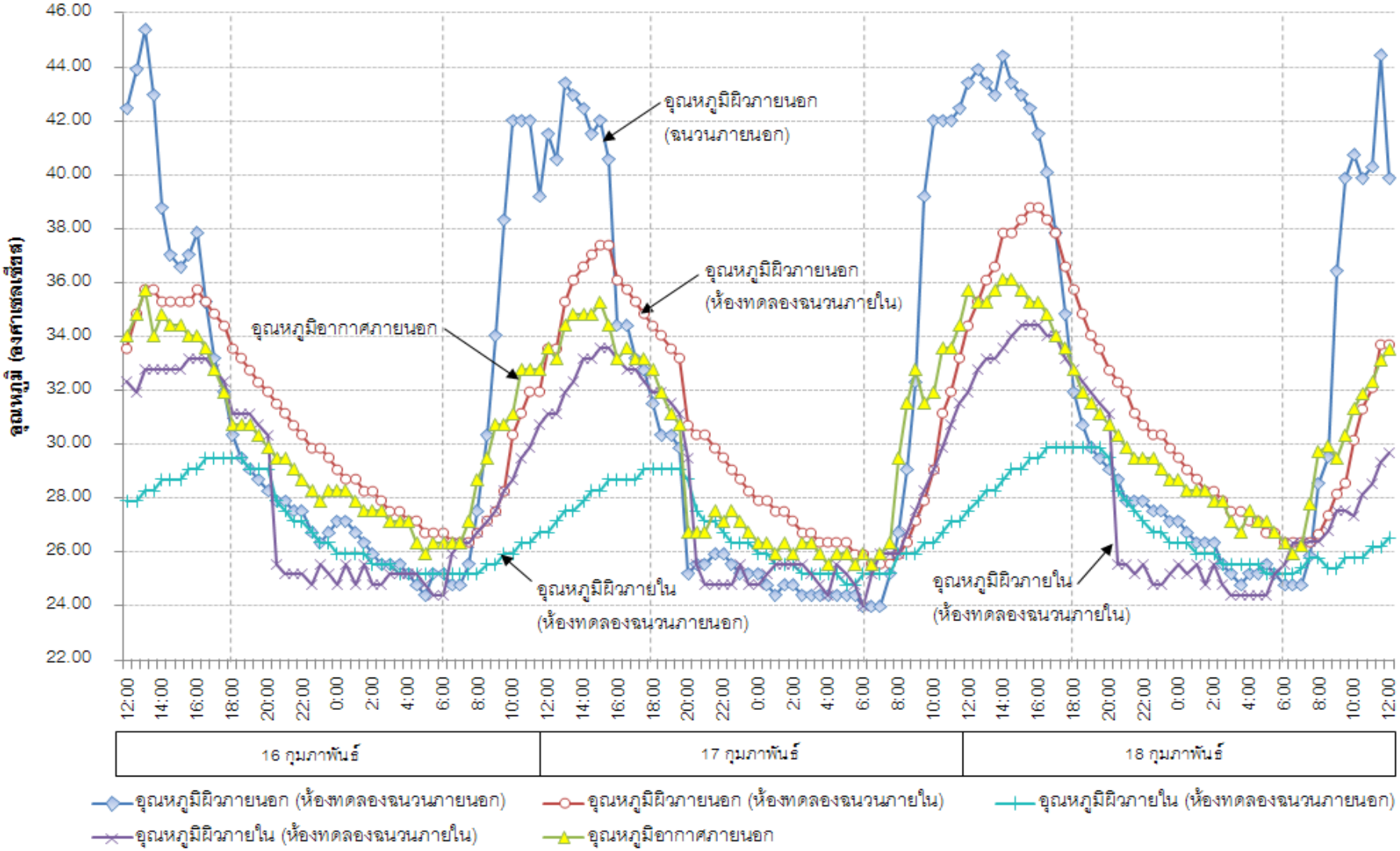
การทดลองสภาวะที่ 3 เป็นการทดลองการใช้งานในรูปแบบของห้องที่มีการใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (20.00 – 06.00 น.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร และผลทางอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวภายนอก ผิวภายใน อุณหภูมิอากาศภายใน ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature) รวมไปถึงค่าการใช้พลังงานปรับอากาศ เมื่อมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ คือ การติดตั้งฉนวนภายนอก และการติดตั้งฉนวนภายใน โดยวัสดุที่เป็นตัวแทนผนังภายนอกของอาคารทั่วไป ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูนครึ่งแผ่นหนา 0.10 เมตร ทาสีขาว ส่วนวัสดุที่เป็นตัวแทนฉนวน ได้แก่ โฟมโพลีสไตรีนหนา 2 นิ้ว (ความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)

สภาวะที่ 3 ทำการทดลองในวันที่ 16 – 18 กุมภาพันธ์ 2555 สภาพอากาศส่วนใหญ่มีท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) และมีแดดแรงตลอดช่วงกลางวัน โดยกำหนดให้ห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง มีรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ดังนี้

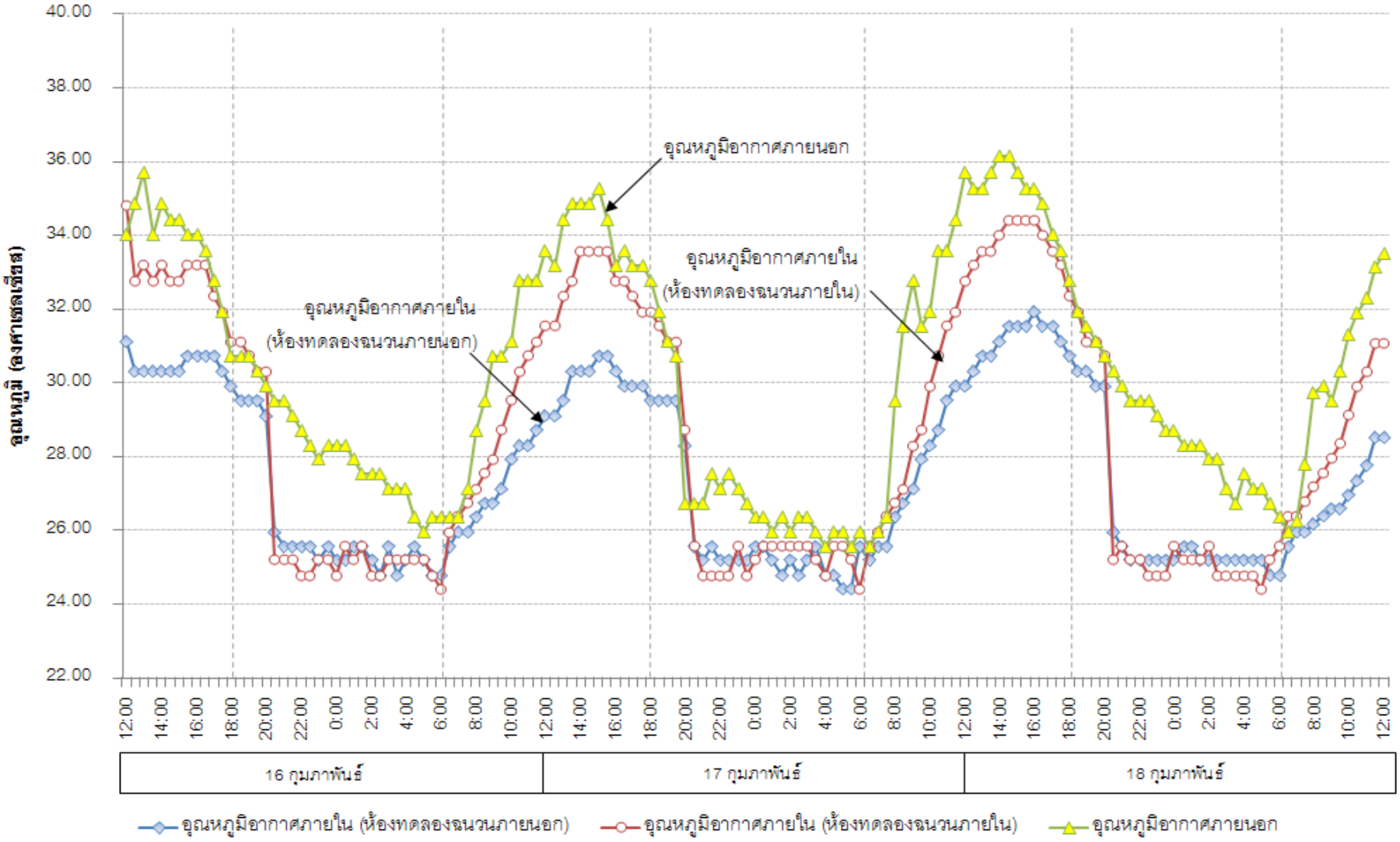
ห้องทดลองที่ 1 ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร

ห้องทดลองที่ 2 ติดตั้งฉนวนภายในอาคาร

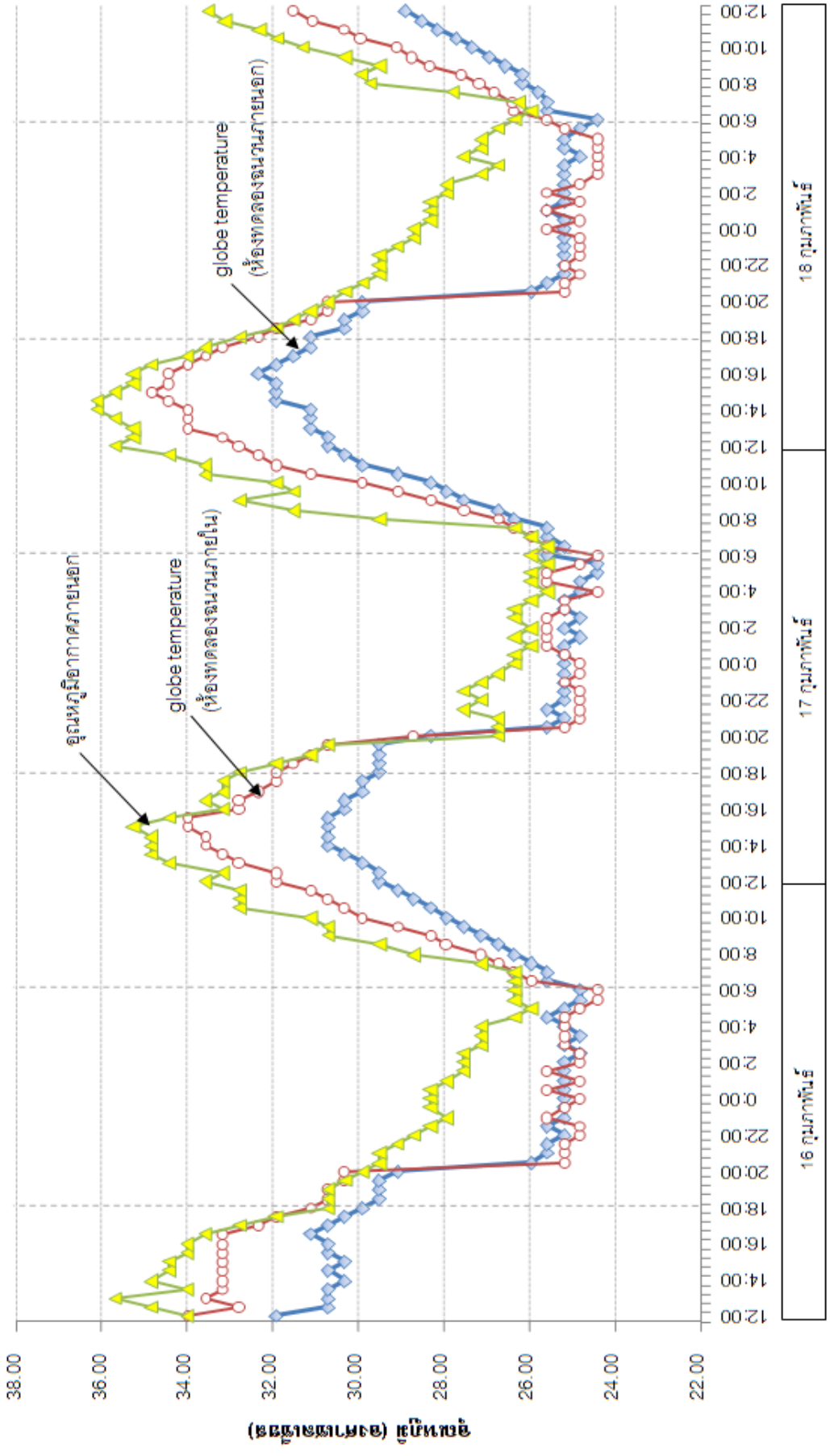
การทดลองนี้มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 20.00 – 06.00 น. เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในให้มีความเท่าเทียมกันที่ 25 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลา 06.01 – 19.59 น. ที่ไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ มีการเปิดช่องหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง ซึ่งเป็นเกณฑ์ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 เพื่อให้มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ



แผนภูมิที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายนอก และอุณหภูมิผิวภายใน (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)



แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)



แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบระหว่าง globe temperature และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)

4.3.1 ผลการทดลองสภาวะที่ 3: ใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (20.00 – 06.00 น.)

ในการทดลองสภาวะที่ 3 ทำการทดลองในวันที่ 16 – 18 กุมภาพันธ์ 2555 สภาพอากาศส่วนใหญ่มีท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) และมีแดดแรงตลอดช่วงกลางวัน

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองสภาวะที่ 3

ค่าอุณหภูมิ	อุณหภูมิเฉลี่ย (^{o}C)	อุณหภูมิสูงสุด (^{o}C)	ช่วงเวลา (น.)	อุณหภูมิต่ำสุด (^{o}C)	ช่วงเวลา (น.)	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (^{o}C)
อุณหภูมิอากาศภายนอก	30.19	36.13	14.00	25.56	04.00 - 05.30	10.57
ช่วงปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.)						
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายนอก	25.41	29.90	20.00	24.40	05.00 – 05.30	5.50
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายใน	25.34	30.71	20.00	24.40	05.00	6.31
ช่วงไม่ปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.)						
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายนอก	29.00	31.93	16.00	25.17	06.30	6.76
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายใน	30.93	34.77	12.00	25.56	06.30	9.21

จากแผนภูมิที่ 4.14 – 4.16 สามารถสรุปข้อมูลอุณหภูมิที่วัดค่าได้ในแต่ละจุด ดังนี้

<u>จุดที่ 2 อุณหภูมิที่ผิวภายนอก</u>

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ช่วงเวลา 08.30 – 17.00 น. อุณหภูมิที่ผิวภายนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และช่วงเวลา 17.30 – 08.00 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อยประมาณ 1 – 2 องศาเซลเซียส

ช่วงปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายนอก เฉลี่ย 25.94 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 29.10 องศาเซลเซียส (20.00 น.) อุณหภูมิ ต่ำสุด 24.01 องศาเซลเซียส (04.30 – 05.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 5.09 องศาเซลเซียส

ช่วงไม่ปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายนอก เฉลี่ย 35.97 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 45.39 องศาเซลเซียส (13.00 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 24.01 องศาเซลเซียส (06.30 – 07.00 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 21.38 องศาเซลเซียส

ห้องทดลองฉนวนภายใน เวลา 13.30 – 05.00 น. อุณหภูมิที่ผิวภายนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และเวลา 07.00 – 13.00 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

ช่วงปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.) อุณหภูมิที่ผิวภายนอก เฉลี่ย 28.59 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 32.76 องศาเซลเซียส (20.00 น.) อุณหภูมิ ต่ำสุด 25.95 องศาเซลเซียส (05.30 – 06.00 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 5.09 องศาเซลเซียส

ช่วงไม่ปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.) อุณหภูมิที่ผิวภายนอก เฉลี่ย 32.64 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 38.77 องศาเซลเซียส (15.30 – 16.00 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 25.56 องศาเซลเซียส (06.30 – 07.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 21.38 องศาเซลเซียส

<u>จุดที่ 3 อุณหภูมิที่ผิวภายใน</u>

ห้องทดลองฉนวนภายนอก อุณหภูมิผิว ภายในมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดทั้งวัน

ช่วงปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.) อุณหภูมิที่ผิวภาย ในเฉลี่ย 26.18 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 29.50 องศาเซลเซียส (20.00 น.) อุณหภูมิ ต่ำสุด 24.79 องศาเซลเซียส (05.00 – 05.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 4.71 องศาเซลเซียส

ช่วงไม่ปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.) อุณหภูมิที่ผิวภาย ในเฉลี่ย 27.59 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 29.90 องศาเซลเซียส (16.30 – 19.30 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 25.17 องศาเซลเซียส (06.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 4.73 องศาเซลเซียส

ห้องทดลองฉนวนภายใน เวลา 18.30 – 20.00 น. อุณหภูมิที่ผิวภายในจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อย (ประมาณ 0.41 องศาเซลเซียส) และเวลา 20.30 – 18.00 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

ช่วงปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภาย ในเฉลี่ย 25.30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 31.12 องศาเซลเซียส (20.00 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 24.01 องศาเซลเซียส (06.00 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 7.11 องศาเซลเซียส

ช่วงไม่ปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.) มีอุณหภูมิที่ผิวภายในเฉลี่ย 30.61 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 34.43องศาเซลเซียส (15.00 – 16.00 น.) อุณหภูมิต่ำสุด 25.17 องศาเซลเซียส (06.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 9.26 องศาเซลเซียส

จุดที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในห้อง

ห้องทดลองฉนวนภายนอก อุณหภูมิ อากาศ ภายในมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดทั้งวัน

ห้องทดลองฉนวนภายใน อุณหภูมิอากาศภายในเกือบทั้งวันมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ยกเว้นในช่วงเวลา 19.30 – 20.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อย

จุดที่ 5 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature)

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature) จะมีลักษณะเดียวกันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดได้ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.) 25.34 องศาเซลเซียส และช่วงไม่ปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.17 องศาเซลเซียส

ห้องทดลองฉนวนภายใน ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature) จะมีลักษณะเดียวกันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดได้ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.) 25.24 องศาเซลเซียส และช่วงไม่ปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.03 องศาเซลเซียส

4.3.2 **การวิเคราะห์ผลการทดลองในสภาวะการใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน** (20.00 – 06.00 น.)

การวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อสรุปข้อมูลด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในสภาวะการใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (20.00 – 06.00 น.) มีการวิเคราะห์ข้อมูลจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องทดลอง
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน
- ค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุด

<u>ลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องทดลอง</u>

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ในขณะที่วัสดุฉนวนโฟมที่อยู่ภายนอกทำให้อุณหภูมิที่ผิวมีค่าความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (temperature swing) สูง แต่สามารถช่วยลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในได้มาก ประกอบกับผิวภายในห้องเป็นผนังก่ออิฐซึ่งมีค่าความจุความร้อนสูง สามารถเก็บความร้อนไว้ได้ส่วนหนึ่ง อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวภายในจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิอากาศที่ได้รับอย่างช้าๆ ส่งผลให้

ช่วงกลางวัน (06.00 – 18.00 น.) อุณหภูมิผิวภายในและอากาศภายในมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดทั้งวัน (temperature swing) น้อยกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน เนื่องจากฉนวนภายนอกสามารถหน่วงความร้อนที่ผ่านเข้ามาได้เป็นอย่างดี

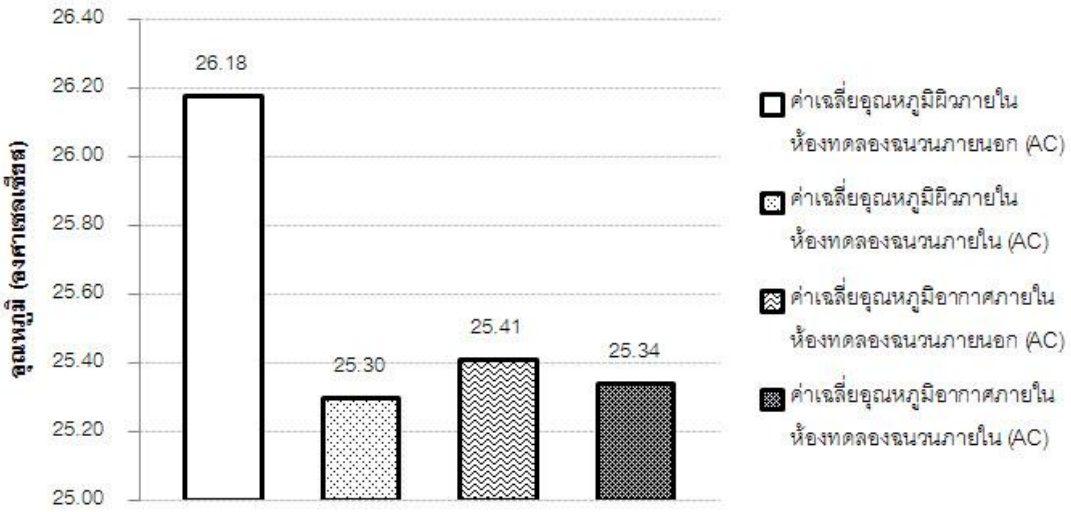
ช่วงกลางคืน (18.01 – 05.59 น.) เมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ 20.00 น. ผิวภายในซึ่งเป็นผนังก่ออิฐจะมีอุณหภูมิลดลงต่ำลงช้าๆ ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าลดต่ำลงประมาณ 4.36 องศาเซลเซียส (ภายใน 3 ชั่วโมง) จนมีค่าอุณหภูมิภายในใกล้เคียงอุณหภูมิที่ควบคุมไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยมีค่าอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงเปิดเครื่องปรับอากาศ แม้ว่าจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิมากกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน

ห้องทดลองฉนวนภายใน ผิวผนังภายนอกเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน ซึ่งมีค่าความเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิที่ผิวภายนอกตลอดทั้งวัน (temperature swing) มีค่าน้อยกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก เมื่อผนังภายนอกกักเก็บความร้อนในช่วงกลางวันและปล่อยความร้อนออกมาในช่วงเย็น ฉนวนโฟมด้านในจะรับอุณหภูมิความร้อนดังกล่าวเข้ามา ทำให้อุณหภูมิผิวภายในมีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สูง ส่งผลให้

ช่วงกลางวัน (06.00 – 18.00 น.) อุณหภูมิผิวภายในและอากาศภายในมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกไม่มากนัก จนกระทั่งเวลา 17.00 น. อุณหภูมิทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิภายนอก

ช่วงกลางคืน (18.01 – 05.59 น.) อุณหภูมิผิวภายในและอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอกไปจนกระทั่ง 20.00 น. เมื่อเริ่มเปิดใช้งานปรับอากาศ อุณหภูมิทั้งสองจะมีค่าลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว (ประมาณ 6.76 องศาเซลเซียส) ภายใน 3 ชั่วโมงแรกที่เปิดเครื่องปรับอากาศ จากนั้นอุณหภูมิจะลดต่ำลงอยู่ที่ประมาณ 24.79 องศาเซลเซียส โดยลักษณะอุณหภูมิที่เกิดขึ้นแม้จะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในที่ต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก แต่ค่าความคงที่ของอุณหภูมิก็มีค่าน้อยกว่าเช่นกัน

<u>เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน เฉพาะช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.)</u>



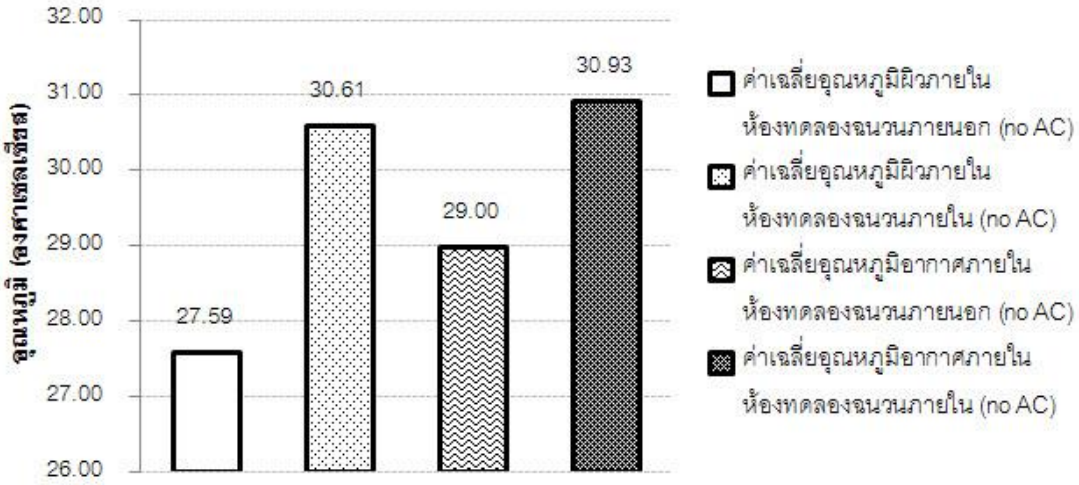
แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในเฉพาะช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.)

จากแผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในเฉพาะช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศ (20.00 – 06.00 น.) พบว่า ในช่วงที่มีการปรับอากา ศห้องทดลองฉนวนภายใน จะมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทั้งสองต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก

โดยห้องทดลองฉนวนภายในมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ ผิว ภายใน ต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก 3.36% และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่ าค่าเฉลี่ยของห้องทดลองฉนวน

ภายนอก 0.28% เนื่องมาจากผิวด้านในที่เป็นฉนวนโฟมสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ง่าย และอุณหภูมิสามารถลดลงต่ำได้รวดเร็วเมื่อได้รับความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ ในขณะที่ห้องทดลองฉนวนภายนอกซึ่งมีผิวด้านในเป็นวัสดุผนังก่ออิฐมีมวลสารมากกว่า จึงมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ช้ากว่า

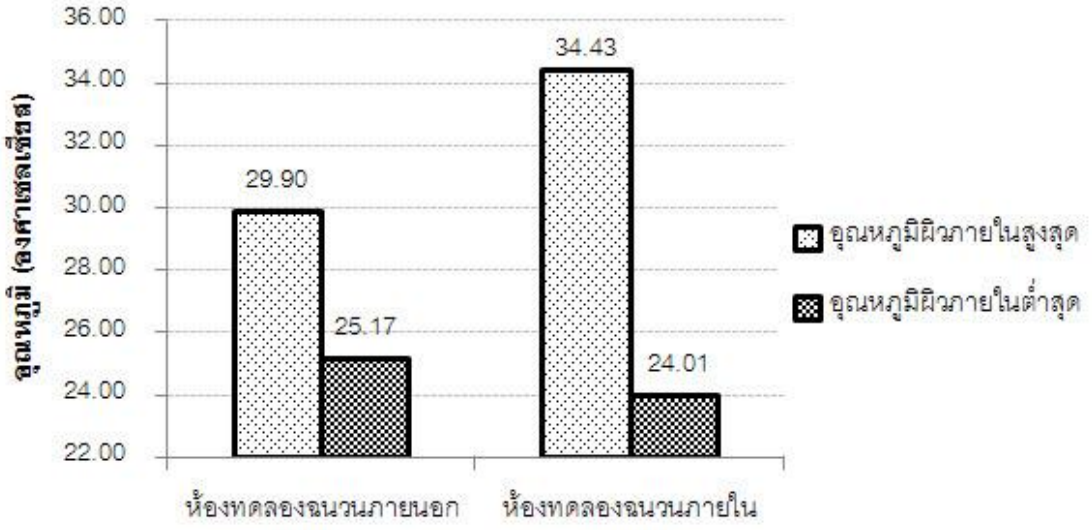
<u>เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน เฉพาะช่วงเวลาที่ไม่ปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.)</u>



แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน เฉพาะช่วงเวลาที่มีการปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.)

จากแผนภูมิ 4.18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในเฉพาะช่วงเวลาที่ ไม่มีการปรับอากาศ (06.01 – 19.59 น.) พบว่า ห้องทดลองฉนวนภายนอกมีค่าเฉลี่ยทั้งสองต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน โดยที่ห้องทดลองฉนวนภายนอกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน 9.87% ในขณะที่มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน 6.24% เนื่องจากการติดฉนวนภายนอก สามารถลดความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ภายในได้มากกว่า ทำให้ช่วงที่ไม่มีการปรับอากาศภายในห้องมีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนการติดตั้งฉนวนไว้ภายใน อุณหภูมิที่ผิวภายในสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพพลังงานที่ได้รับได้ง่าย อุณหภูมิที่ผิวภายในจึงได้รับความร้อนถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่ภายในได้มากกว่า จึงมีอุณหภูมิผิวที่สูงกว่า และส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าสูงมากกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอกเช่นกัน

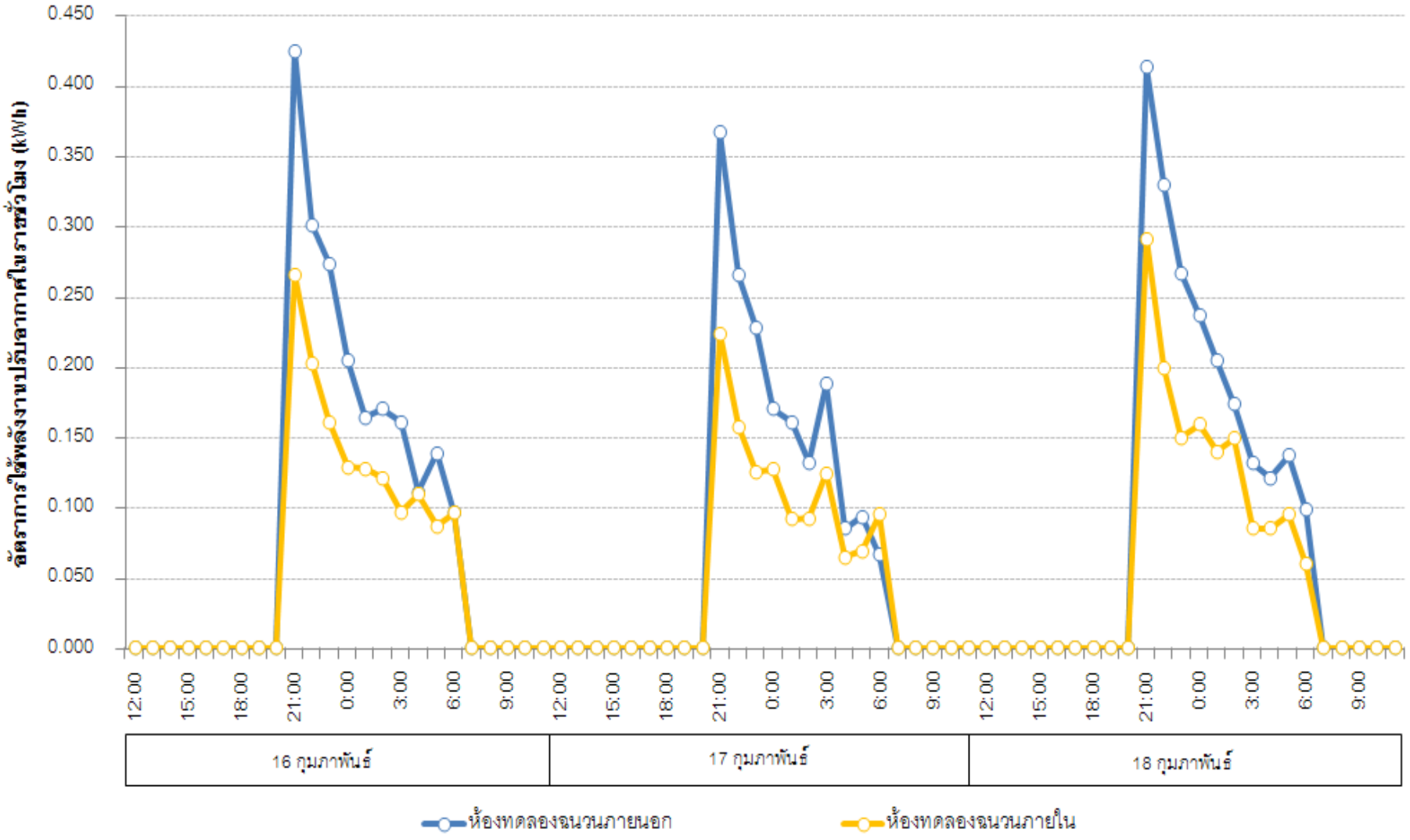
ค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุด



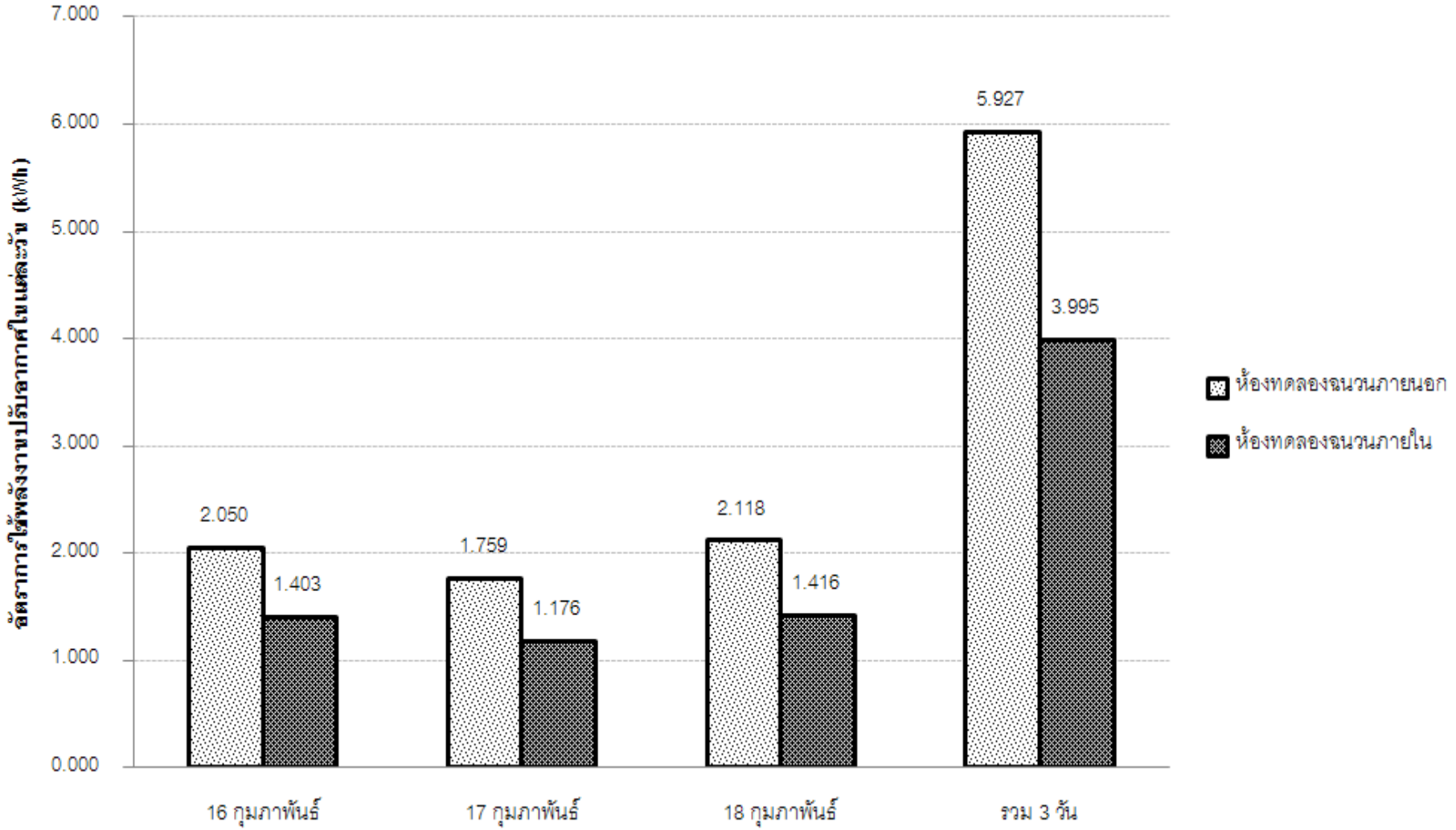
แผนภูมิที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)

จากแผนภูมิเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง พบว่า ห้องทดลองฉนวนภายนอกมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน โดยมี ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวสูงสุดและต่ำสุด 4.73 องศาเซลเซียส ในขณะที่ห้องทดลองฉนวนภายในมีค่าความแตกต่างถึง 10.42 องศาเซลเซียส

เนื่องจากห้องทดลองฉนวนภาย นอกมีผิวภายในเป็น วัสดุที่มีมวลสารและมีความจุความร้อนสูง สามารถช่วยให้อุณหภูมิภายในมีความคงที่มากกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน ซึ่งความคงที่ของอุณหภูมิจะช่วยให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำงานได้อย่างสม่ำเสมอมากกว่า ในขณะที่ห้องทดลองฉนวนภายใน มีวัสดุผิวภายในเป็นวัสดุฉนวนโฟมที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ง่าย จึงทำให้มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวสูงสุด – ต่ำสุดที่มาก และมีอุณหภูมิภายในที่ไม่คงที่เมื่อเปรียบเทียบกับห้องทดลองฉนวนภายนอก



แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรายชั่วโมงของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)



แผนภูมิที่ 4.21 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศในแต่ละวัน ของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน)

4.3.3 การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศ : ใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (20.00 – 06.00 น.)

การทดลองสภาวะที่ 3 เป็นการทดลองการใช้งานในรูปแบบของห้องที่มีการใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (20.00 – 06.00 น.) โดยมีการเปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองทั้ง 2 ห้องให้มีความเท่าเทียมกันที่ 25 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4.20 พบว่า รูปแบบของการใช้พลังงานปรับอากาศที่เกิดขึ้นของ ห้องทดลองทั้ง 2 ห้องมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ (20.00 น.) จะมีอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศที่สูงที่สุด หลังจากนั้นในชั่วโมงต่อมา อัตราการใช้พลังงานจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในอัตราที่ใกล้เคียงกันทั้งสองห้องจนกระทั่งปิดเครื่องปรับอากาศ สาเหตุเนื่องมาจากการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศในช่วงค่ำ ซึ่ง ภายในห้องยังมีอุณหภูมิที่ผิวและอุณหภูมิอากาศภายในที่มีค่าสูงหลงเหลืออยู่ ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการทำความเย็นให้กับผิวผนังและห้องในช่วงแรก หลังจากนั้น อัตรา การใช้พลังงานจึงลดลง พร้อมๆ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่มีค่าลดต่ำลงในช่วงกลางคืน ทำให้อุณหภูมิผิวและอุณหภูมิอากาศภายในได้รับความร้อนลดน้อยลง ไปด้วย จึงส่งผลให้เครื่องปรับอากาศมี อัตรา การใช้พลังงานที่ลดลงเรื่อยๆ เช่นกัน

โดยที่ห้องทดลองฉนวนภายนอกมี อัตรา การใช้พลังงานในการปรับอากาศในช่วงเริ่มต้นมากกว่าห้องทดลองฉนวนภายในเฉลี่ย 0.141 kWh หรือเท่ากับ 35.19% ของอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศในช่วงเริ่มต้นของห้องทดลองฉนวนภายใน เนื่องจากเครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานในการทำความเย็นให้กับผิวผนังก่ออิฐที่มีมวลสารมากกว่า

จากแผนภูมิที่ 4.21 แสดง อัตรา การใช้พลังงานปรับอากาศในแต่ละวัน พบว่าห้องทดลองฉนวนภายนอกมี อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศเฉลี่ย 1.976 kWh/วัน ในขณะที่ห้องทดลองฉนวนภายในมี อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศเฉลี่ย 1.332 kWh/วัน ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราการใช้พลังงานรวมทั้ง 3 วัน ห้องทดลองฉนวนภายใน จะมีอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศน้อยกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก คิดเป็น 32.6%

4.4 การทดลองสภาวะที่ 4: ใช้งานปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

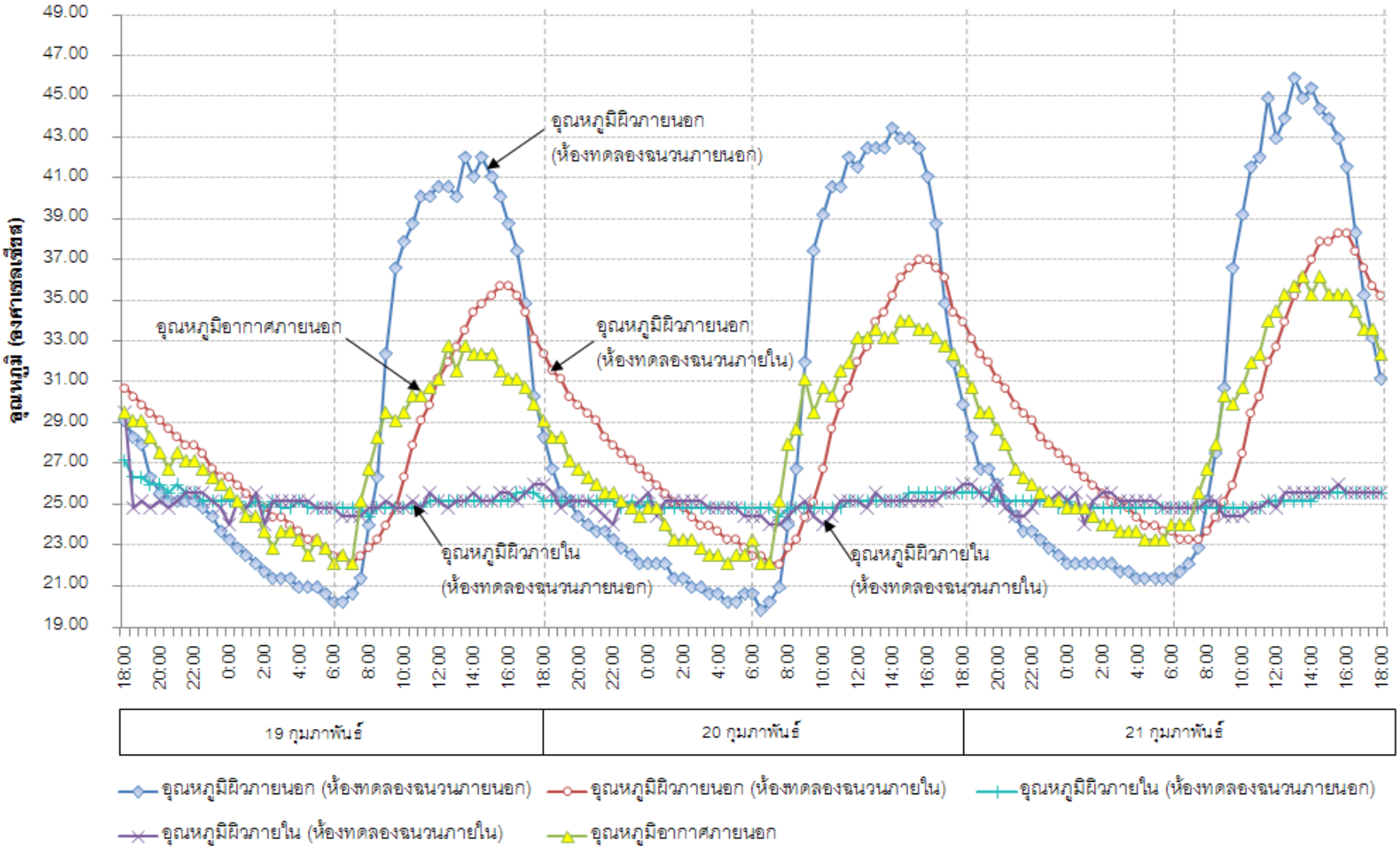
การทดลองสภาวะที่ 4 เป็นการทดลองการใช้งานในรูปแบบของห้องที่มีการใช้งานปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร และผลทางอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวภายนอก ผิวภายใน อุณหภูมิอากาศภายใน ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature) รวมไปถึงค่าการใช้พลังงานปรับอากาศ เมื่อมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ คือ การติดตั้งฉนวนภายนอก และการติดตั้งฉนวนภายใน โดยวัสดุที่เป็นตัวแทนผนังภายนอกของอาคารทั่วไป ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูนครึ่งแผ่น หนา 0.10 เมตร ทาสีขาว ส่วนวัสดุที่เป็นตัวแทนฉนวน ได้แก่ โฟมโพลีสไตรีนหนา 2 นิ้ว (ความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)

สภาวะที่ 4 ทำการทดลองในวันที่ 19 – 21 กุมภาพันธ์ 2555 สภาพอากาศส่วนใหญ่มีท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) และมีแดดแรงตลอดช่วงกลางวัน โดยกำหนดให้ห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง มีรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ดังนี้

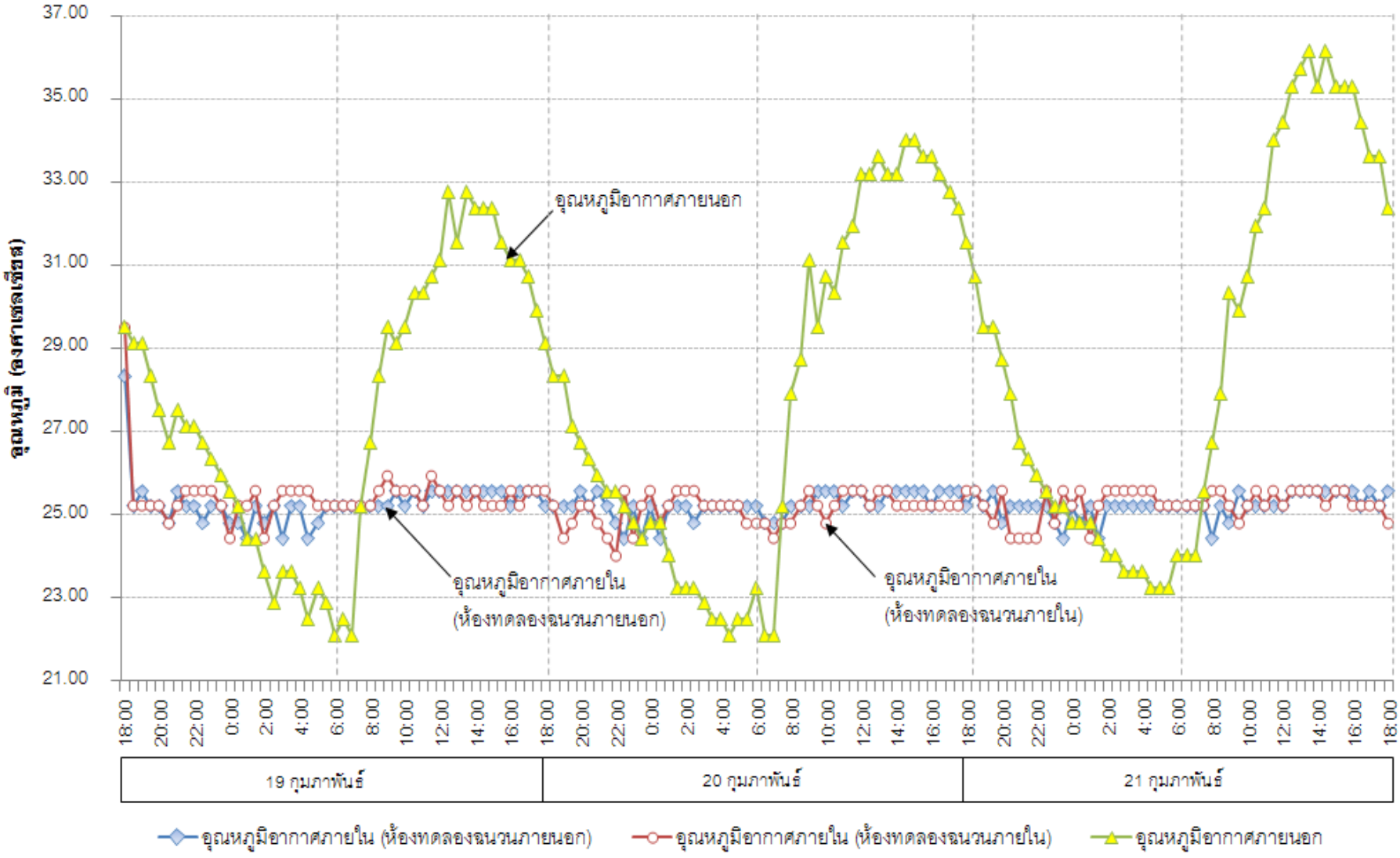
ห้องทดลองที่ 1 ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร

ห้องทดลองที่ 2 ติดตั้งฉนวนภายในอาคาร

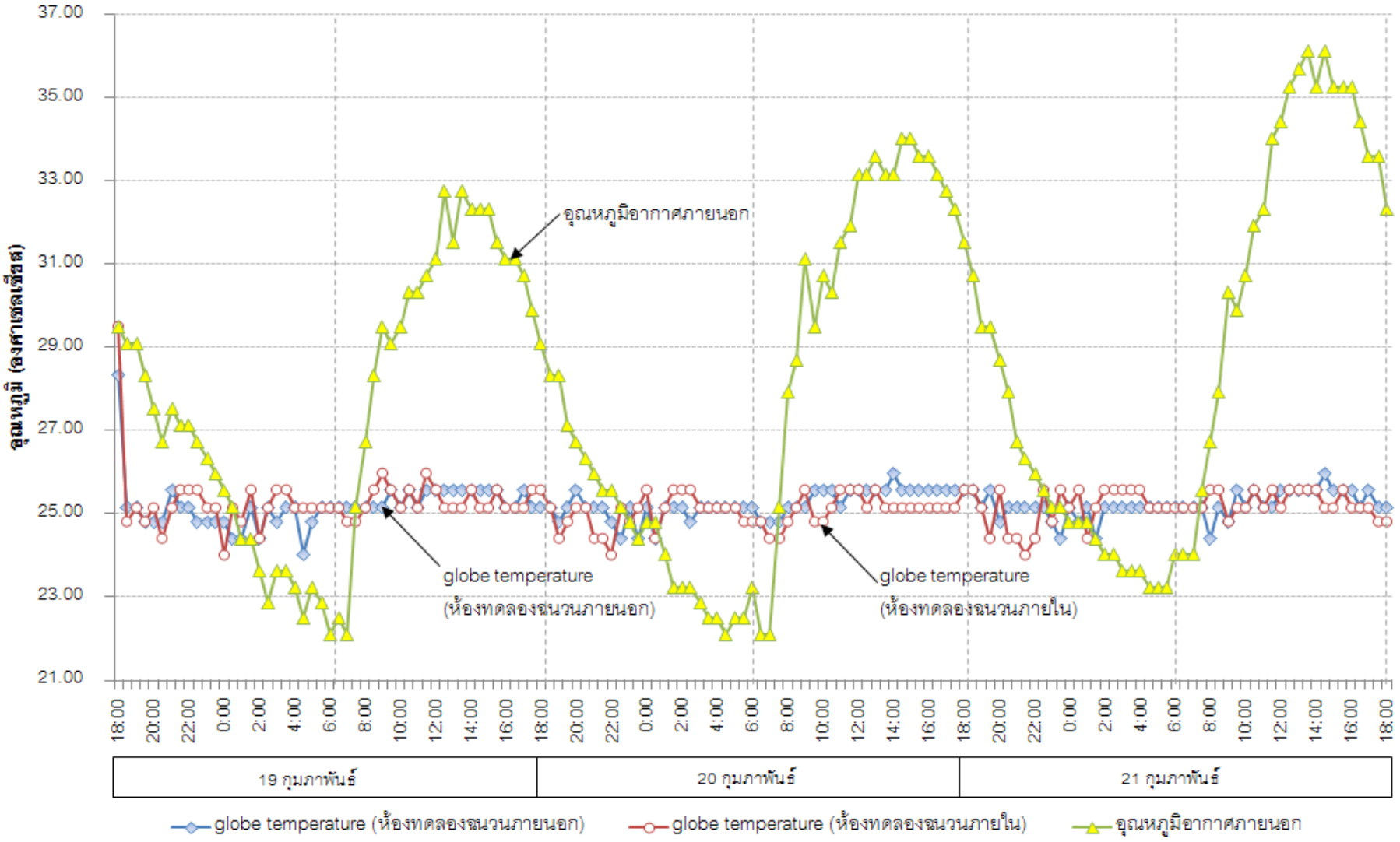
การทดลองนี้มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในให้มีความเท่าเทียมกันที่ 25 องศาเซลเซียส ตลอดทั้ง 3 วัน



แผนภูมิที่ 4.22 เปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)



แผนภูมิที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)



แผนภูมิที่ 4.24 เปรียบเทียบระหว่าง globe temperature และอุณหภูมิอากาศภายนอก (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)

4.4.1 ผลการทดลองสภาวะที่ 4: ใช้งานปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

ในการทดลองสภาวะที่ 4 ทำการทดลองในวันที่ 19 – 21 กุมภาพันธ์ 2555 สภาพอากาศส่วนใหญ่มีท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) และมีแดดแรงตลอดช่วงกลางวัน

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองสภาวะที่ 4

ค่าอุณหภูมิ	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ช่วงเวลา (น.)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	ช่วงเวลา (น.)	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (°C)
อุณหภูมิอากาศภายนอก	28.04	36.13	13.30 – 14.30	22.09	04.30	14.04
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายนอก	25.22	28.31	18.00*	24.40	23.30 - 01.30	3.91
อุณหภูมิภายในห้องทดลองฉนวนภายใน	25.25	29.50	18.00*	24.01	22.00	5.49
หมายเหตุ: *18.00 น.เป็นเวลาเริ่มทำการทดลอง ทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าอุณหภูมิภายในสูงที่สุด						

จากแผนภูมิที่ 4.22 – 4.24 สามารถสรุปข้อมูลอุณหภูมิที่วัดค่าได้ในแต่ละจุด ดังนี้

<u>จุดที่ 2 อุณหภูมิที่ผิวภายนอก</u>

ห้องทดลองฉนวนภายนอก มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.43 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุด 45.89 องศาเซลเซียส (13.00 น.) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด 19.81 องศาเซลเซียส (06.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 26.08 องศาเซลเซียส โดยในช่วงเวลา 08.30–17.30 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และช่วงเวลา 18.00 – 08.00 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

ห้องทดลองฉนวนภายใน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.71 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุด 38.32 องศาเซลเซียส (15.30 น.) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด 22.09 องศาเซลเซียส (07.00 – 07.30 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 12.23 องศาเซลเซียส โดยในเว ลา 13.00 – 05.00 น. อุณหภูมิที่ผิววัสดุจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และเวลา 07.30 – 12.30 น. อุณหภูมิที่ผิวจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

จุดที่ 3 อุณหภูมิที่ผิวภายใน

ห้องทดลองฉนวนภายนอก มีอุณหภูมิเฉลี่ย 25.10 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุด 27.12 องศาเซลเซียส (ช่วงเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ) และค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมงอุณหภูมิที่ผิวจึงคงที่อยู่ในช่วง 25 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิต่ำสุด 24.40 องศาเซลเซียส (07.30 – 08.00 น.) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 2.02 องศาเซลเซียส

ห้องทดลองฉนวนภายใน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 25.09 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุด 29.50 องศาเซลเซียส (ช่วงเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ) ลดลงเป็น 24.79 องศาเซลเซียสภายในครึ่งชั่วโมงแรกที่เปิดเครื่องปรับอากาศ หลังจากนั้นลักษณะอุณหภูมิที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยตลอดเวลา มีค่าอุณหภูมิต่ำสุด 24.01 องศาเซลเซียส และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด 5.49 องศาเซลเซียส

จุดที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในห้อง

ห้องทดลองฉนวนภายนอก มีอุณหภูมิเฉลี่ย 25.20 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุด 28.31 องศาเซลเซียส (ช่วงเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด 24.40 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเปิดเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 1.55 องศาเซลเซียส (โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 24.40 – 25.95 องศาเซลเซียส)

ห้องทดลองฉนวนภายใน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 25.22 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุด 29.50 องศาเซลเซียส (ช่วงเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด 24.01 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเปิดเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 1.94 องศาเซลเซียส (โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 24.01 – 25.95 องศาเซลเซียส)

จุดที่ 5 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง (globe temperature)

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง จะมีลักษณะเดียวกันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดได้ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 25.21 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 4.30 องศาเซลเซียส

ห้องทดลองฉนวนภายใน ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในห้อง จะมีลักษณะเดียวกันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดได้ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 25.19 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 5.49 องศาเซลเซียส

4.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองในสภาวะการใช้งานปรับอากาศ 24 ชั่วโมง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อสรุปข้อมูลด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในสภาวะการใช้งานปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีการวิเคราะห์ข้อมูลจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

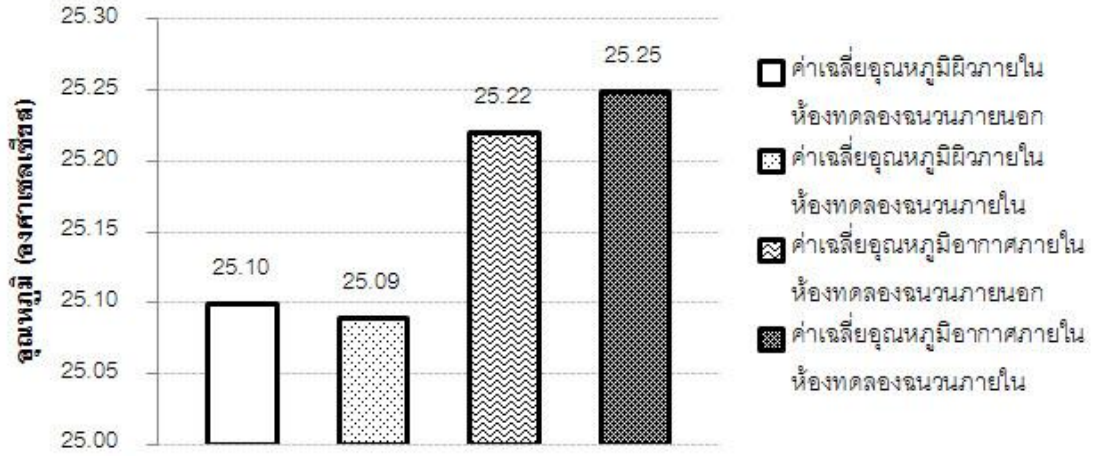
- ลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องทดลอง
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน
- ค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุด

<u>ลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องทดลอง</u>

ห้องทดลองฉนวนภายนอก ช่วงเริ่มปรับอากาศอุณหภูมิผิวภายในมีค่าสูงสุด 27.12 องศาเซลเซียส และค่อยลดลงอย่างช้าๆ ใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ผิวจึงคงที่ที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส โดยมีลักษณะอุณหภูมิที่คงที่ตลอดทั้งวัน เช่นเดียวกับอุณหภูมิอากาศภายใน หลังจากเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศอุณหภูมิจะมีค่าลดต่ำลง 3.14 องศาเซลเซียสภายในครึ่งชั่วโมงแรก หลังจากนั้นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตลอดทั้งวันจะมีค่าความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อยมาก โดยมีค่าความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดทั้งวัน (temperature swing) และอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย (หลังจากครึ่งชั่วโมงแรกที่เริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ) น้อยกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน

ห้องทดลองฉนวนภายใน เมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศอุณหภูมิที่ผิวและอุณหภูมิอากาศภายในจะมีค่าลดลง 4.71 และ 4.33 องศาเซลเซียสตามลำดับภายในครึ่งชั่วโมงแรกที่เปิดเครื่องปรับอากาศ หลังจากนั้นลักษณะอุณหภูมิที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยตลอดเวลา โดยมีค่าความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดทั้งวัน (temperature swing) และอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย (หลังจากครึ่งชั่วโมงแรกที่เริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ) มากกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอกเล็กน้อย

<u>เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน</u>

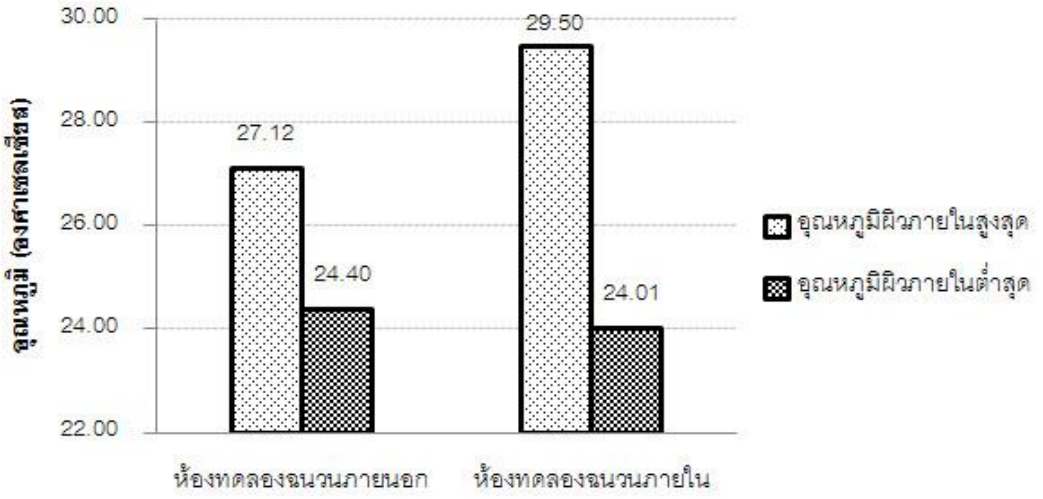


แผนภูมิที่ 4.25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)

จากแผนภูมิเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายใน กับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน พบว่า ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ห้องมีค่าใกล้เคียงกันที่ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากถูกควบคุมอุณหภูมิอยู่ในสภาวะการปรับอากาศตลอดทั้ง 24 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิผิวภายในของห้องทดลองฉนวนภายนอกมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อย (0.01 องศาเซลเซียส) ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของห้องทดลองฉนวนภายนอกมีค่าต่ำกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน (0.03 องศาเซลเซียส)

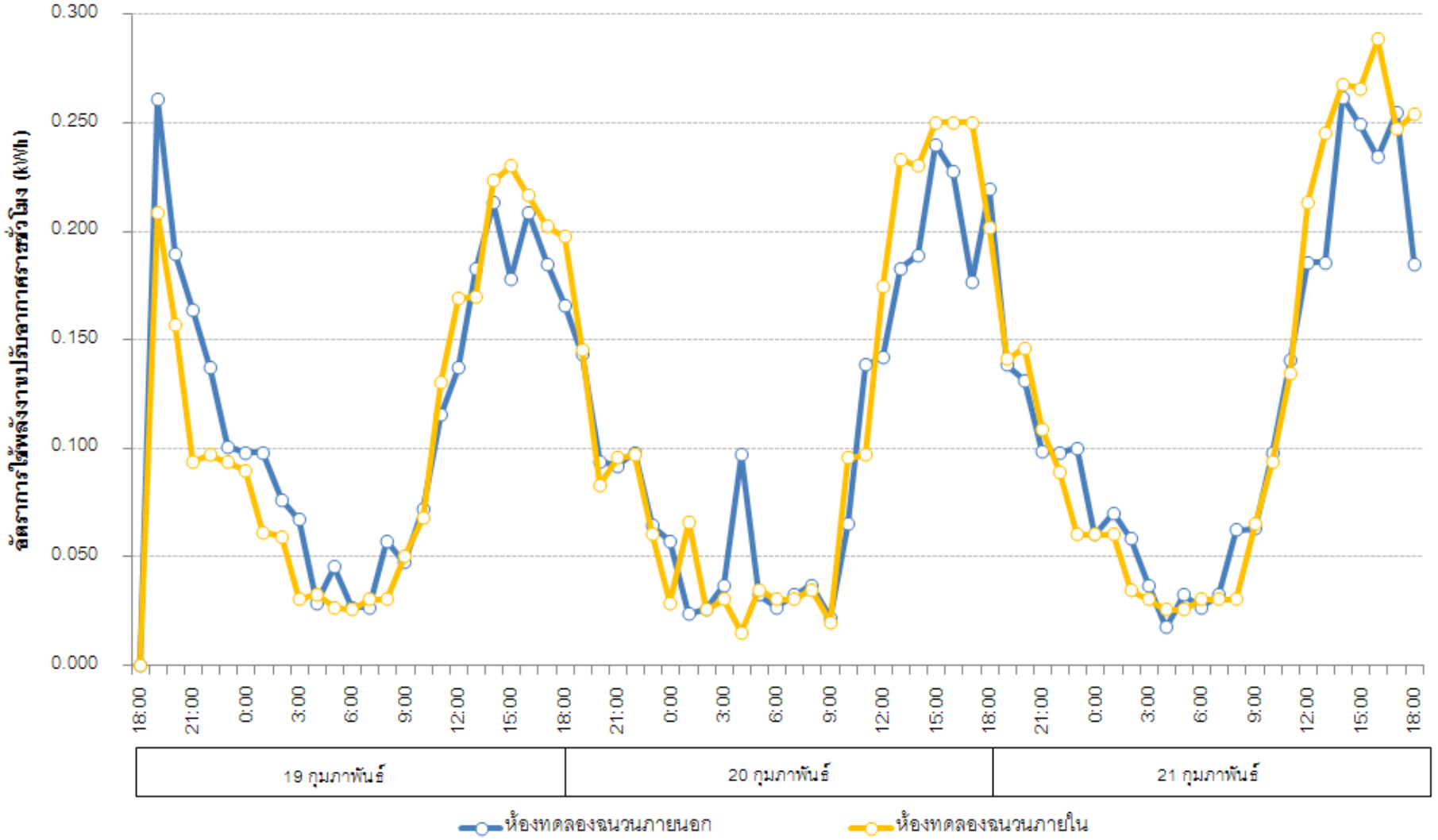
ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในและอุณหภูมิอากาศภายในสามารถบอกถึงปริมาณการใช้พลังงานปรับอากาศที่ใช้ โดยในที่นี้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในและอากาศภายในของห้องทดลองฉนวนภายนอกและภายใน มีค่าเท่ากับ 0.12 และ 0.16 องศาเซลเซียสตามลำดับ ทำให้ทราบว่าในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ห้องทดลองฉนวนภายในจะมีค่าการใช้พลังงานปรับอากาศมากกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอกเล็กน้อย

ค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุด

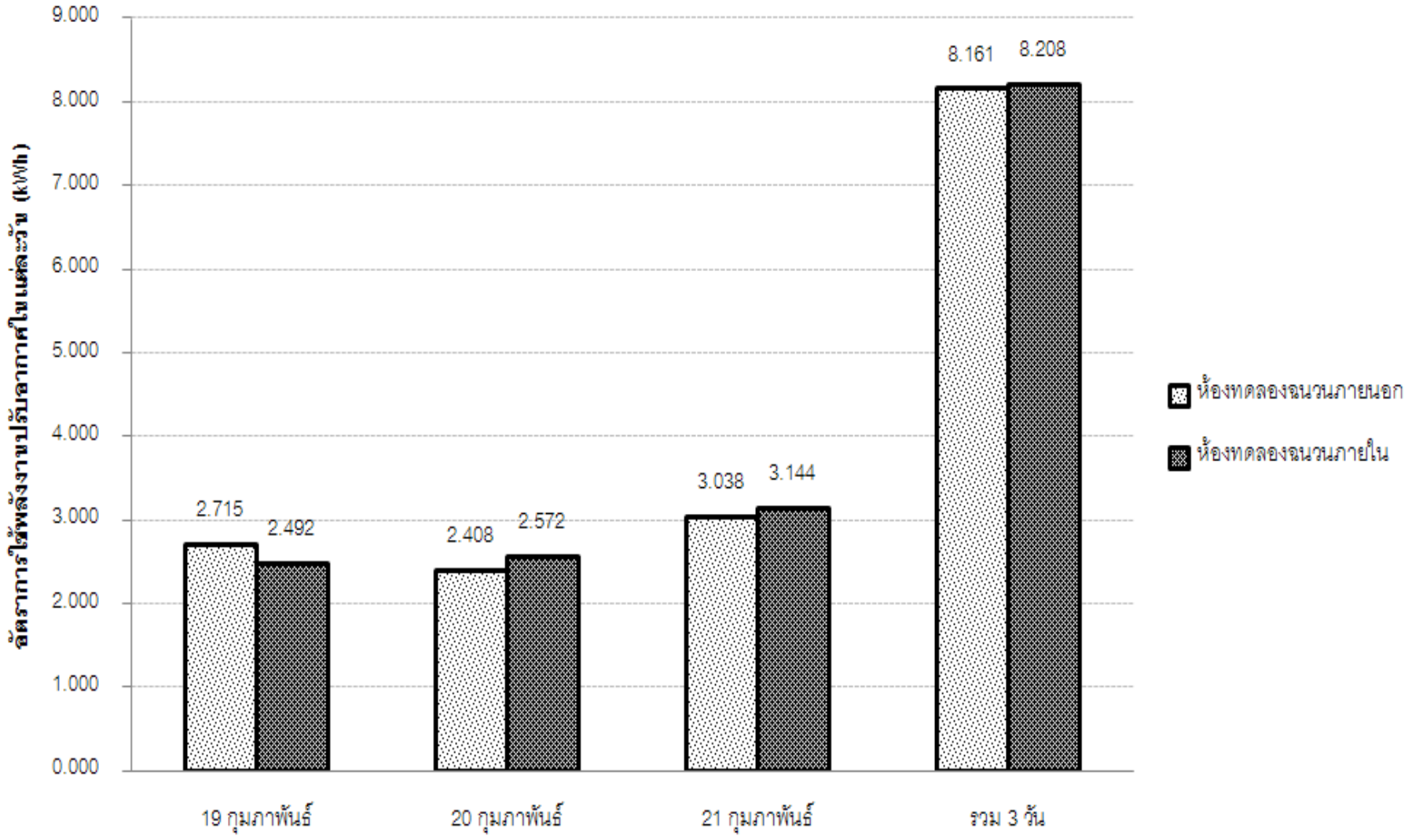


แผนภูมิที่ 4.26 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)

จากแผนภูมิเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง พบว่า ห้องทดลองฉนวนภายนอกมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 2.72 องศาเซลเซียส ในขณะที่ห้องทดลองฉนวนภายในมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมากกว่า โดยมีค่าอยู่ที่ 5.49 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสามารถบอกถึงความคงที่ของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นได้ โดยที่ห้องทดลองฉนวนภายในมีผนังภายในเป็นฉนวนโฟมที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงและมีมวลสารน้อย ทำให้อุณหภูมิภายในสามารถเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วตามความร้อนที่ได้รับ จึงมีค่าอุณหภูมิที่ไม่คงที่ ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีการทำงานสม่ำเสมอน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับห้องทดลองฉนวนภายนอก ที่มีอุณหภูมิคงที่มากกว่า และเครื่องปรับอากาศสามารถทำงานได้สม่ำเสมอมากกว่า ซึ่งจะส่งผลดีต่อค่าการใช้พลังงานปรับอากาศในระยะยาว



แผนภูมิที่ 4.27 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรายชั่วโมง ของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)



แผนภูมิที่ 4.28 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศในแต่ละวัน ของห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง (สภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)

4.4.3 การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศ: ใช้งานปรับอากาศ 24 ชั่วโมง

การทดลองสภาวะที่ 4 เป็นการทดลองในรูปแบบของห้องที่มีการใช้งานปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีการเปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองทั้ง 2 ห้องให้มีความเท่าเทียมกันที่ 25 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4.27 พบว่า รูปแบบของการใช้พลังงานปรับอากาศที่เกิดขึ้น คือ เมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศจะมี อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศ จำนวนหนึ่ง เพื่อทำความเย็นให้กับผิวผนังภายในและอุณหภูมิห้อง หลังจากอุณหภูมิเริ่มคงที่ อัตราการใช้พลังงานจะค่อยลดลง โดยในช่วงกลางวัน อัตรา การใช้พลังงานจะมีค่าสูง และในช่วงกลางคืน จะมีอัตรา การใช้พลังงาน ลดต่ำลง ในช่วง 10.00 – 14.00 น. จะมีอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว จนสูงสุดที่ช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. จากนั้น อัตรา การใช้พลังงานจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 18.00 – 03.00 น. และลดลงจนมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณ 04.00 – 05.00 น.

จากแผนภูมิที่ 4.28 แสดงอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศในแต่ละวัน พบว่า ในวันแรกที่เริ่มเปิดเครื่อง ปรับอากาศ อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศของห้องทดลองฉนวนภายนอกจะมีค่าสูง มาก กว่า เนื่องจากห้องทดลองฉนวนภายนอกต้องใช้พลังงานในช่วงเริ่มต้นเปิดเครื่องปรับอากาศมากกว่าคิดเป็น 20.31% ของ อัตรา การใช้พลังงานปรับอากาศ เริ่มต้นในห้องทดลองฉนวนภายใน หลังจากนั้นเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศไว้ตลอด 24 ชั่วโมง ในวันที่ 2 และ 3 ของการปรับอากาศ อัตราการใช้พลังงานของห้องทดลองฉนวนภายในจะ กลับมีค่าสูงกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก เป็นเพราะเมื่อ ใช้งาน เครื่องปรับอากาศอย่างต่อเนื่อง ปัจจัยด้านความร้อน จากภายนอกที่ ถ่ายเท เข้ามา สู่ภายในจะส่งผลต่อ อัตรา การใช้พลังงานปรับอากาศโดยตรง ทำให้อัตรา การใช้พลังงานปรับอากาศของห้องทดลองฉนวนภาย นอก มีค่า น้อย กว่าแปรผันตามลักษณะความร้อนที่ผ่านเข้ามา สู่ภายใน โดยสามารถสรุป อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศแต่ละวันได้ ดังนี้

วันที่ 1 ห้องทดลองฉนวนภายใน ใช้พลังงานน้อยกว่าห้องทดลองฉนวนภายนอก 8.21%

วันที่ 2 ห้องทดลองฉนวนภายนอก ใช้พลังงานน้อยกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน 6.38%

วันที่ 3 ห้องทดลองฉนวนภายนอก ใช้พลังงานน้อยกว่าห้องทดลองฉนวนภายใน 3.37%

ดังนั้นเมื่อคิด อัตราการใช้พลังงานรวมของแต่ละห้อง พบว่า ห้องทดลองฉนวนภายนอกใช้พลังงานรวม 8.161 kWh ซึ่งมีค่าน้อยกว่าห้องทดลองฉนวนภายในที่ใช้พลังงานรวม 8.208 kWh คิดเป็น 0.57%

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ โดยทำการทดลองในสภาวะที่มีการใช้งานปรับอากาศในรูปแบบต่างที่แตกต่างกัน 4 สภาวะ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลองแต่ละสภาวะการใช้งาน

5.1.1 สภาวะที่ 1: ไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

ในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ จะพิจารณาปัจจัยด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้ เมื่อกำหนดให้ ✓✓ หมายถึง ประสิทธิภาพดีกว่า ✓ หมายถึง ประสิทธิภาพด้อยกว่า

ตารางที่ 5.1 แสดงผลสรุปการทดลองสภาวะที่ 1 (ไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)

ปัจจัยในการเปรียบเทียบ	ฉนวนภายนอก	ฉนวนภายใน
การลดการถ่ายเทความร้อน	✓✓	✓
อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงกลางวัน	✓✓	✓
อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงกลางคืน	✓	✓✓
Temperature swing	✓✓	✓
จำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในต่ำกว่าภายนอก	✓✓(12.5 ชั่วโมง)	✓(10 ชั่วโมง)
Time lag (ชั่วโมง)	✓✓(4 ชั่วโมง)	✓(0.5 ชั่วโมง)

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปได้ว่า ในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ การติดตั้งฉนวนภายนอกจะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนลงได้ 16.71% ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิอากาศในช่วงกลางวันที่ต่ำกว่าและมีค่าความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดทั้งวันน้อย ทำให้อุณหภูมิภายในเฉลี่ยมีความคงที่ แต่ในช่วงกลางคืน (02.00 – 07.30 น.) อุณหภูมิภายในจะมีค่าสูงกว่าการติดตั้งฉนวนภายในเล็กน้อยประมาณ 0.39 องศาเซลเซียส

ข้อควรระวังสำหรับการติดตั้งฉนวนภายใน หากภายในห้องมีแหล่งกำเนิดความร้อนมาก การใช้ติดตั้งฉนวนโฟมไว้ภายในอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากวัสดุโฟมมีคุณสมบัติความเป็นฉนวน

มาก ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างรวดเร็วตามแหล่งกำเนิดความร้อนภายในเช่นกัน

5.1.2 **สภาวะที่** 2: **การใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางวัน** (08.00 – 17.00 **น.**)

ในสภาวะที่มีการปรับอากาศ จะพิจารณาปัจจัยด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศได้ ดังนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงผลสรุปการทดลองสภาวะที่ 2 (ปรับอากาศเฉพาะกลางวัน 08.00-17.00 น.)

ปัจจัยในการเปรียบเทียบ	ฉนวนภายนอก	ฉนวนภายใน
อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงเปิดเครื่องปรับอากาศ	✓	✓✓
การทำงานของเครื่องปรับอากาศ	✓✓	✓
อัตราการใช้พลังงานเริ่มต้น	✓	✓✓
อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรวม	✓	✓✓

จากตารางที่ 5.2 สามารถสรุปได้ว่า ในสภาวะที่มีการปรับอากาศเฉพาะกลางวัน (08.00 – 17.00 น.) การติดตั้งฉนวนภายในจะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากการติดตั้งฉนวนภายในจะใช้พลังงานเริ่มต้นในการปรับอากาศน้อยกว่าการติดตั้งฉนวนภายนอก 34.76 % ส่งผลให้สามารถลดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรวมได้มากกว่า คิดเป็น 8.57 % โดยในช่วงเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิอากาศภายในห้องจะมีค่าลดลงได้อย่างรวดเร็ว และมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงปรับอากาศที่ต่ำกว่าการติดตั้งฉนวนภายนอก

5.1.3 **สภาวะที่** 3: **การใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางคืน** (20.00 – 06.00 **น.**)

ในสภาวะที่มีการปรับอากาศ จะพิจารณาปัจจัยด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศได้ ดังนี้

ตารางที่ 5.3 แสดงผลสรุปการทดลองสภาวะที่ 3 (ปรับอากาศเฉพาะกลางคืน 20.00-06.00 น.)

ปัจจัยในการเปรียบเทียบ	ฉนวนภายนอก	ฉนวนภายใน
อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงเปิดเครื่องปรับอากาศ	✓	✓✓
การทำงานของเครื่องปรับอากาศ	✓✓	✓
อัตราการใช้พลังงานเริ่มต้น	✓	✓✓
อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรวม	✓	✓✓

จากตารางที่ 5.3 สามารถสรุปได้ว่า ในสภาวะที่มีการปรับอากาศเฉพาะกลางคืน (20.00 – 06.00 น.) การติดตั้งฉนวนภายในจะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากการติดตั้งฉนวนภายในจะใช้พลังงานเริ่มต้นในการปรับอากาศน้อยกว่าการติดตั้งฉนวนภายนอก 32.60 % ส่งผลให้สามารถลดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรวมได้มากกว่าถึง 35.19 % โดยในช่วงเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิอากาศภายในห้องจะมีค่าลดลงได้อย่างรวดเร็ว และมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงปรับอากาศที่ต่ำกว่าการติดตั้งฉนวนภายนอก

อย่างไรก็ตามการติดตั้งฉนวนภายนอกมีข้อดี คือ สามารถช่วยให้เครื่องปรับอากาศได้อย่างสม่ำเสมอมากกว่าการติดตั้งฉนวนภายใน เนื่องจากวัสดุผิวภายในที่มีมวลสารมาก (ผนังก่ออิฐฉาบปูน) ทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดทั้งวันมีค่าน้อย อุณหภูมิผิวภายในจึงคงที่มากกว่า และส่งผลดีต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

5.1.4 ผลการทดลองสภาวะที่ 4: การใช้งานปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

ในสภาวะที่มีการปรับอากาศ จะพิจารณาปัจจัยด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศได้ ดังนี้

ตารางที่ 5.4 แสดงผลสรุปการทดลองสภาวะที่ 4 (ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง)

ปัจจัยในการเปรียบเทียบ	ฉนวนภายนอก	ฉนวนภายใน
อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงเปิดเครื่องปรับอากาศ	✓✓	✓
การทำงานของเครื่องปรับอากาศ	✓✓	✓
อัตราการใช้พลังงานเริ่มต้น	✓	✓✓
อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรวม	✓✓	✓

จากตารางที่ 5.4 สามารถสรุปได้ว่า ในสภาวะที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง การติดตั้งฉนวนภายนอกจะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากสามารถลดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรวมได้มากกว่าการติดตั้งฉนวนภายใน 0.57 % และมีแนวโน้มจะมีค่ามากขึ้นหากเปิดเครื่องปรับอากาศต่อเนื่องเป็นเวลานานขึ้น โดยในช่วงที่มีการปรับอากาศ ภายในห้องจะมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งฉนวนภายใน นอกจากนี้เครื่องปรับอากาศยังสามารถทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในมีความคงที่ โดยในสภาวะการใช้งานปรับอากาศลักษณะนี้ อัตราการใช้พลังงานปรับอากาศในช่วงเริ่มต้นจะมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรวมน้อยมาก

5.2 สรุปผลการทดลองและปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้อง

ตารางที่ 5.5 แสดงสรุปผลการทดลอง และปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้อง

สภาวะ ผลการทดลอง	ไม่ปรับอากาศ	ปรับอากาศ	
		ต่อเนื่อง	เปิด – ปิดเป็นช่วงเวลา
ปัจจัยที่ใช้พิจารณา	การลดการถ่ายเทความร้อน	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ
ตำแหน่งฉนวนที่เหมาะสม	ฉนวนภายนอก	ฉนวนภายนอก	ฉนวนภายใน
ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานปรับอากาศ	-	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายใน	อัตราการใช้พลังงานช่วงเริ่มต้น

ในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ จะมีการพิจารณาปัจจัยทางด้านการลดการถ่ายเทความร้อนเป็นหลัก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ตำแหน่งการติดตั้งฉนวนภายนอกเป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสม เนื่องจากสามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 16.71%

ในสภาวะที่มีการปรับอากาศ จะพิจารณาปัจจัยด้านการใช้พลังงานปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพมากกว่า ซึ่งสภาวะการปรับอากาศ สามารแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

- ในสภาวะการปรับอากาศอย่างต่อเนื่อง ตำแหน่งการติดตั้งฉนวนที่เหมาะสม คือ การติดตั้งฉนวนภายนอก เนื่องจากสามารถลดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศได้มากกว่าการติดตั้งฉนวนภายใน 0.57% โดยปัจจัยด้านปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาสู่ภายใน จะมีอิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรวมมากกว่าอัตราการใช้พลังงานช่วงเริ่มต้น ทำให้ห้องที่ติดฉนวนภายนอกซึ่งสามารถลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในได้ดีกว่า มีอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศรวมที่ต่ำกว่า
- ในสภาวะการเปิด – ปิดเครื่องปรับอากาศเป็นช่วงเวลา ตำแหน่งการติดตั้งฉนวนที่เหมาะสม คือ การติดตั้งฉนวนภายใน เนื่องจากสามารถลดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศได้มากกว่าการติดตั้งฉนวนภายนอก ตั้งแต่ 8.57 – 32.6 % โดยปัจจัยด้านอัตรา การใช้พลังงานปรับอากาศช่วงเริ่มต้น จะมีอิทธิพลต่อค่าการใช้พลังงานปรับอากาศรวมมาก เพราะเครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานช่วงเริ่มต้นเป็นจำนวนมากในการรีดความร้อนและความชื้นให้กับผิวผนังและผิววัสดุ โดยเฉพาะเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะเวลากลางคืนที่มีความร้อนสะสมจากช่วงกลางวัน ส่งผลให้ห้องที่มีการติดฉนวนภายในมีภาระในการทำความเย็นให้กับผนังน้อยกว่าการติด

ฉนวนภายนอก และมีค่าการใช้พลังงานปรับอากาศน้อยกว่า นอกจากนี้ยังมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในต่ำกว่าในช่วงเปิดเครื่องปรับอากาศ

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

จากสรุปผลการทดลอง การเลือกใช้ฉนวนภายนอกสามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในได้มากกว่า ทำให้อุณหภูมิภายในมีค่าต่ำกว่าการติดฉนวนภายใน ซึ่งหากห้องที่ต้องการติดฉนวนมีการใช้งานตลอดทั้ง 24 ชั่วโมง การติดตั้งฉนวนภายนอกจึงมีความเหมาะสมมากกว่า แม้จะมีอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศที่สูงกว่า แต่ช่วงที่ปิดเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิภายในห้องยังคงมีค่าที่ต่ำกว่า ในขณะที่การติดตั้งฉนวนภายใน แม้จะมีอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศต่ำกว่า แต่ในช่วงที่ปิดเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิภายในจะมีค่าสูงมากกว่าห้องที่ติดตั้งฉนวนภายนอก โดยทั้งนี้การเลือกติดตั้งฉนวนภายใน สามารถเป็นไปได้สำหรับกรณีที่

1.) ห้องที่มีการเปิด – ปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา และช่วงที่ปิดเครื่องปรับอากาศไม่มีผู้ใช้งาน

2.) ห้องที่ไม่ปรับอากาศ ที่มีการใช้งานเฉพาะเวลากลางคืนเท่านั้ น (ภายในห้องต้อง ไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนมาก)

ข้อควรพิจารณาสำหรับอาคารที่มีพื้นที่ใช้งานบริเวณรอบนอกอาคาร การติดตั้งฉนวนภายนอกจะทำให้ผิวภายนอกมีค่าอุณหภูมิสูงมากในช่วงกลางวัน ซึ่งจะส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้งานที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงโดยตรง

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1. การวิจัยนี้มีระยะเวลาของการศึกษาที่จำกัด ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองครอบคลุมทุกช่วงสภาพอากาศของประเทศไทยได้ และจากผลการทดลองในสภาวะที่ 4 (การปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง) หากใช้ระยะเวลาในการทดลองมากขึ้น จะทำให้ผลสรุปของการทดลองมีความชัดเจนมากขึ้น จึงควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อหาข้อสรุปที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2. การวิจัยนี้เป็นการศึกษาตำแหน่งการติดตั้งฉนวนในเบื้องต้น จึงมีการผสมผสานวัสดุผนังและวัสดุฉนวนเข้าด้วยกันเพียงสองชั้น ซึ่งในการติดตั้งเพื่อใช้งานจริงจำเป็นต้องมีวัสดุปิดผิว เช่น ยิปซั่มบอร์ด หรือวัสดุจำพวกไม้เทียม เพื่อป้องกันปัจจัยภายนอกที่มากระทบฉนวนกันความร้อนให้มีการเสื่อมสภาพได้เร็วเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงควรมีการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวเพิ่มเติมต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัญจน์ พิเชษฐ์ศิลป์. แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

กษิดา ชำนาญดี. แนวทางในการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับผนัง ที่มีความคุ้มค่าในการติดตั้งกับบ้านพักอาศัยมากที่สุด. ใน บทความประชุมวิชาการสาระศาสตร์ ครั้งที่ 16. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน . กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2543.

ธนิต จินดาวณิค. เอกสารประกอบการสอน “การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบสถาปัตยกรรม ”. กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

นโยบายและแผนพลังงาน, สำนัก. สาระน่ารู้เรื่องการอนุรักษ์พลังงาน “เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในบ้านพักอาศัย”. เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., 2551.

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. การเลือกใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน “ชุดรู้รักพลังงาน”. เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., 2548.

พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน , กรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร . เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., 2536.

รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ. อิทธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารเข้าด้วยกัน . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

สกนธ์ ศรีวิไลสกุลวงศ์. การพัฒนาระบบผนังโฟมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อน . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2545.

สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศในเขตร้อนชื้น . กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สรญา ประวิตรางกูร. อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและภาระการปรับอากาศในการออกแบบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ และอุษณีย์ มิ่งวิมล. การใช้ฉนวน. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2543.

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering. 2001 ASHRAE Handbook Fundamental S-I Edition. Atlanta, Georgia: 2001.

Fuller, M. Environmental control systems: heating, cooling, lighting. New York: McGraw-Hill, 1993.

Santamouris, M. and Asimakopoulos, D. Passive Cooling of Buildings, James & James Ltd., London, U.K., 1996.

Zold, A and Szokolay, S. Passive and Low Energy Architecture International Design Tool and Techniques : Thermal Insulation. Queensland: The University of Queensland, 1997.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. การตรวจสอบค่าอุณหภูมิของหัววัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple)

1.1 ทดสอบโดยกวนในน้ำร้อน

นำหัวเทอร์มอคัปเปิลทั้งหมดจุ่มในน้ำร้อนให้อ่านค่าอุณหภูมิได้ทั่วถึงและทิ้งไว้ให้น้ำมีอุณหภูมิลดลงช้าๆ จนใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยมีค่าอุณหภูมิที่แต่ละหัววัดอ่านได้ ดังนี้

เวลา	หัวเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple)													
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
17:15	89.30	-69.16	82.49	76.76	81.27	77.83	87.83	82.49	85.06	85.06	85.06	87.83	1.17	87.83
17:16	95.87	-69.16	95.87	94.11	95.87	94.11	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	1.17	95.87
17:17	92.44	-69.16	92.44	92.44	92.44	90.83	92.44	92.44	92.44	92.44	92.44	92.44	1.17	92.44
17:18	90.83	-69.16	90.83	89.30	90.83	89.30	89.30	89.30	89.30	90.83	89.30	90.83	1.17	90.83
17:19	87.83	-69.16	89.30	87.83	89.30	87.83	86.42	87.83	87.83	87.83	89.30	87.83	1.17	87.83
17:20	86.42	-69.16	86.42	86.42	87.83	86.42	82.49	86.42	86.42	86.42	87.83	86.42	1.17	86.42
17:21	85.06	-69.16	85.06	85.06	85.06	83.75	83.75	85.06	83.75	85.06	85.06	85.06	1.17	85.06
17:22	83.75	-69.16	83.75	82.49	83.75	82.49	82.49	82.49	82.49	82.49	83.75	83.75	1.17	83.75
17:23	82.49	-69.16	82.49	81.27	82.49	81.27	81.27	81.27	81.27	81.27	82.49	81.27	1.17	82.49
17:24	81.27	-69.16	80.09	80.09	80.09	78.94	80.09	80.09	80.09	80.09	80.09	80.09	1.17	81.27
17:25	78.94	-69.16	78.94	78.94	78.94	77.83	78.94	78.94	78.94	78.94	78.94	78.94	1.17	78.94
17:26	77.83	-69.16	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	1.17	77.83
17:27	76.76	-69.16	76.76	76.76	76.76	75.71	76.76	76.76	76.76	76.76	76.76	76.76	1.17	76.76
17:28	75.71	-69.16	75.71	75.71	75.71	74.69	75.71	75.71	75.71	75.71	75.71	75.71	1.17	75.71
17:29	74.69	-69.16	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	1.17	74.69
17:30	73.70	-69.16	73.70	73.70	73.70	72.74	73.70	73.70	73.70	72.74	73.70	72.74	0.73	73.70
17:31	72.74	-69.16	72.74	72.74	72.74	71.80	72.74	72.74	72.74	72.74	72.74	72.74	0.73	72.74
17:32	72.74	-69.16	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	1.17	71.80
17:33	70.88	-69.16	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	1.17	70.88
17:34	69.98	-69.16	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	1.17	69.98
17:35	69.98	-69.16	69.11	69.11	69.98	69.11	69.11	69.11	69.11	69.11	69.11	69.11	1.17	69.98
17:36	68.25	-69.16	68.25	67.42	68.25	67.42	68.25	68.25	68.25	68.25	68.25	67.42	1.17	68.25
17:37	68.25	-69.16	67.42	67.42	67.42	67.42	67.42	67.42	67.42	67.42	67.42	66.60	1.17	67.42
17:38	66.60	-69.16	66.60	66.60	66.60	66.60	66.60	66.60	66.60	66.60	66.60	66.60	1.17	66.60
17:39	65.79	-69.16	65.79	65.79	66.60	65.01	65.79	65.79	65.79	65.79	66.60	65.79	0.73	66.60
17:40	65.79	-69.16	65.01	65.01	65.01	65.01	65.01	65.79	65.01	65.01	65.79	65.01	0.73	65.79
17:41	65.01	-69.16	65.01	64.24	65.01	64.24	64.24	65.01	65.01	64.24	65.01	64.24	0.73	65.01
17:42	64.24	-69.16	64.24	63.48	64.24	64.24	64.24	64.24	63.48	63.48	64.24	63.48	1.17	64.24
17:43	64.24	-69.16	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	0.73	64.24
17:44	63.48	-62.25	62.74	62.74	62.74	62.74	62.74	63.48	62.74	62.74	63.48	62.01	1.17	62.74
17:45	62.74	-47.72	62.74	62.01	62.74	62.01	62.01	62.74	62.01	62.01	62.74	62.01	0.73	62.01
17:46	62.01	-37.97	62.01	61.29	62.01	61.29	61.29	62.01	62.01	62.01	62.01	61.29	0.73	62.01
17:47	61.29	-69.16	61.29	61.29	61.29	60.59	60.59	61.29	61.29	60.59	61.29	60.59	0.73	61.29
17:48	61.29	-69.16	60.59	60.59	61.29	60.59	60.59	60.59	60.59	60.59	61.29	60.59	0.73	60.59
17:49	60.59	-39.58	60.59	59.90	60.59	59.90	59.90	59.90	59.90	59.90	59.90	59.90	0.73	59.90
17:50	59.90	-69.16	59.90	59.90	59.90	59.22	59.22	59.90	59.90	59.22	59.90	59.90	0.73	59.90
17:51	59.22	-69.16	59.22	59.22	59.22	58.55	59.22	59.22	59.22	59.22	59.22	58.55	0.73	59.22

เวลา	หัวเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple) (ต่อ)													
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
17:52	59.22	-69.16	58.55	58.55	58.55	58.55	58.55	58.55	58.55	57.89	58.55	57.89	0.73	58.55
17:53	57.89	-69.16	58.55	57.89	58.55	57.24	57.89	57.89	58.55	57.89	58.55	57.89	0.73	58.55
17:54	57.89	-62.25	57.89	57.24	57.89	57.24	57.24	57.89	57.89	57.89	57.89	57.24	0.73	57.89
17:55	57.24	-69.16	57.24	56.60	57.24	57.24	57.24	57.24	57.24	57.24	57.24	56.60	0.73	57.24
17:56	57.24	-69.16	57.24	56.60	57.24	56.60	57.24	57.24	56.60	56.60	57.24	56.60	0.73	57.24
17:57	56.60	-69.16	56.60	55.97	56.60	55.97	56.60	56.60	56.60	56.60	56.60	55.97	0.73	56.60
17:58	55.97	-69.16	55.97	55.35	55.97	55.97	55.97	55.97	55.97	55.97	55.97	55.35	0.73	56.60
17:59	55.35	-69.16	55.35	55.35	55.35	55.35	55.35	55.97	55.35	55.35	55.97	55.35	0.73	55.35
18:00	55.35	-69.16	55.35	54.74	55.35	54.74	55.35	55.35	55.35	54.74	55.35	54.74	0.73	55.35
18:01	54.74	-69.16	54.74	54.74	55.35	54.74	54.74	54.74	54.74	54.74	54.74	54.13	0.73	54.74
18:02	54.74	-69.16	54.74	54.13	54.74	54.13	54.13	54.74	54.13	54.13	54.74	54.13	0.73	54.74
18:03	54.13	-69.16	54.13	53.53	54.13	53.53	53.53	54.13	54.13	53.53	54.13	53.53	0.73	54.13
18:04	54.13	-69.16	54.13	53.53	54.13	53.53	53.53	54.13	53.53	53.53	53.53	52.95	0.73	53.53
18:05	53.53	-69.16	53.53	52.95	53.53	52.95	52.95	53.53	53.53	52.95	53.53	52.95	0.73	53.53
18:06	53.53	-69.16	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.37	52.95	52.37	0.73	52.95
18:07	52.95	-69.16	52.37	52.37	52.95	52.37	52.37	52.95	52.37	52.37	52.95	52.37	0.73	52.37
18:08	52.37	-69.16	52.37	51.79	52.37	52.37	52.37	52.37	52.37	52.37	52.37	51.79	0.73	52.37
18:09	52.37	-69.16	51.79	51.79	51.79	51.79	51.79	51.79	51.79	51.79	52.37	51.79	0.73	52.37
18:10	51.79	-69.16	51.79	51.22	51.79	51.22	51.22	51.79	51.79	51.79	51.79	51.22	0.73	51.79
18:11	51.79	-69.16	51.22	51.22	51.22	51.22	51.22	51.22	51.22	51.22	51.79	50.66	0.73	51.22
18:12	51.22	-69.16	50.66	50.66	51.22	50.66	50.66	51.22	51.22	50.66	51.22	50.66	0.73	50.66
18:13	50.66	-69.16	50.66	50.11	50.66	50.66	50.66	50.66	50.66	50.66	50.66	50.11	0.73	50.66
18:14	50.66	-69.16	50.66	50.11	50.66	50.11	50.11	50.66	50.11	50.66	50.66	50.11	0.73	50.66
18:15	50.11	-69.16	50.11	50.11	50.11	49.56	50.11	50.11	50.11	50.11	50.11	49.56	0.73	50.11
18:16	50.11	-69.16	49.56	49.56	50.11	49.56	49.56	50.11	49.56	49.56	50.11	49.56	0.73	50.11
18:17	49.56	-69.16	49.56	49.56	49.56	49.02	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56	49.02	0.73	50.11
18:18	49.56	-69.16	49.02	49.02	49.56	49.02	49.02	49.56	49.02	49.02	49.56	49.02	0.73	49.56
18:19	49.56	-47.72	49.02	48.49	49.02	49.02	49.02	49.02	49.02	49.02	49.02	48.49	0.73	49.02
18:20	49.02	-69.16	49.02	48.49	49.02	48.49	48.49	49.02	48.49	48.49	49.02	48.49	0.73	49.02
18:21	48.49	-69.16	48.49	47.96	48.49	47.96	48.49	48.49	48.49	48.49	48.49	47.96	0.73	48.49
18:22	48.49	-69.16	47.96	47.96	48.49	47.96	48.49	48.49	47.96	47.96	48.49	47.96	0.73	48.49
18:23	47.96	-69.16	47.96	47.43	47.96	47.43	47.96	47.96	47.96	47.96	47.96	47.96	0.73	47.96
18:24	47.43	-69.16	47.96	47.43	47.96	47.43	47.43	47.96	47.43	47.96	47.96	47.43	0.73	47.96
18:25	47.43	-69.16	47.43	47.43	47.96	47.43	47.43	47.43	47.43	47.43	47.43	46.91	0.73	47.43
18:26	47.43	-69.16	47.43	46.91	47.43	46.91	47.43	47.43	46.91	46.91	47.43	46.91	0.73	47.43
18:27	47.43	-69.16	46.91	46.40	46.91	46.40	46.91	46.91	46.91	46.91	47.43	46.40	0.73	46.91
18:28	46.91	-69.16	46.91	46.40	46.91	46.40	46.40	46.91	46.91	46.91	46.91	46.40	0.73	46.91
18:29	46.91	-69.16	46.40	46.40	46.91	46.40	46.40	46.40	46.40	46.40	46.91	45.89	0.73	46.40
18:30	46.40	-69.16	46.40	45.89	46.40	46.40	46.40	46.40	46.40	45.89	46.40	45.89	0.73	46.40
18:31	46.40	-69.16	45.89	45.89	46.40	45.89	45.89	45.89	45.89	45.89	46.40	45.89	0.73	46.40
18:32	45.89	-69.16	45.89	45.89	46.40	45.39	45.89	45.89	45.89	45.89	45.89	45.89	0.73	45.89
18:33	45.89	-69.16	45.89	45.39	45.89	45.39	45.39	45.89	45.89	45.39	45.89	45.39	0.73	45.89
18:34	45.89	-69.16	45.89	45.39	45.89	45.39	45.39	45.39	45.39	45.39	45.89	44.89	0.73	45.89
18:35	45.39	-69.16	45.39	44.89	45.39	44.89	45.39	45.39	45.39	44.89	45.39	44.89	0.73	45.39
18:36	45.39	-69.16	45.39	44.89	45.39	44.89	44.89	45.39	44.89	44.89	45.39	44.89	0.73	45.39
18:37	45.39	-69.16	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89	44.40	45.39	44.40	0.73	45.39
18:38	44.89	-69.16	44.89	44.40	44.89	44.40	44.40	44.89	44.89	44.40	44.89	44.40	0.73	44.89
18:39	44.89	-69.16	44.40	44.40	44.40	44.40	44.89	44.40	44.40	44.40	44.89	44.40	0.73	44.40
18:40	44.40	-69.16	44.40	43.91	44.40	43.91	44.40	44.40	44.40	44.40	44.40	43.91	0.73	44.40

เวลา	หัวเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple) (ต่อ)													
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
18:41	44.40	-69.16	43.91	43.91	44.40	43.91	43.91	44.40	43.91	43.91	44.40	43.91	0.73	44.40
18:42	43.91	-69.16	43.91	43.91	44.40	43.42	43.91	43.91	43.91	43.91	44.40	43.42	0.73	44.40
18:43	43.91	-69.16	43.91	43.42	43.91	43.42	43.42	43.91	43.91	43.42	43.91	43.42	0.73	43.91
18:44	43.91	-69.16	43.91	43.42	43.91	43.42	43.42	43.91	43.42	43.42	43.91	43.42	0.73	43.91
18:45	43.42	-69.16	43.42	43.42	43.91	42.94	43.42	43.42	43.42	43.42	43.91	43.42	0.73	43.91
18:46	43.42	-69.16	43.42	42.94	43.42	42.94	42.94	43.42	43.42	43.42	43.42	42.94	0.73	43.42
18:47	43.42	-69.16	43.42	42.94	43.42	42.94	42.94	43.42	42.94	42.94	43.42	42.94	0.73	43.42
18:48	43.42	-69.16	42.94	42.94	43.42	42.94	42.94	42.94	42.94	42.94	42.94	42.46	0.29	42.94
18:49	42.94	-69.16	42.94	42.46	42.94	42.46	42.46	42.94	42.94	42.46	42.94	42.46	0.73	42.94
18:50	42.94	-69.16	42.94	42.46	42.94	42.46	42.46	42.46	42.46	42.46	42.94	42.46	0.29	42.94
18:51	42.46	-69.16	42.46	42.46	42.94	41.99	42.46	42.46	42.46	42.46	42.46	41.99	0.29	42.46
18:52	42.46	-69.16	42.46	41.99	42.46	41.99	41.99	42.46	42.46	41.99	42.46	41.99	0.29	42.46
18:53	42.46	-69.16	42.46	41.99	42.46	41.99	41.99	42.46	41.99	41.99	42.46	41.99	0.29	42.46
18:54	42.46	-69.16	41.99	41.99	42.46	41.99	41.99	41.99	41.99	41.99	41.99	41.52	0.29	42.46
18:55	41.99	-69.16	41.99	41.52	41.99	41.52	41.99	41.99	41.99	41.52	41.99	41.52	0.73	41.99
18:56	41.99	-69.16	41.52	41.52	41.99	41.52	41.52	41.99	41.52	41.52	41.99	41.52	0.29	41.99
18:57	41.52	-69.16	41.52	41.52	41.99	41.52	41.52	41.52	41.52	41.52	41.99	41.05	0.29	41.99
18:58	41.52	-69.16	41.52	41.05	41.52	41.05	41.05	41.52	41.52	41.05	41.52	41.05	0.29	41.52
18:59	41.52	-69.16	41.52	41.05	41.52	41.05	41.05	41.52	41.05	41.05	41.52	41.05	0.29	41.52
19:00	41.52	-69.16	41.05	41.05	41.52	40.59	41.05	41.05	41.05	41.05	41.52	41.05	0.29	41.52
19:01	41.05	-69.16	41.05	41.05	41.05	41.05	41.05	41.05	41.05	41.05	41.05	40.59	0.29	41.05
19:02	41.05	-69.16	41.05	40.59	41.05	40.59	40.59	41.05	41.05	41.05	41.05	40.59	0.29	41.05
19:03	41.05	-69.16	40.59	40.59	41.05	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	41.05	40.59	0.29	41.05
19:04	41.05	-69.16	40.59	40.13	40.59	40.13	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.13	0.73	41.05
19:05	40.59	-69.16	40.59	40.13	40.59	40.13	40.59	40.59	40.59	40.13	40.59	40.13	0.29	40.59
19:06	40.59	-69.16	40.59	40.13	40.59	40.13	40.13	40.59	40.13	40.13	40.59	40.13	0.73	40.59
19:07	40.59	-69.16	40.13	40.13	40.59	40.13	40.13	40.13	40.13	40.13	40.13	39.67	0.29	40.59
19:08	40.13	-69.16	40.13	40.13	40.59	39.67	40.13	40.13	40.13	40.13	40.13	39.67	0.29	40.59
19:09	40.13	-69.16	40.13	39.67	40.13	39.67	40.13	40.13	40.13	40.13	40.13	39.67	0.29	40.13
19:10	40.13	-69.16	40.13	39.67	40.13	39.67	39.67	40.13	39.67	39.67	40.13	39.67	0.29	40.13
19:11	40.13	-69.16	39.67	39.67	40.13	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	0.29	40.13
19:12	39.67	-69.16	39.67	39.67	39.67	39.22	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	39.22	0.29	40.13
19:13	39.67	-69.16	39.67	39.22	39.67	39.22	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	39.22	0.29	39.67
19:14	39.67	-69.16	39.22	39.22	39.67	39.22	39.22	39.67	39.22	39.22	39.67	39.22	0.29	39.67
19:15	39.67	-69.16	39.22	38.77	39.67	38.77	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22	38.77	0.29	39.67
19:16	39.22	-69.16	39.22	38.77	39.67	38.77	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22	38.77	0.29	39.67
19:17	39.22	-69.16	38.77	38.77	39.22	38.77	38.77	39.22	38.77	38.77	39.22	38.77	0.29	39.22
19:18	39.22	-69.16	39.22	38.77	39.22	38.77	38.77	38.77	39.22	38.77	39.22	38.77	0.29	39.22
19:19	39.22	-69.16	38.77	38.77	39.22	38.32	38.77	38.77	38.77	38.77	38.77	38.32	0.29	39.22
19:20	38.77	-69.16	38.77	38.32	38.77	38.32	38.77	38.77	38.77	38.77	38.77	38.32	0.29	38.77
19:21	38.77	-69.16	38.77	38.32	38.77	38.32	38.32	38.77	38.77	38.32	38.77	38.32	0.29	38.77
19:22	38.77	-69.16	38.32	38.32	38.77	38.32	38.32	38.32	38.32	38.32	38.77	38.32	0.29	38.77
19:23	38.32	-69.16	38.32	38.32	38.77	37.88	38.32	38.32	38.32	38.32	38.32	37.88	0.29	38.77
19:24	38.32	-69.16	38.32	37.88	38.32	37.88	38.32	38.32	38.32	38.32	38.32	37.88	0.29	38.32
19:25	38.32	-69.16	38.32	37.88	38.32	37.88	37.88	38.32	37.88	37.88	38.32	37.88	0.29	38.32
19:26	38.32	-69.16	38.32	37.88	38.32	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	38.32	37.88	0.29	38.32
19:27	37.88	-69.16	37.88	37.88	38.32	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	0.29	38.32
19:28	37.88	-69.16	37.88	37.88	38.32	37.44	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	0.29	38.32
19:29	37.88	-62.25	37.88	37.88	37.88	37.44	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.44	0.29	37.88

เวลา	หัวเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple) (ต่อ)													
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
19:30	37.88	-69.16	37.88	37.44	37.88	37.44	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.44	0.29	37.88
19:31	37.88	-69.16	37.88	37.44	37.88	37.44	37.44	37.44	37.88	37.44	37.88	37.44	0.29	37.88
19:32	37.88	-69.16	37.44	37.44	37.88	37.44	37.44	37.44	37.44	37.44	37.44	37.44	0.29	37.88
19:33	37.44	-36.46	37.44	37.44	37.88	37.00	37.44	37.44	37.44	37.44	37.44	37.00	0.29	37.88
19:34	37.44	-69.16	37.44	37.00	37.44	37.00	37.44	37.44	37.44	37.44	37.44	37.00	0.29	37.44
19:35	37.44	-69.16	37.44	37.00	37.44	37.00	37.44	37.44	37.44	37.00	37.44	37.00	0.29	37.44
19:36	37.44	-69.16	37.44	37.00	37.44	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.44	37.00	0.29	37.44
19:37	37.44	-69.16	37.00	37.00	37.44	36.57	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	36.57	0.29	37.44
19:38	37.00	-69.16	37.00	36.57	37.44	36.57	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	36.57	0.29	37.44
19:39	37.00	-69.16	37.00	36.57	37.00	36.57	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	36.57	0.29	37.00
19:40	37.00	-69.16	37.00	36.57	37.00	36.57	37.00	37.00	37.00	36.57	37.00	36.57	0.29	37.00
19:41	37.00	-69.16	37.00	36.57	37.00	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	37.00	36.57	0.29	37.00
19:42	37.00	-69.16	36.57	36.13	37.00	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	37.00	36.57	0.29	37.00
19:43	36.57	-69.16	36.57	36.13	37.00	36.13	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	36.13	0.29	37.00
19:44	36.57	-69.16	36.57	36.13	36.57	36.13	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	36.13	0.29	36.57
19:45	36.57	-69.16	36.57	36.13	36.57	36.13	36.57	36.57	36.57	36.13	36.57	36.13	0.29	36.57
19:46	36.57	-69.16	36.13	36.13	36.57	36.13	36.13	36.57	36.13	36.13	36.57	36.13	0.29	36.57
19:47	36.57	-69.16	36.13	36.13	36.57	36.13	36.13	36.13	36.13	36.13	36.57	36.13	0.29	36.57
19:48	36.13	-69.16	36.13	36.13	36.57	35.70	36.13	36.13	36.13	36.13	36.13	35.70	0.29	36.57
19:49	36.13	-69.16	36.13	35.70	36.13	35.70	36.13	36.13	35.70	36.13	36.13	35.70	0.29	36.57
19:50	36.13	-69.16	36.13	35.70	36.13	35.27	35.70	35.70	36.13	35.70	36.13	35.70	0.29	36.13
19:51	36.13	-69.16	35.70	35.70	36.13	35.27	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.27	0.29	36.13
19:52	35.70	-69.16	35.70	35.27	35.70	35.27	35.27	35.70	35.70	35.70	35.70	35.27	0.29	36.13
19:53	35.70	-69.16	35.27	35.27	35.70	35.27	35.70	35.27	35.27	35.70	35.70	35.27	0.29	35.70
19:54	35.27	-69.16	35.27	35.27	35.70	34.85	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	34.85	0.29	35.70
19:55	35.27	-69.16	35.27	35.27	35.27	34.85	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	34.85	0.29	35.70
19:56	35.27	-69.16	35.27	34.85	35.27	34.85	34.85	35.27	35.27	35.27	35.27	34.85	0.29	35.27
19:57	35.27	-69.16	35.27	34.85	35.27	34.85	34.85	34.85	34.85	34.85	35.27	34.85	0.29	35.27
19:58	34.85	-69.16	34.85	34.85	35.27	34.43	34.85	34.85	34.85	34.85	34.85	34.43	0.29	35.27
19:59	34.85	-69.16	34.85	34.43	34.85	34.43	34.85	34.85	34.85	34.85	34.85	34.43	0.29	35.27
20:00	34.85	-69.16	34.85	34.43	34.85	34.43	34.43	34.85	34.85	34.43	34.85	34.43	0.29	34.85
20:01	34.43	-69.16	34.43	34.43	34.85	34.01	34.43	34.43	34.43	34.43	34.85	34.01	0.29	34.85
20:02	34.43	-69.16	34.43	34.01	34.85	34.01	34.43	34.43	34.43	34.43	34.43	34.01	0.29	34.85
20:03	34.43	-69.16	34.43	34.01	34.85	34.01	34.01	34.43	34.43	34.43	34.43	34.01	0.29	34.43
20:04	34.43	-69.16	34.43	34.01	34.43	33.59	34.01	34.01	34.43	34.01	34.43	33.59	0.29	34.43
20:05	34.01	-69.16	34.01	34.01	34.43	33.59	34.01	34.01	34.01	34.01	34.01	33.59	0.29	34.43
20:06	34.01	-69.16	34.01	33.59	34.43	33.59	34.01	34.01	34.01	34.01	34.01	33.59	0.29	34.01
20:07	34.01	-69.16	34.01	33.59	34.01	33.59	33.59	34.01	34.01	34.01	34.01	33.59	0.29	34.01
20:08	34.01	-69.16	33.59	33.59	34.01	33.17	33.59	33.59	33.59	33.59	34.01	33.59	0.29	34.01
20:09	33.59	-69.16	33.59	33.17	34.01	33.17	33.59	33.59	33.59	33.59	33.59	33.17	0.29	34.01
20:10	33.59	-69.16	33.59	33.17	34.01	33.17	33.59	33.17	33.59	33.59	33.59	33.17	0.29	34.01
20:11	33.59	-69.16	33.59	33.17	33.59	33.17	33.59	33.17	33.59	33.17	33.59	33.17	0.29	33.59
20:12	33.59	-69.16	33.17	32.76	33.59	33.17	33.17	33.17	33.17	33.17	33.59	33.17	0.29	33.59
20:13	33.17	-69.16	33.17	32.76	33.59	32.76	33.17	33.17	33.17	33.17	33.17	32.76	0.29	33.17
20:14	33.17	-69.16	33.17	32.76	33.17	32.76	33.17	32.76	33.17	33.17	33.17	32.76	0.29	33.17
20:15	33.17	-69.16	33.17	32.76	33.17	32.34	32.76	32.76	32.76	32.76	32.76	32.34	0.29	33.17
20:16	32.76	-69.16	32.76	32.34	33.17	32.34	32.76	32.76	32.76	32.76	32.76	32.34	0.29	33.17
20:17	32.76	-69.16	32.76	32.34	33.17	31.93	32.76	32.76	32.76	32.76	32.76	32.34	-0.16	33.17
20:18	32.76	-69.16	32.76	32.34	32.76	32.34	32.34	32.76	32.76	32.76	32.76	32.34	-0.16	32.76

1.2 ทดสอบโดยเก็บข้อมูลภายใต้สภาวะเดียวกัน

นำหัวเทอร์มอคอปเปิลติดตั้งรวมไว้ที่จุดเดียวกันภายในห้องปิด เพื่อควบคุมสภาวะที่อาจมีผลกระทบ ทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยมีค่าอุณหภูมิที่แต่ละหัววัดอ่านได้ ดังนี้

เวลา	หัวเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple) (ต่อ)											
	T1	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T14
22:00	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.70
22:15	28.31	28.31	27.91	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	27.91	28.31
22:30	28.31	27.91	27.91	28.31	28.31	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31
22:45	28.31	27.91	27.91	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	27.91	27.91	27.91	28.31
23:00	28.31	27.91	27.91	28.31	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	28.31
23:15	27.91	27.91	27.52	28.31	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	28.31
23:30	27.91	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91
23:45	27.91	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91
0:00	27.91	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91
0:15	27.91	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91
0:30	27.91	27.52	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91
0:45	27.91	27.52	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.91
1:00	27.91	27.52	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.91
1:15	27.52	27.52	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.91
1:30	27.52	27.52	27.12	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52
1:45	27.52	27.52	27.12	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52
2:00	27.52	27.52	27.12	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52
2:15	27.52	27.12	27.12	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52
2:30	27.52	27.12	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52
2:45	27.52	27.12	27.12	27.52	27.12	27.12	27.12	27.52	27.12	27.12	27.12	27.52
3:00	27.52	27.12	27.12	27.52	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.52
3:15	27.12	27.12	26.73	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.52
3:30	27.12	27.12	26.73	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	26.73	27.52
3:45	27.12	26.73	26.73	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12
4:00	27.12	26.73	26.73	27.12	27.12	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12
4:15	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12
4:30	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	27.12
4:45	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
5:00	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
5:15	26.73	26.73	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
5:30	26.73	26.73	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.34	26.73
5:45	26.73	26.34	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73
6:00	26.73	26.34	26.34	26.73	26.73	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73
6:15	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73
6:30	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.73
6:45	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
7:00	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
7:15	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
7:30	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
7:45	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
8:00	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
8:15	26.73	26.34	26.34	26.73	26.73	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73

เวลา	หัวเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple) (ต่อ)											
	T1	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T14
8:30	26.73	26.73	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
8:45	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
9:00	27.12	27.12	26.73	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	26.73	27.12
9:15	27.52	27.12	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52
9:30	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.91
9:45	27.91	27.52	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91
10:00	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91
10:15	28.31	28.31	27.91	28.31	28.31	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31
10:30	28.70	28.31	28.31	28.70	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.70
10:45	29.10	28.70	28.70	29.10	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.31	28.70
เฉลี่ย	27.43	27.19	27.09	27.46	27.26	27.32	27.20	27.34	27.17	27.31	27.11	27.50

2. **การตรวจสอบค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ**

ทำการทดสอบโดยการเปิดเครื่องปรับอากาศภายในห้องทดลอง และทำการตรวจวัดอัตราการใช้พลังงานปรับอากาศจากค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ไฟฟ้า เป็นเวลา 27 ชั่วโมง ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ ทุกๆ 1 ชั่วโมง

เวลา	ห้องทดลองพลังงาน 1		ห้องทดลองพลังงาน 2	
	พลังงานที่ใช้ไป (kWh)	พลังงานที่ใช้ไปในแต่ละช่วงเวลา (kWh)	พลังงานที่ใช้ไป (kWh)	พลังงานที่ใช้ไปในแต่ละช่วงเวลา (kWh)
13:00	0.000	0.000	0.000	0.000
14:00	0.213	0.213	0.213	0.213
15:00	0.495	0.282	0.495	0.282
16:00	0.640	0.145	0.657	0.162
17:00	0.785	0.145	0.825	0.168
18:00	0.910	0.125	0.950	0.125
19:00	1.015	0.105	1.085	0.135
20:00	1.080	0.065	1.135	0.050
21:00	1.135	0.055	1.175	0.040
22:00	1.167	0.032	1.215	0.040
23:00	1.200	0.033	1.268	0.053
0:00	1.238	0.038	1.305	0.037
1:00	1.280	0.042	1.339	0.034
2:00	1.325	0.045	1.370	0.031
3:00	1.373	0.048	1.405	0.035
4:00	1.410	0.037	1.438	0.033
5:00	1.455	0.045	1.470	0.032
6:00	1.495	0.040	1.515	0.045
7:00	1.510	0.015	1.550	0.035
8:00	1.534	0.024	1.578	0.028
9:00	1.545	0.011	1.605	0.027
10:00	1.640	0.095	1.665	0.060
11:00	1.755	0.115	1.790	0.125
12:00	1.903	0.148	1.925	0.135
13:00	2.108	0.205	2.155	0.230
14:00	2.400	0.292	2.423	0.268
15:00	2.700	0.300	2.720	0.297
16:00	3.005	0.305	3.038	0.318

3. **การตรวจสอบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองด้านพลังงาน** (Mockup for Energy Testing)

โดยทำการวัดอุณหภูมิโดยติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ data logger และ หัววัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple) ที่ห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง ในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2555

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง 1 (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง 2 (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก (˚C)
10:30	29.50	29.10	30.31
10:45	28.31	28.31	31.52
11:00	28.70	28.70	33.59
11:15	28.70	29.10	33.17
11:30	28.70	29.10	33.17
11:45	29.10	29.10	34.01
12:00	29.50	29.50	34.43
12:15	29.90	29.90	35.27
12:30	30.31	30.31	34.43
12:45	30.71	30.71	35.70
13:00	30.71	30.71	34.85
13:15	30.71	30.71	35.27
13:30	30.71	30.71	34.43
13:45	31.12	31.12	35.70
14:00	31.12	31.12	34.43
14:15	31.12	31.12	34.43
14:30	31.12	31.12	34.01
14:45	31.52	31.52	35.70
15:00	31.93	31.93	35.70
15:15	31.93	31.93	35.70
15:30	31.93	31.93	34.85
15:45	31.93	31.93	33.59
16:00	31.93	31.93	34.01
16:15	31.93	31.93	33.17
16:30	31.93	31.93	33.17
ค่าเฉลี่ย	**30.60**	**30.62**	**34.81**

ภาคผนวก ข

1. ค่าอุณหภูมิที่หัววัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปิลวัดได้ในแต่ละจุด

1.1) ผลการทดลองสภาวะที่ 1: ไม่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

ทำการทดลองในวันที่ 10 – 13 กุมภาพันธ์ 2555

กำหนดให้ M1 คือ ห้องทดลองฉนวนภายนอก และ M2 คือ ห้องทดลองฉนวนภายใน

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
8:30	28.31	25.56	26.73	26.73	27.12	27.12	27.12	27.52	29.10
9:00	29.10	26.34	26.73	27.52	27.52	27.91	27.91	28.31	31.52
9:30	31.93	27.52	27.12	27.91	27.91	28.31	27.91	28.70	30.31
10:00	36.57	28.31	27.12	28.31	28.31	29.10	28.31	29.50	31.12
10:30	37.76	29.71	27.12	29.10	28.31	29.50	28.70	29.90	31.52
11:00	39.12	29.90	27.52	29.50	28.70	29.90	29.10	30.31	31.12
11:30	39.67	30.31	27.52	30.31	29.50	31.12	29.90	31.52	32.76
12:00	37.01	31.51	27.91	31.12	29.50	31.52	29.90	31.93	33.17
12:30	38.32	31.56	27.91	31.12	29.90	31.52	30.31	31.93	32.76
13:00	40.95	32.76	28.31	31.12	29.90	31.52	30.31	31.93	32.76
13:30	37.88	33.17	28.31	31.52	29.90	31.93	30.31	31.93	34.01
14:00	38.72	32.76	28.70	32.34	30.71	32.34	31.12	32.76	32.76
14:30	39.22	34.52	28.70	31.52	30.31	31.93	30.31	31.93	33.17
15:00	36.57	34.01	28.70	31.93	30.31	31.93	30.71	31.93	33.17
15:30	34.01	33.17	28.70	31.93	30.31	31.93	30.71	32.34	32.76
16:00	33.51	33.66	29.10	31.93	30.31	31.93	30.71	32.34	33.17
16:30	34.55	33.59	29.10	31.93	30.31	31.93	30.31	31.93	32.76
17:00	31.12	33.51	29.10	31.52	29.90	31.52	30.31	31.52	31.93
17:30	30.31	33.17	29.10	31.12	29.90	30.71	29.90	31.12	31.93
18:00	29.10	32.76	29.10	30.71	29.50	30.31	29.50	30.31	31.12
18:30	29.10	32.34	29.10	30.31	29.10	29.90	29.10	29.90	30.31
19:00	29.1	31.52	28.70	29.90	28.70	29.50	28.70	29.50	29.90
19:30	27.91	31.12	28.70	29.50	28.70	29.10	28.70	29.10	29.10
20:00	27.52	30.71	28.70	29.10	28.31	28.70	28.31	28.70	28.70
20:30	26.73	30.31	28.70	28.70	28.31	28.31	28.31	28.31	28.70
21:00	26.34	29.9	28.31	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	28.31
21:30	25.56	29.5	28.31	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	27.91
22:00	25.56	29.1	28.31	28.31	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91
22:30	25.56	28.7	28.31	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52
23:00	25.17	28.31	28.31	27.91	27.52	27.91	27.52	27.52	27.12
23:30	24.79	27.91	27.91	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52
0:00	24.79	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.12
0:30	24.4	27.52	27.91	27.12	27.12	27.52	27.12	27.12	26.34
1:00	24.4	27.12	27.91	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	26.34
1:30	24.01	26.73	27.91	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	25.56
2:00	24.4	26.73	27.52	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	25.56
2:30	24.4	26.34	27.52	26.34	26.73	26.73	26.73	26.34	25.17
3:00	24.4	25.95	27.52	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	25.56

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
3:30	24.01	25.95	27.52	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	25.56
4:00	23.63	25.56	27.12	25.95	26.34	26.34	26.34	26.34	24.79
4:30	23.63	25.56	27.12	25.95	26.34	25.95	26.34	25.95	24.79
5:00	24.01	25.17	27.12	25.95	26.34	25.95	26.34	25.95	24.79
5:30	24.01	25.17	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	25.95	24.79
6:00	24.01	25.17	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	25.95	25.17
6:30	23.63	25.17	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	25.95	25.17
7:00	24.01	25.17	26.73	25.56	26.34	25.95	25.95	25.56	24.79
7:30	24.79	25.56	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	25.95	24.79
8:00	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34
8:30	32.34	25.56	26.73	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	27.91
9:00	35.70	26.34	26.73	26.73	27.12	27.52	27.12	27.52	29.50
9:30	37.44	27.52	26.73	27.52	27.52	28.31	27.91	28.31	30.31
10:00	38.77	29.10	26.73	28.31	27.91	29.10	28.31	29.10	30.71
10:30	40.59	30.31	27.12	28.70	28.31	29.50	28.70	29.90	31.12
11:00	41.05	31.12	27.12	29.50	28.70	30.31	29.10	30.31	32.34
11:30	38.32	31.12	27.52	29.90	29.10	30.71	29.50	30.71	32.76
12:00	41.99	32.76	27.52	30.71	29.50	31.12	29.50	31.52	31.93
12:30	41.05	33.17	27.91	30.71	29.50	31.12	29.90	31.52	33.17
13:00	38.77	33.17	27.91	31.12	29.50	31.52	29.90	31.52	34.43
13:30	38.77	34.01	27.91	31.52	29.90	31.93	29.90	31.93	33.17
14:00	37.88	34.01	28.31	31.93	30.31	32.34	30.31	32.34	33.59
14:30	39.67	34.85	28.70	32.34	30.31	32.76	30.71	32.76	32.76
15:00	34.01	34.01	28.70	31.93	29.90	31.93	30.31	31.93	34.01
15:30	36.13	34.43	28.70	31.93	30.31	31.93	30.31	32.34	32.34
16:00	34.85	34.43	28.70	31.12	29.90	31.12	29.90	31.52	33.17
16:30	35.27	34.43	28.70	30.71	29.50	30.71	29.50	30.71	31.93
17:00	33.59	34.01	28.70	30.71	29.10	30.31	29.50	30.31	31.12
17:30	31.93	33.17	28.70	30.71	29.10	30.31	29.10	30.31	30.71
18:00	29.10	32.76	28.70	30.31	28.70	29.90	28.70	29.90	30.71
18:30	27.91	31.93	28.70	29.90	28.70	29.90	28.70	29.50	29.90
19:00	27.12	31.52	28.70	29.50	28.70	29.50	28.31	29.10	29.10
19:30	26.73	31.12	28.70	29.50	28.31	29.10	28.31	29.10	28.70
20:00	26.34	30.71	28.31	29.10	28.31	28.70	27.91	28.70	28.70
20:30	25.56	30.31	28.31	28.70	27.91	28.31	27.91	28.31	28.31
21:00	25.56	29.90	28.31	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	27.12
21:30	25.17	29.50	28.31	28.31	27.91	27.91	27.52	27.91	27.12
22:00	25.17	29.10	28.31	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	26.73
22:30	24.79	28.70	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.52	26.73
23:00	24.79	28.31	27.91	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52	27.12
23:30	24.79	27.91	27.91	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	26.34
0:00	24.40	27.52	27.91	27.12	27.12	27.52	27.12	27.12	26.34
0:30	24.40	27.52	27.52	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	26.34
1:00	24.40	27.12	27.52	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	25.95
1:30	24.01	26.73	27.52	26.73	27.12	27.12	26.73	26.73	25.56
2:00	24.01	26.73	27.52	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	25.17
2:30	23.63	26.34	27.52	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	25.17

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
3:00	24.01	26.34	27.12	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	25.56
3:30	23.63	25.95	27.12	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	25.17
4:00	23.24	25.56	27.12	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	25.17
4:30	23.24	25.56	27.12	25.95	26.34	26.34	26.34	25.95	25.17
5:00	23.24	25.17	26.73	25.95	26.34	25.95	26.34	25.95	24.40
5:30	23.24	25.17	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	25.95	24.40
6:00	23.63	25.17	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	25.95	24.40
6:30	23.63	24.79	26.73	25.56	26.34	25.95	25.95	25.95	25.56
7:00	24.01	24.79	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	25.95	25.17
7:30	24.79	25.17	26.34	25.56	25.95	26.34	26.34	25.95	25.17
8:00	26.73	25.17	26.34	25.95	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34
8:30	28.31	25.56	26.34	26.34	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73
9:00	29.10	26.34	26.34	26.34	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73
9:30	31.52	27.12	26.73	26.73	27.12	27.52	27.12	27.52	26.73
10:00	36.57	28.31	26.73	27.52	27.52	28.31	27.91	28.31	28.70
10:30	32.76	27.91	26.73	27.91	27.52	28.31	27.91	28.31	29.90
11:00	39.22	29.90	26.73	28.70	28.31	29.50	28.31	29.90	29.50
11:30	39.67	30.31	27.12	29.10	28.31	29.90	28.70	30.31	31.12
12:00	34.01	30.31	27.12	29.10	28.31	29.90	28.31	29.90	31.12
12:30	38.32	31.52	27.52	29.90	29.10	30.31	29.10	30.71	31.12
13:00	40.59	32.76	27.52	30.31	29.50	31.12	29.50	31.12	31.52
13:30	37.88	33.17	27.91	30.71	29.50	31.12	29.50	31.12	32.34
14:00	35.27	32.76	27.91	30.71	29.50	31.12	29.50	31.12	31.93
14:30	39.22	34.43	27.91	31.12	29.50	31.52	29.90	31.52	31.52
15:00	36.57	34.01	28.31	31.52	29.90	31.52	29.90	31.52	32.76
15:30	34.01	33.17	28.31	31.12	29.50	31.12	29.50	31.12	31.93
16:00	31.52	32.76	28.31	30.71	29.10	30.71	29.10	30.71	31.52
16:30	34.85	33.59	28.31	31.12	29.50	31.12	29.50	31.12	31.12
17:00	31.12	32.76	28.31	30.71	29.10	30.71	29.10	30.71	31.52
17:30	30.31	32.34	28.31	30.31	28.70	30.31	28.70	30.31	31.12
18:00	29.10	31.93	28.31	30.31	28.70	30.31	28.70	30.31	30.71
18:30	28.31	31.52	28.31	29.90	28.70	29.90	28.70	29.50	30.31
19:00	27.12	31.12	28.31	29.50	28.31	29.50	28.31	29.10	29.50
19:30	26.34	30.71	28.31	29.10	28.31	29.10	28.31	29.10	28.70
20:00	25.95	30.31	28.31	28.70	27.91	28.70	27.91	28.70	27.91
20:30	25.56	29.90	28.31	28.70	27.91	28.31	27.91	28.31	27.52
21:00	25.56	29.50	28.31	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	27.12
21:30	25.56	29.10	27.91	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	27.12
22:00	25.17	28.70	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52
22:30	25.56	28.31	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52
23:00	25.56	28.31	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52
23:30	25.56	27.91	27.91	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.12
0:00	25.56	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52	27.12
0:30	25.17	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12
1:00	25.17	27.12	27.52	27.12	27.12	27.52	27.12	27.12	26.73
1:30	24.40	27.12	27.52	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	26.34

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
2:00	24.01	26.73	27.52	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	25.95
2:30	24.40	26.34	27.52	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	25.56
3:00	24.01	26.34	27.12	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	25.56
3:30	24.01	25.95	27.12	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	25.95
4:00	23.63	25.95	27.12	26.34	26.73	26.73	26.73	26.34	25.17
4:30	23.63	25.56	27.12	25.95	26.34	26.34	26.34	26.34	25.17
5:00	23.24	25.56	27.12	25.95	26.34	26.34	26.34	25.95	25.17
5:30	23.24	25.17	26.73	25.95	26.34	25.95	26.34	25.95	24.40
6:00	23.24	25.17	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	25.95	24.40
6:30	23.63	24.79	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	25.95	24.79
7:00	24.01	24.79	26.73	25.56	25.95	25.95	25.95	25.56	25.17
7:30	24.79	25.17	26.73	25.56	26.34	25.95	26.34	25.95	25.17
8:00	26.34	25.17	26.34	25.95	26.34	26.34	26.34	26.34	25.95
8:30	31.12	25.56	26.34	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	27.52
สูงสุด	41.99	34.85	29.10	32.34	30.71	32.76	31.12	32.76	34.43
ต่ำสุด	23.24	24.79	26.34	25.56	25.95	25.95	25.95	25.56	24.40
เฉลี่ย	29.38	29.13	27.70	28.37	27.93	28.55	27.99	28.56	28.58

1.2) ผลการทดลองสภาวะที่ 2: การใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางวัน (08.00 – 17.00 น.)

ทำการทดลองในวันที่ 14 – 16 กุมภาพันธ์ 2555

กำหนดให้ M1 คือ ห้องทดลองฉนวนภายนอก และ M2 คือ ห้องทดลองฉนวนภายใน

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
9:30	36.13	27.12	26.34	25.56	25.56	25.95	25.56	25.95	29.50
10:00	36.13	28.31	25.95	24.79	25.56	25.17	25.56	25.17	30.31
10:30	39.22	29.5	25.95	24.79	25.56	25.17	25.56	25.17	31.52
11:00	35.7	29.5	25.95	24.79	25.56	25.56	25.56	25.17	30.31
11:30	37.44	30.31	25.95	25.17	25.56	25.17	25.56	25.56	31.93
12:00	40.59	31.52	25.56	24.79	25.56	25.56	25.56	25.17	32.76
12:30	43.91	33.17	25.95	25.17	25.95	25.56	25.56	25.17	33.59
13:00	42.46	34.01	25.56	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	33.59
13:30	43.42	35.27	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	34.85
14:00	42.46	35.7	25.56	25.17	25.56	25.56	25.56	25.17	34.01
14:30	39.22	35.7	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	33.59
15:00	42.46	36.57	25.95	25.56	25.95	25.56	25.56	25.17	34.43
15:30	37.88	36.13	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	33.59
16:00	41.52	37.00	25.56	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	34.01
16:30	38.32	36.57	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.17	33.59

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
17:00	36.57	36.13	25.56	25.95	25.56	25.56	25.17	25.56	32.76
17:30	32.76	34.85	25.56	25.95	25.17	25.17	25.17	25.17	32.34
18:00	30.31	34.43	25.95	28.7	26.73	27.91	26.73	27.91	31.93
18:30	29.1	33.59	26.34	29.5	26.73	28.70	26.73	28.70	31.12
19:00	27.91	33.17	26.34	29.9	27.12	29.10	27.12	29.10	30.31
19:30	27.91	32.76	26.34	29.5	27.12	29.10	27.12	29.10	29.90
20:00	27.52	32.34	26.34	29.5	27.12	29.10	27.12	29.10	29.50
20:30	27.12	31.93	26.34	29.5	27.12	28.70	27.12	28.70	28.70
21:00	26.73	31.12	26.34	29.1	27.12	28.70	27.12	28.70	28.70
21:30	26.34	31.12	26.34	28.7	27.12	28.31	27.12	28.31	28.70
22:00	27.12	30.71	26.73	28.7	27.12	28.31	27.12	28.31	29.10
22:30	27.52	30.31	26.73	28.7	27.52	28.31	27.52	28.31	28.70
23:00	27.12	29.9	26.73	28.31	27.52	28.31	27.52	28.31	28.31
23:30	26.73	29.5	26.73	28.31	27.12	27.91	27.52	27.91	27.91
0:00	25.95	29.1	26.73	27.91	27.12	27.91	27.12	27.91	27.91
0:30	26.34	28.7	26.73	27.91	27.12	27.91	27.12	27.91	27.91
1:00	26.34	28.31	26.73	27.91	27.12	27.91	27.12	27.52	27.91
1:30	25.95	28.31	26.73	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.52
2:00	25.56	27.91	26.73	27.52	26.73	27.52	26.73	27.52	27.12
2:30	25.17	27.91	26.73	27.52	26.73	27.52	26.73	27.52	27.12
3:00	24.79	27.52	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.34
3:30	24.79	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.34
4:00	24.4	27.12	26.73	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	25.95
4:30	24.01	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	25.56
5:00	24.01	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	25.56
5:30	24.01	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	25.56
6:00	25.17	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34
6:30	25.17	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	25.95
7:00	24.79	25.95	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	25.95
7:30	25.56	25.95	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34
8:00	27.12	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73	26.73	26.73	27.52
8:30	30.71	26.73	25.95	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	29.10
9:00	34.43	27.52	25.95	25.56	25.56	25.95	25.56	25.95	30.31
9:30	32.76	27.91	25.56	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	29.50
10:00	39.22	29.5	25.56	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	30.71
10:30	39.67	30.31	25.56	24.79	25.56	25.17	25.56	25.17	31.93
11:00	40.13	31.12	25.56	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	31.93
11:30	37.44	31.12	25.56	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	32.76
12:00	41.52	32.34	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	34.01
12:30	37.44	32.76	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	32.76
13:00	38.32	33.17	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	33.17
13:30	42.94	34.85	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.56	34.01
14:00	41.99	35.27	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	34.43
14:30	39.67	34.85	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.17	34.01
15:00	41.05	35.7	25.56	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	34.01
15:30	41.99	36.57	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.17	34.43
16:00	41.52	36.57	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	34.43

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
16:30	39.22	36.57	25.56	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	34.43
17:00	34.85	35.7	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.17	33.17
17:30	32.76	34.85	25.95	29.5	26.73	28.31	26.73	28.70	32.76
18:00	30.71	34.01	26.34	30.71	27.91	30.31	27.91	30.31	31.93
18:30	29.5	33.59	26.73	30.31	27.91	29.90	27.91	29.90	31.12
19:00	28.7	32.76	26.73	30.31	27.91	29.90	27.91	29.90	31.12
19:30	28.31	32.34	26.73	29.9	27.52	29.50	27.52	29.50	30.31
20:00	27.91	31.93	26.73	29.5	27.52	29.50	27.91	29.10	29.90
20:30	27.91	31.52	26.73	29.5	27.91	29.10	27.91	29.10	29.50
21:00	27.52	31.12	26.73	29.1	27.52	28.70	27.91	28.70	29.10
21:30	27.12	30.71	26.73	28.7	27.52	28.70	27.52	28.31	28.70
22:00	27.12	30.31	27.12	28.7	27.52	28.31	27.52	28.31	28.31
22:30	27.12	29.9	27.12	28.31	27.52	28.31	27.52	28.31	28.31
23:00	26.73	29.5	27.12	28.31	27.52	28.31	27.52	27.91	28.31
23:30	26.34	29.1	27.12	28.31	27.52	27.91	27.52	27.91	28.31
0:00	26.73	28.7	27.12	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91
0:30	26.34	28.7	27.12	27.91	27.52	27.91	27.12	27.91	27.91
1:00	26.34	28.31	27.12	27.91	27.12	27.91	27.12	27.91	27.52
1:30	25.95	28.31	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.52
2:00	25.56	27.91	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12
2:30	25.56	27.91	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12
3:00	25.56	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12
3:30	25.56	27.52	27.12	27.12	27.12	27.52	27.12	27.12	27.12
4:00	25.56	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	27.12
4:30	25.17	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.34
5:00	24.79	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12	26.73	27.12	26.34
5:30	24.79	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.34
6:00	24.4	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.34
6:30	24.4	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.34
7:00	24.4	25.95	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	25.95
7:30	25.56	26.34	26.73	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
8:00	27.52	26.34	26.73	26.73	26.73	27.12	26.73	27.12	28.31
8:30	30.71	27.12	25.95	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	29.50
9:00	34.85	27.52	25.95	25.56	25.56	25.95	25.56	25.95	30.71
9:30	36.13	28.31	25.95	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	30.71
10:00	39.22	29.9	25.95	25.17	25.56	25.56	25.56	25.17	31.93
10:30	40.13	30.71	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	33.17
11:00	41.99	31.93	25.56	24.79	25.56	25.17	25.56	25.17	33.59
11:30	37.88	31.93	25.56	24.79	25.56	25.17	25.56	25.17	33.17
12:00	36.57	32.34	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	32.76
12:30	43.91	34.43	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	34.43
13:00	35.7	33.17	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	33.17
13:30	43.42	34.85	25.56	25.17	25.56	25.17	25.95	25.56	34.85
14:00	39.67	34.85	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	34.85
14:30	37.44	34.85	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.17	33.59
15:00	36.57	34.43	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	34.01
15:30	37.88	34.85	25.56	25.56	25.56	25.17	25.56	25.56	34.43

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
16:00	40.59	35.7	25.56	25.56	25.56	25.17	25.56	25.56	34.43
16:30	38.77	35.7	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	34.01
17:00	35.7	35.27	25.56	25.17	25.56	25.17	25.17	24.79	33.17
17:30	32.76	34.43	25.95	29.1	26.73	28.31	26.73	28.31	32.76
18:00	31.12	33.59	26.34	30.71	27.91	30.31	28.31	30.31	31.93
18:30	29.5	33.17	26.73	30.31	27.91	29.90	27.91	29.90	31.12
19:00	28.7	32.76	26.73	30.31	27.52	29.90	27.52	29.90	30.71
19:30	28.31	32.34	26.73	29.9	27.52	29.50	27.52	29.50	30.31
20:00	27.52	31.93	26.73	29.5	27.52	29.50	27.52	29.10	29.90
20:30	27.52	31.52	26.73	29.5	27.52	29.10	27.52	29.10	29.50
21:00	27.52	31.12	26.73	29.1	27.52	28.70	27.52	28.70	29.10
21:30	27.12	30.71	26.73	28.7	27.52	28.70	27.52	28.70	28.70
22:00	27.12	30.31	26.73	28.7	27.52	28.31	27.52	28.31	28.70
22:30	27.12	29.9	27.12	28.31	27.52	28.31	27.52	28.31	28.31
23:00	26.73	29.5	27.12	28.31	27.52	28.31	27.52	28.31	28.31
23:30	26.34	29.1	26.73	28.31	27.52	28.31	27.52	27.91	28.31
0:00	26.73	29.1	27.12	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91
0:30	26.73	28.7	27.12	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.91
1:00	25.95	28.31	27.12	27.91	27.12	27.91	27.12	27.91	27.52
1:30	26.34	28.31	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.52
2:00	25.56	27.91	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12
2:30	25.56	27.52	26.73	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12
3:00	25.17	27.52	26.73	27.12	27.12	27.52	26.73	27.12	27.12
3:30	25.56	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73
4:00	25.17	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73
4:30	24.79	26.73	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73
5:00	24.4	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12	26.73	27.12	26.34
5:30	24.4	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.34
6:00	24.4	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.34	26.73	25.95
6:30	24.4	25.95	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	25.95
7:00	24.79	25.95	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	25.95
7:30	25.56	25.95	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34
8:00	27.12	26.34	26.73	26.34	26.73	27.12	26.73	27.12	27.52
8:30	29.9	26.73	25.95	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	29.10
9:00	33.59	27.52	25.95	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	29.50
9:30	36.13	27.91	25.56	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	30.31
สูงสุด	43.91	37	27.12	30.71	27.91	30.31	28.31	30.31	34.85
ต่ำสุด	24.01	25.95	25.56	24.79	25.17	25.17	25.17	24.79	25.56
เฉลี่ย	31.11	30.46	26.31	26.94	26.47	26.94	26.48	26.89	29.85

1.3) ผลการทดลองสภาวะที่ 3: การใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางคืน (20.00 – 06.00 น.)

ทำการทดลองในวันที่ 16 – 18 กุมภาพันธ์ 2555

กำหนดให้ M1 คือ ห้องทดลองฉนวนภายนอก และ M2 คือ ห้องทดลองฉนวนภายใน

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
12:00	42.46	33.59	27.91	32.34	31.12	34.77	31.93	34.01	34.01
12:30	43.91	34.85	27.91	31.93	30.31	32.76	30.71	32.76	34.85
13:00	45.39	35.70	28.31	32.76	30.31	33.17	30.71	33.59	35.70
13:30	42.94	35.70	28.31	32.76	30.31	32.76	30.71	33.17	34.01
14:00	38.77	35.27	28.70	32.76	30.31	33.17	30.31	33.17	34.85
14:30	37.00	35.27	28.70	32.76	30.31	32.76	30.71	33.17	34.43
15:00	36.57	35.27	28.70	32.76	30.31	32.76	30.31	33.17	34.43
15:30	37.00	35.27	29.10	33.17	30.71	33.17	30.71	33.17	34.01
16:00	37.88	35.70	29.10	33.17	30.71	33.17	30.71	33.17	34.01
16:30	35.27	35.27	29.50	33.17	30.71	33.17	31.12	33.17	33.59
17:00	33.17	34.85	29.50	32.76	30.71	32.34	30.71	32.34	32.76
17:30	31.93	34.43	29.50	32.34	30.31	31.93	30.31	31.93	31.93
18:00	30.31	33.59	29.50	31.12	29.90	31.12	29.90	31.12	30.71
18:30	29.50	33.17	29.50	31.12	29.50	31.12	29.50	30.71	30.71
19:00	29.10	32.76	29.10	31.12	29.50	30.71	29.50	30.71	30.71
19:30	28.70	32.34	29.10	30.71	29.50	30.31	29.50	30.31	30.31
20:00	28.31	31.93	29.10	30.31	29.10	30.31	29.10	30.31	29.90
20:30	27.91	31.52	27.91	25.56	25.95	25.17	25.95	25.17	29.50
21:00	27.91	31.12	27.52	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	29.50
21:30	27.52	30.71	27.12	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	29.10
22:00	27.52	30.31	27.12	25.17	25.56	24.79	25.17	24.79	28.70
22:30	26.73	29.90	26.73	24.79	25.56	24.79	25.56	24.79	28.31
23:00	26.34	29.90	26.34	25.56	25.17	25.17	25.17	25.56	27.91
23:30	26.73	29.50	26.34	25.17	25.56	25.17	25.17	25.17	28.31
0:00	27.12	29.10	25.95	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	28.31
0:30	27.12	28.70	25.95	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	28.31
1:00	26.73	28.70	25.95	24.79	25.56	25.17	25.17	24.79	27.91
1:30	26.34	28.31	25.95	25.56	25.56	25.56	25.17	25.56	27.52
2:00	25.95	28.31	25.56	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	27.52
2:30	25.56	27.91	25.56	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	27.52
3:00	25.56	27.52	25.56	25.17	25.56	25.17	25.17	25.17	27.12
3:30	25.56	27.52	25.17	25.17	24.79	25.17	24.79	25.17	27.12
4:00	25.17	27.12	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	27.12
4:30	24.79	27.12	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	26.34
5:00	24.40	26.73	25.17	24.79	25.17	25.17	25.17	24.79	25.95
5:30	25.17	26.73	25.17	24.40	24.79	24.79	24.79	24.40	26.34
6:00	25.17	26.73	25.17	24.40	24.79	24.40	24.79	24.40	26.34
6:30	24.79	26.34	25.17	25.95	25.56	25.95	25.56	25.95	26.34
7:00	24.79	26.34	25.17	26.34	25.95	26.34	25.56	26.34	26.34
7:30	25.56	26.34	25.17	26.34	25.95	26.73	25.95	26.73	27.12

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
8:00	27.52	26.73	25.17	26.73	26.34	27.12	26.34	27.12	28.70
8:30	30.31	27.12	25.56	27.12	26.73	27.52	26.73	27.91	29.50
9:00	34.01	27.52	25.56	27.52	26.73	27.91	27.12	28.31	30.71
9:30	38.32	28.31	25.95	28.31	27.12	28.70	27.52	29.10	30.71
10:00	41.99	30.31	25.95	28.70	27.91	29.50	27.91	29.90	31.12
10:30	41.99	31.12	26.34	29.50	28.31	30.31	28.31	30.31	32.76
11:00	41.99	31.93	26.34	29.90	28.31	30.71	28.70	30.71	32.76
11:30	39.22	31.93	26.73	30.71	28.70	31.12	29.10	31.12	32.76
12:00	41.52	33.59	26.73	31.12	29.10	31.52	29.50	31.93	33.59
12:30	40.59	33.59	27.12	31.12	29.10	31.52	29.50	31.93	33.17
13:00	43.42	35.27	27.52	31.93	29.50	32.34	29.90	32.76	34.43
13:30	42.94	36.13	27.52	32.34	30.31	32.76	30.31	33.17	34.85
14:00	42.46	36.57	27.91	33.17	30.31	33.59	30.71	33.59	34.85
14:30	41.52	37.00	28.31	33.17	30.31	33.59	30.71	33.59	34.85
15:00	41.99	37.44	28.31	33.59	30.71	33.59	30.71	34.01	35.27
15:30	40.59	37.44	28.70	33.59	30.71	33.59	30.71	34.01	34.43
16:00	34.43	36.13	28.70	33.17	30.31	32.76	30.31	32.76	33.17
16:30	34.43	35.70	28.70	32.76	29.90	32.76	30.31	32.76	33.59
17:00	33.17	35.27	28.70	32.76	29.90	32.34	29.90	32.34	33.17
17:30	32.76	34.85	29.10	32.34	29.90	31.93	29.90	31.93	33.17
18:00	31.52	34.43	29.10	31.93	29.50	31.93	29.50	31.93	32.76
18:30	30.31	34.01	29.10	31.93	29.50	31.52	29.50	31.52	31.93
19:00	30.31	33.59	29.10	31.52	29.50	31.12	29.50	31.12	31.12
19:30	29.90	33.17	29.10	31.12	29.50	31.12	29.50	30.71	30.71
20:00	25.17	30.71	28.70	29.50	28.31	28.70	28.31	28.70	26.73
20:30	25.56	30.31	27.52	25.56	25.56	25.56	25.56	25.17	26.73
21:00	25.56	30.31	27.12	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	26.73
21:30	25.95	29.90	27.12	24.79	25.56	24.79	25.56	24.79	27.52
22:00	25.95	29.50	26.73	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	27.12
22:30	25.56	29.10	26.34	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	27.52
23:00	25.17	28.70	26.34	25.56	25.17	25.56	25.17	25.17	27.12
23:30	25.17	28.31	26.34	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	26.73
0:00	25.17	27.91	25.95	24.79	25.56	25.17	25.17	24.79	26.34
0:30	24.79	27.91	25.95	25.17	25.56	25.56	25.17	25.17	26.34
1:00	24.40	27.52	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.95
1:30	24.79	27.52	25.56	25.56	24.79	25.56	24.79	25.56	26.34
2:00	24.79	27.12	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.95
2:30	24.40	26.73	25.17	25.56	24.79	25.56	24.79	25.56	26.34
3:00	24.40	26.73	25.17	25.17	25.17	25.56	25.17	25.17	26.34
3:30	24.40	26.34	25.17	24.79	25.56	25.17	25.17	25.17	25.95
4:00	24.40	26.34	25.17	24.40	24.79	24.79	24.79	24.40	25.56
4:30	24.40	26.34	25.17	25.56	24.79	25.56	24.79	25.56	25.95
5:00	24.40	26.34	24.79	25.17	24.40	25.56	24.40	25.56	25.95
5:30	24.40	25.95	24.79	24.79	24.40	25.17	24.40	24.79	25.56
6:00	24.01	25.95	25.17	24.01	25.56	24.40	25.56	24.40	25.95
6:30	24.01	25.56	25.17	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	25.56
7:00	24.01	25.56	25.17	25.95	25.56	25.95	25.56	25.95	25.95

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
7:30	25.17	25.56	25.17	25.95	25.56	26.34	25.56	26.34	26.34
8:00	26.73	25.95	25.95	25.95	26.34	26.73	26.34	26.73	29.50
8:30	29.10	26.34	25.95	26.73	26.73	27.12	26.73	27.52	31.52
9:00	32.34	27.12	25.95	27.52	27.12	28.31	27.52	28.31	32.76
9:30	39.22	27.91	26.34	28.31	27.91	28.70	27.91	29.10	31.52
10:00	41.99	29.10	26.34	29.10	28.31	29.90	28.31	29.90	31.93
10:30	41.99	31.12	26.73	29.90	28.70	30.71	29.10	31.12	33.59
11:00	41.99	31.93	27.12	30.71	29.50	31.52	29.90	31.93	33.59
11:30	42.46	33.17	27.12	31.52	29.90	31.93	30.31	32.34	34.43
12:00	43.42	34.43	27.52	31.93	29.90	32.76	30.71	32.76	35.70
12:30	43.91	35.27	27.91	32.76	30.31	33.17	30.71	33.17	35.27
13:00	43.42	36.13	28.31	33.17	30.71	33.59	31.12	34.01	35.27
13:30	42.94	36.57	28.31	33.17	30.71	33.59	31.12	34.01	35.70
14:00	44.40	37.88	28.70	33.59	31.12	34.01	31.12	34.01	36.13
14:30	43.42	37.88	29.10	34.01	31.52	34.43	31.93	34.43	36.13
15:00	42.94	38.32	29.10	34.43	31.52	34.43	31.93	34.85	35.70
15:30	42.46	38.77	29.50	34.43	31.52	34.43	31.93	34.43	35.27
16:00	41.52	38.77	29.50	34.43	31.93	34.43	32.34	34.43	35.27
16:30	40.13	38.32	29.90	34.01	31.52	34.01	31.93	34.01	34.85
17:00	37.88	37.88	29.90	34.01	31.52	33.59	31.52	33.59	34.01
17:30	34.85	36.57	29.90	33.17	31.12	33.17	31.12	33.17	33.59
18:00	31.93	35.70	29.90	32.76	30.71	32.34	31.12	32.34	32.76
18:30	30.71	34.85	29.90	32.34	30.31	31.93	30.31	31.93	31.93
19:00	29.90	34.01	29.90	31.93	30.31	31.12	30.31	31.12	31.52
19:30	29.50	33.59	29.90	31.52	29.90	31.12	29.90	30.71	31.12
20:00	29.10	32.76	29.50	31.12	29.90	30.71	29.90	30.71	30.71
20:30	28.70	32.34	28.31	25.56	25.95	25.17	25.95	25.17	30.31
21:00	27.91	31.93	27.91	25.56	25.56	25.56	25.56	25.17	29.90
21:30	27.91	31.12	27.52	25.17	25.17	25.17	25.17	24.79	29.50
22:00	27.91	30.71	27.12	25.56	25.17	25.17	25.17	25.17	29.50
22:30	27.52	30.31	26.73	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	29.50
23:00	27.52	30.31	26.73	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	29.10
23:30	27.12	29.90	26.34	25.17	25.17	24.79	25.17	24.79	28.70
0:00	27.12	29.50	26.34	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	28.70
0:30	26.73	29.10	26.34	25.17	25.56	25.17	25.17	24.79	28.31
1:00	26.34	28.70	25.95	25.56	25.56	25.17	25.56	25.56	28.31
1:30	26.34	28.31	25.95	24.79	25.17	25.17	25.17	24.79	28.31
2:00	26.34	28.31	25.95	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	27.91
2:30	25.56	27.91	25.56	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	27.91
3:00	25.17	27.52	25.56	24.40	25.17	24.79	25.17	24.40	27.12
3:30	24.79	27.52	25.56	24.40	25.17	24.79	25.17	24.40	26.73
4:00	25.17	27.12	25.56	24.40	25.17	24.79	24.79	24.40	27.52
4:30	25.17	27.12	25.56	24.40	25.17	24.79	25.17	24.40	27.12
5:00	25.56	26.73	25.17	24.40	25.17	24.40	25.17	24.40	27.12
5:30	25.17	26.73	25.17	25.17	24.79	25.17	24.79	25.17	26.73
6:00	24.79	26.34	25.17	25.56	24.79	25.56	24.40	25.56	26.34
6:30	24.79	26.34	25.17	26.34	25.56	26.34	25.56	26.34	25.95

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
7:00	24.79	26.34	25.40	26.34	25.95	26.40	25.56	26.40	26.24
7:30	25.86	26.34	25.79	26.40	25.95	26.79	25.79	26.79	27.79
8:00	28.56	26.63	25.79	26.40	26.17	27.17	26.17	27.17	29.73
8:30	29.52	27.40	25.40	26.79	26.40	27.56	26.17	27.56	29.91
9:00	36.43	28.17	25.40	27.56	26.56	27.95	26.56	28.34	29.50
9:30	39.88	28.56	25.79	27.56	26.56	28.34	26.95	28.73	30.31
10:00	40.77	30.12	25.79	27.34	26.95	29.12	27.34	29.12	31.31
10:30	39.88	31.31	25.79	28.12	27.34	29.91	27.73	29.91	31.90
11:00	40.32	32.10	26.17	28.52	27.73	30.31	28.12	30.31	32.31
11:30	44.46	33.71	26.17	29.31	28.52	31.10	28.52	31.10	33.12
12:00	39.88	33.71	26.56	29.70	28.52	31.10	28.91	31.50	33.52
สูงสุด	45.39	38.77	29.90	34.43	31.93	34.77	32.34	34.85	36.13
ต่ำสุด	24.01	25.56	24.79	24.01	24.40	24.40	24.40	24.40	25.56
เฉลี่ย	31.61	30.88	26.98	28.31	27.44	28.50	27.50	28.51	30.19

1.4) ผลการทดลองสภาวะที่ 4: ใช้งานปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

ทำการทดลองในวันที่ 19 – 21 กุมภาพันธ์ 2555

กำหนดให้ M1 คือ ห้องทดลองฉนวนภายนอก และ M2 คือ ห้องทดลองฉนวนภายใน

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
18:00	29.10	30.71	27.12	29.50	28.31	29.50	28.31	29.50	29.50
18:30	28.31	30.31	26.34	24.79	25.17	25.17	25.17	24.79	29.10
19:00	27.91	29.90	26.34	25.17	25.56	25.17	25.17	25.17	29.10
19:30	26.34	29.50	25.95	24.79	25.17	25.17	24.79	24.79	28.31
20:00	25.56	29.10	25.95	25.17	25.17	25.17	24.79	25.17	27.52
20:30	25.17	28.70	25.56	24.79	24.79	24.79	24.79	24.40	26.73
21:00	25.17	28.31	25.95	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	27.52
21:30	25.17	27.91	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	27.12
22:00	25.17	27.91	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	27.12
22:30	24.79	27.52	25.17	25.56	24.79	25.56	24.79	25.56	26.73
23:00	24.40	26.73	25.17	25.17	25.17	25.56	24.79	25.17	26.34
23:30	23.63	26.34	25.17	24.79	25.17	25.17	24.79	25.17	25.95
0:00	23.24	26.34	25.17	24.01	24.79	24.40	24.79	24.01	25.56
0:30	22.86	25.95	25.17	25.17	24.79	25.17	24.40	25.17	25.17
1:00	22.48	25.56	24.79	24.79	24.40	25.17	24.40	24.79	24.40
1:30	22.09	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	24.40
2:00	21.71	24.79	24.79	24.01	24.79	24.40	24.40	24.40	23.63
2:30	21.33	24.40	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	22.86
3:00	21.33	24.40	24.79	25.17	24.40	25.56	24.79	25.56	23.63

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
3:30	21.33	24.01	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	23.63
4:00	20.95	23.63	25.17	25.17	25.17	25.56	25.17	25.17	23.24
4:30	20.95	23.24	24.79	25.17	24.40	25.56	24.01	25.17	22.48
5:00	20.95	23.24	24.79	24.79	24.79	25.17	24.79	25.17	23.24
5:30	20.57	22.86	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	22.86
6:00	20.19	22.48	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	22.09
6:30	20.19	22.48	24.79	24.40	25.17	25.17	25.17	25.17	22.48
7:00	20.57	22.09	24.79	24.40	25.17	25.17	25.17	24.79	22.09
7:30	21.33	22.48	24.79	24.40	25.17	25.17	25.17	24.79	25.17
8:00	24.01	22.86	24.40	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	26.73
8:30	26.34	23.24	24.79	24.79	25.17	25.56	25.17	25.56	28.31
9:00	32.34	24.01	24.79	25.17	25.17	25.95	25.17	25.95	29.50
9:30	36.57	24.79	24.79	24.79	25.56	25.56	25.56	25.56	29.10
10:00	37.88	26.34	24.79	24.79	25.17	25.56	25.17	25.17	29.50
10:30	38.77	27.91	24.79	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	30.31
11:00	40.13	29.10	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	30.31
11:30	40.13	29.90	25.17	25.56	25.56	25.95	25.56	25.95	30.71
12:00	40.59	31.12	25.17	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	31.12
12:30	40.59	31.93	25.17	24.79	25.56	25.17	25.56	25.17	32.76
13:00	40.13	32.76	25.17	25.17	25.56	25.56	25.56	25.17	31.52
13:30	41.99	33.59	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	32.76
14:00	41.05	34.43	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	32.34
14:30	41.99	34.85	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	32.34
15:00	41.05	35.27	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	32.34
15:30	40.13	35.70	25.17	25.56	25.56	25.17	25.56	25.56	31.52
16:00	38.77	35.70	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	25.17	31.12
16:30	37.44	35.27	25.56	25.17	25.56	25.17	25.17	25.17	31.12
17:00	34.85	34.43	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.17	30.71
17:30	30.31	33.17	25.56	25.95	25.56	25.56	25.17	25.56	29.90
18:00	28.31	32.34	25.17	25.95	25.17	25.56	25.17	25.56	29.10
18:30	26.73	31.52	25.17	25.56	25.17	25.17	25.17	25.17	28.31
19:00	25.56	31.12	25.17	24.79	25.17	24.40	24.79	24.40	28.31
19:30	25.17	30.31	25.17	25.17	25.17	24.79	25.17	24.79	27.12
20:00	24.40	29.90	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	26.73
20:30	24.01	29.50	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	26.34
21:00	23.63	29.10	25.17	24.79	25.56	24.79	25.17	24.40	25.95
21:30	23.63	28.31	25.17	24.40	25.17	24.40	25.17	24.40	25.56
22:00	23.24	27.91	25.17	24.01	24.79	24.01	24.79	24.01	25.56
22:30	22.86	27.52	24.79	25.17	24.40	25.56	24.40	25.17	25.17
23:00	22.48	27.12	25.17	24.79	25.17	24.40	25.17	24.79	24.79
23:30	22.09	26.73	24.79	25.17	24.40	25.17	24.40	25.17	24.40
0:00	22.09	26.34	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	24.79
0:30	22.09	25.95	24.79	24.40	24.40	24.79	24.40	24.40	24.79
1:00	22.09	25.56	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	24.01
1:30	21.33	25.17	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	23.24
2:00	21.33	24.79	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	23.24
2:30	20.95	24.40	24.79	25.17	24.79	25.56	24.79	25.56	23.24

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
3:00	20.95	24.01	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	22.86
3:30	20.57	24.01	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	22.48
4:00	20.57	23.63	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	22.48
4:30	20.19	23.24	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	22.09
5:00	20.19	23.24	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	22.48
5:30	20.57	22.86	24.79	24.40	25.17	24.79	25.17	24.79	22.48
6:00	20.57	22.48	24.79	24.40	25.17	24.79	25.17	24.79	23.24
6:30	19.81	22.48	24.79	24.40	24.79	24.79	24.79	24.79	22.09
7:00	20.19	22.09	24.79	24.01	24.79	24.40	24.79	24.40	22.09
7:30	20.95	22.09	24.40	24.01	24.79	24.79	24.79	24.40	25.17
8:00	24.01	22.86	24.79	24.40	25.17	24.79	25.17	24.79	27.91
8:30	26.73	23.24	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	28.70
9:00	31.93	24.40	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	31.12
9:30	37.44	25.17	24.79	24.40	25.56	25.17	25.56	24.79	29.50
10:00	39.22	26.73	24.79	24.01	25.56	24.79	25.56	24.79	30.71
10:30	40.59	28.70	24.79	24.40	25.56	25.17	25.56	25.17	30.31
11:00	40.59	29.90	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	31.52
11:30	41.99	30.71	25.17	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	31.93
12:00	41.52	31.93	25.17	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	33.17
12:30	42.46	32.76	25.17	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	33.17
13:00	42.46	34.01	25.17	25.56	25.17	25.56	25.56	25.56	33.59
13:30	42.46	34.43	25.17	25.17	25.56	25.56	25.56	25.17	33.17
14:00	43.42	35.27	25.17	25.17	25.56	25.17	25.95	25.17	33.17
14:30	42.94	36.13	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	34.01
15:00	42.94	36.57	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	34.01
15:30	42.46	37.00	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	33.59
16:00	41.05	37.00	25.56	25.17	25.17	25.17	25.56	25.17	33.59
16:30	38.77	36.57	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	33.17
17:00	34.85	36.13	25.56	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	32.76
17:30	31.93	34.43	25.56	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	32.34
18:00	29.90	34.01	25.56	25.95	25.17	25.56	25.56	25.56	31.52
18:30	28.31	33.17	25.56	25.95	25.56	25.56	25.56	25.56	30.71
19:00	26.73	32.34	25.56	25.56	25.17	25.17	25.17	25.17	29.50
19:30	26.73	31.93	25.56	25.17	25.56	24.79	25.56	24.40	29.50
20:00	25.95	31.12	25.17	25.95	24.79	25.56	24.79	25.56	28.70
20:30	25.17	30.71	25.17	24.79	25.17	24.40	25.17	24.40	27.91
21:00	24.40	29.90	25.17	24.40	25.17	24.40	25.17	24.40	26.73
21:30	23.63	29.50	25.17	24.40	25.17	24.40	25.17	24.01	26.34
22:00	23.63	29.10	25.17	24.79	25.17	24.40	25.17	24.40	25.95
22:30	23.24	28.31	25.17	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	25.56
23:00	22.86	27.91	25.17	25.17	24.79	24.79	24.79	24.79	25.17
23:30	22.48	27.52	24.79	25.56	24.40	25.56	24.40	25.56	25.17
0:00	22.09	27.12	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	24.79
0:30	22.09	26.73	24.79	25.56	24.79	25.56	24.79	25.56	24.79
1:00	22.09	26.34	24.79	24.01	25.17	24.40	25.17	24.40	24.79
1:30	22.09	25.95	24.79	25.17	24.40	25.17	24.40	25.17	24.40
2:00	22.09	25.56	24.79	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	24.01

เวลา	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (C°) (ต่อ)								
	ผิวภายนอก M1	ผิวภายนอก M2	ผิวภายใน M1	ผิวภายใน M2	อากาศภายใน M1	อากาศภายใน M2	globe temp. M1	globe temp. M2	อากาศภายนอก
2:30	22.09	25.17	24.79	25.56	25.17	25.56	25.17	25.56	24.01
3:00	21.71	25.17	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	23.63
3:30	21.71	24.79	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	23.63
4:00	21.33	24.40	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	23.63
4:30	21.33	24.01	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	25.17	23.24
5:00	21.33	24.01	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	25.17	23.24
5:30	21.33	23.63	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	23.24
6:00	21.33	23.63	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	24.01
6:30	21.71	23.24	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	24.01
7:00	22.09	23.24	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	24.01
7:30	22.86	23.24	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	25.56
8:00	25.17	23.63	24.79	25.17	24.40	25.56	24.40	25.56	26.73
8:30	27.52	24.40	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	27.91
9:00	30.71	25.17	24.79	24.40	24.79	25.17	24.79	24.79	30.31
9:30	36.57	25.95	24.79	24.40	25.56	24.79	25.56	25.17	29.90
10:00	39.22	27.52	24.79	24.40	25.17	25.17	25.17	25.17	30.71
10:30	41.52	29.50	24.79	24.79	25.17	25.56	25.56	25.56	31.93
11:00	41.99	30.31	24.79	24.79	25.17	25.17	25.17	25.17	32.34
11:30	44.89	31.93	25.17	25.17	25.17	25.56	25.17	25.56	34.01
12:00	42.94	32.76	25.17	24.79	25.17	25.17	25.56	25.17	34.43
12:30	43.91	34.01	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	35.27
13:00	45.89	35.27	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	35.70
13:30	44.89	36.13	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	36.13
14:00	45.39	37.00	25.17	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	35.27
14:30	44.40	37.88	25.56	25.56	25.56	25.17	25.95	25.17	36.13
15:00	43.91	37.88	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.17	35.27
15:30	42.94	38.32	25.56	25.95	25.56	25.56	25.56	25.56	35.27
16:00	41.52	38.32	25.56	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	35.27
16:30	38.32	37.44	25.56	25.56	25.17	25.17	25.17	25.17	34.43
17:00	35.27	36.57	25.56	25.56	25.56	25.17	25.56	25.17	33.59
17:30	33.17	35.70	25.56	25.56	25.17	25.17	25.17	24.79	33.59
18:00	31.12	35.27	25.56	25.56	25.56	24.79	25.17	24.79	32.34
สูงสุด	45.89	38.32	27.12	29.50	28.31	29.50	28.31	29.50	36.13
ต่ำสุด	19.81	22.09	24.40	24.01	24.40	24.01	24.01	24.01	22.09
เฉลี่ย	29.43	28.71	25.10	25.09	25.22	25.25	25.21	25.19	28.04

2.1) ผลการทดลองสภาวะที่ 2: การใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางวัน (08.00 – 17.00 น.)

ทำการทดลองในวันที่ 14 – 16 กุมภาพันธ์ 2555

วันที่	เวลา (น.)	ค่าการใช้พลังงานที่อ่านได้จากมิเตอร์ (kWh)		พลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลา (kWh)	
		ห้องทดลองฉนวนภายนอก	ห้องทดลองฉนวนภายใน	ห้องทดลองฉนวนภายนอก	ห้องทดลองฉนวนภายใน
14 ก.พ. 55	8:00	23.856	19.653	0.000	0.000
	9:00	24.087	19.810	0.231	0.157
	10:00	24.344	19.972	0.257	0.162
	11:00	24.606	20.173	0.262	0.201
	12:00	24.860	20.395	0.254	0.222
	13:00	25.130	20.675	0.270	0.280
	14:00	25.429	20.963	0.299	0.288
	15:00	25.723	21.257	0.294	0.294
	16:00	25.982	21.505	0.259	0.248
	17:00	26.237	21.790	0.255	0.285
15 ก.พ. 55	8:00	26.237	21.790	0.000	0.000
	9:00	26.463	21.921	0.226	0.131
	10:00	26.630	22.079	0.167	0.158
	11:00	26.842	22.257	0.212	0.178
	12:00	27.120	22.518	0.278	0.261
	13:00	27.348	22.733	0.228	0.215
	14:00	27.598	22.982	0.250	0.249
	15:00	27.861	23.263	0.263	0.281
	16:00	28.155	23.555	0.294	0.292
	17:00	28.414	23.825	0.259	0.270
16 ก.พ. 55	8:00	28.414	23.825	0.000	0.000
	9:00	28.639	23.982	0.225	0.157
	10:00	28.848	24.112	0.209	0.130
	11:00	29.099	24.322	0.251	0.210
	12:00	29.360	24.583	0.261	0.261
	13:00	29.656	24.835	0.296	0.252
	14:00	29.908	25.090	0.252	0.255
	15:00	30.176	25.380	0.268	0.290
	16:00	30.430	25.640	0.254	0.260
	17:00	30.684	25.895	0.254	0.255
ค่าการใช้พลังงานรวม (kWh)				**6.827**	**6.242**

2.2) ผลการทดลองสภาวะที่ 3: การใช้งานปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางคืน (20.00 – 06.00 น.)

ทำการทดลองในวันที่ 16 – 18 กุมภาพันธ์ 2555

วันที่	เวลา (น.)	ค่าการใช้พลังงานที่อ่านได้จากมิเตอร์ (kWh)		พลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลา (kWh)	
		ห้องทดลองฉนวนภายนอก	ห้องทดลองฉนวนภายใน	ห้องทดลองฉนวนภายนอก	ห้องทดลองฉนวนภายใน
16 ก.พ. 55	20:00	31.321	26.101	0.000	0.000
	21:00	31.750	26.367	0.426	0.266
	22:00	32.055	26.570	0.302	0.203
	23:00	32.332	26.732	0.274	0.162
	0:00	32.540	26.862	0.205	0.130
	1:00	32.708	26.990	0.165	0.128
	2:00	32.881	27.112	0.170	0.122
	3:00	33.045	27.21	0.161	0.098
	4:00	33.160	27.320	0.112	0.110
	5:00	33.302	27.408	0.139	0.088
	6:00	33.401	27.504	0.096	0.096
17 ก.พ. 55	20:00	33.401	27.504	0.000	0.000
	21:00	33.771	27.729	0.367	0.225
	22:00	34.039	27.887	0.265	0.158
	23:00	34.271	28.013	0.229	0.126
	0:00	34.444	28.140	0.170	0.127
	1:00	34.608	28.232	0.161	0.092
	2:00	34.744	28.325	0.133	0.093
	3:00	34.935	28.450	0.188	0.125
	4:00	35.023	28.515	0.085	0.065
	5:00	35.120	28.585	0.094	0.070
	6:00	35.190	28.680	0.067	0.095
18 ก.พ. 55	20:00	35.190	28.680	0.000	0.000
	21:00	35.606	28.972	0.413	0.292
	22:00	35.940	29.172	0.331	0.200
	23:00	36.211	29.323	0.268	0.151
	0:00	36.451	29.482	0.237	0.159
	1:00	36.659	29.622	0.205	0.140
	2:00	36.836	29.771	0.174	0.149
	3:00	36.971	29.856	0.132	0.085
	4:00	37.096	29.941	0.122	0.085
	5:00	37.236	30.036	0.137	0.095
	6:00	37.338	30.096	0.099	0.060
ค่าการใช้พลังงานรวม (kWh)				**3.995**	**5.927**

2.3) ผลการทดลองสภาวะที่ 4: ใช้งานปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

ทำการทดลองในวันที่ 19 – 21 กุมภาพันธ์ 2555

วันที่	เวลา (น.)	ค่าการใช้พลังงานที่อ่านได้จากมิเตอร์ (kWh)		พลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลา (kWh)	
		ห้องทดลองฉนวนภายนอก	ห้องทดลองฉนวนภายใน	ห้องทดลองฉนวนภายนอก	ห้องทดลองฉนวนภายใน
19 ก.พ. 55	18:00	36.401	29.351	0.000	0.000
	19:00	36.662	29.559	0.261	0.208
	20:00	36.852	29.716	0.190	0.157
	21:00	37.016	29.810	0.164	0.094
	22:00	37.153	29.907	0.137	0.097
	23:00	37.254	30.000	0.101	0.093
	0:00	37.352	30.090	0.098	0.090
	1:00	37.45	30.151	0.098	0.061
	2:00	37.526	30.210	0.076	0.059
	3:00	37.593	30.240	0.067	0.030
	4:00	37.622	30.273	0.029	0.033
	5:00	37.667	30.300	0.045	0.027
	6:00	37.694	30.325	0.027	0.025
	7:00	37.721	30.355	0.027	0.030
	8:00	37.778	30.385	0.057	0.030
	9:00	37.825	30.435	0.047	0.050
	10:00	37.897	30.503	0.072	0.068
	11:00	38.012	30.633	0.115	0.130
	12:00	38.149	30.802	0.137	0.169
	13:00	38.331	30.972	0.182	0.170
	14:00	38.544	31.195	0.213	0.223
	15:00	38.722	31.425	0.178	0.230
	16:00	38.931	31.641	0.209	0.216
	17:00	39.116	31.843	0.185	0.202
20 ก.พ. 55	18:00	39.282	32.040	0.166	0.197
	19:00	39.425	32.185	0.143	0.145
	20:00	39.519	32.268	0.094	0.083
	21:00	39.611	32.363	0.092	0.095
	22:00	39.709	32.460	0.098	0.097
	23:00	39.773	32.520	0.064	0.060
	0:00	39.83	32.549	0.057	0.029
	1:00	39.853	32.615	0.023	0.066
	2:00	39.879	32.640	0.026	0.025
	3:00	39.916	32.670	0.037	0.030
	4:00	40.013	32.685	0.097	0.015

	เวลา (น.)	ค่าการใช้พลังงานที่อ่านได้จากมิเตอร์ (kWh)		พลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลา (kWh)	
		ห้องทดลองฉนวนภายนอก	ห้องทดลองฉนวนภายใน	ห้องทดลองฉนวนภายนอก	ห้องทดลองฉนวนภายใน
	5:00	40.045	32.720	0.032	0.035
	6:00	40.072	32.750	0.027	0.030
	7:00	40.104	32.780	0.032	0.030
	8:00	40.141	32.815	0.037	0.035
	9:00	40.163	32.835	0.022	0.020
	10:00	40.228	32.930	0.065	0.095
	11:00	40.366	33.027	0.138	0.097
	12:00	40.508	33.202	0.142	0.175
	13:00	40.691	33.435	0.183	0.233
	14:00	40.88	33.665	0.189	0.230
	15:00	41.12	33.915	0.240	0.250
	16:00	41.347	34.165	0.227	0.250
	17:00	41.524	34.415	0.177	0.250
21 ก.พ. 55	18:00	41.743	34.616	0.219	0.201
	19:00	41.881	34.757	0.138	0.141
	20:00	42.012	34.903	0.131	0.146
	21:00	42.111	35.012	0.099	0.109
	22:00	42.209	35.101	0.098	0.089
	23:00	42.309	35.161	0.100	0.060
	0:00	42.369	35.221	0.060	0.060
	1:00	42.439	35.281	0.070	0.060
	2:00	42.497	35.315	0.058	0.034
	3:00	42.534	35.345	0.037	0.030
	4:00	42.551	35.370	0.017	0.025
	5:00	42.583	35.395	0.032	0.025
	6:00	42.61	35.425	0.027	0.030
	7:00	42.642	35.455	0.032	0.030
	8:00	42.704	35.485	0.062	0.030
	9:00	42.767	35.550	0.063	0.065
	10:00	42.865	35.644	0.098	0.094
	11:00	43.005	35.778	0.140	0.134
	12:00	43.191	35.991	0.186	0.213
	13:00	43.377	36.236	0.186	0.245
	14:00	43.639	36.504	0.262	0.268
	15:00	43.888	36.770	0.249	0.266
	16:00	44.122	37.058	0.234	0.288
	17:00	44.377	37.305	0.255	0.247
	18:00	44.562	37.559	0.185	0.254
ค่าการใช้พลังงานรวม (kWh)				**8.161**	**8.208**

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกษิดา ชำนาญดี เกิดวันที่ 5 เมษายน พ.ศ.2528 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 1) จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2550 จากนั้นได้เข้าทำงานตำแหน่งสถาปนิก ที่บริษัท C-Group Architect and Consultant จำกัด เป็นเวลา 2 ปี ก่อนเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553 โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ปีงบประมาณ 2554 ของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน และทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตครั้งที่ 1 ปีงบประมาณ 2555 ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย