

สมรรถนะด้านพลังงานของหลังคาที่ติดตั้งมวลอุณหภาพและฉนวนชนิดเปิดปิดได้



นายวีรภัทร ไตรทิพเทวินทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 University Graduate School.

ENERGY PERFORMANCE OF ROOF EQUIPPED WITH THERMAL MASS AND MOVABLE  
INSULATION

Mr. Veerapat Trithiptavin

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมรรถนะด้านพลังงานของหลังคาที่ติดตั้งมวลอุณหภาพและฉนวน ชนิดเปิดปิดได้
โดย	นายวีรภัทร ไตรทิพเทวินทร์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถจน์ เศรษฐบุต

---

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถจน์ เศรษฐบุต)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. ณรงค์วิทย์ อารีมิตร)

วีรภัทร ไตรทิพเทวินทร์ : สมรรถนะด้านพลังงานของหลังคาที่ติดตั้งมวลอุณหภาพและฉนวนชนิดเปิดปิดได้. (ENERGY PERFORMANCE OF ROOF EQUIPPED WITH THERMAL MASS AND MOVABLE INSULATION) อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตร, 110 หน้า.

ปรากฏการณ์เกาะความร้อนส่งผลต่อการใช้พลังงานที่มากขึ้นในการปรับอากาศของอาคาร Givoni ได้เสนอแนวทางการลดการใช้พลังงานด้วยการออกแบบการทำความเย็นให้กับอาคารด้วยวิธีทางธรรมชาติ แนวคิดหนึ่งที่น่าสนใจคือการใช้ฉนวนกันความร้อนและใช้มวลอุณหภาพในการแผ่รังสีความร้อนให้กับอาคาร เพื่อศึกษาสมรรถนะในการลดการใช้พลังงาน ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเป็นสองช่วงคือการทดลองด้วยกล่องทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะการลดอุณหภูมิและการทดลองด้วยโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน Visual DOE 4.1 เพื่อศึกษาสมรรถนะการประหยัดพลังงาน ในการออกแบบกล่องทดลองได้แบ่งกรณีศึกษาเป็น 5 กรณีคือ กรณีศึกษาที่ 1 กรณีควบคุมใช้หลังคาคอนกรีตไม่มีฉนวนหุ้ม กรณีศึกษาที่ 2 ไม่มีมวลอุณหภาพ กรณีศึกษาที่ 3 ใช้น้ำเป็นมวลอุณหภาพ กรณีศึกษาที่ 4 ใช้คอนกรีตเป็นมวลอุณหภาพ กรณีศึกษาที่ 5 ใช้ไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นมวลอุณหภาพ ซึ่งในกรณีศึกษาที่ 2-5 จะมีฉนวนหุ้มหลังคาโดยปิดในเวลากลางวันและเปิดในเวลากลางคืน ผลที่ได้จากการทดลองด้วยกล่องทดลองนำมาคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน และนำมาป้อนใส่โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการจำลองการถ่ายเทความร้อนและการใช้พลังงานของอาคาร 2 ประเภทได้แก่ อาคารสำนักงานและอาคารพักอาศัย ข้อมูลของกล่องทดลองถูกเก็บในช่วงวันที่ 28 ถึง 31 ธันวาคม 2556 จากการเก็บข้อมูลพบว่าอาคารสำนักงาน ช่วงเวลากลางวันกรณีศึกษาที่ 4 มีอุณหภูมิต่ำสุดจากกรณีศึกษาทั้งหมดคือ 20.9 C ในช่วงเวลากลางคืนกรณีศึกษาที่ 2 มีอุณหภูมิต่ำสุดจากกรณีศึกษาทั้งหมดคือ 18.3 C ส่วนการใช้งานอาคารพักอาศัย ช่วงเวลากลางวันกรณีศึกษาที่ 4 มีอุณหภูมิต่ำสุดจากกรณีศึกษาทั้งหมดอยู่ที่ 20.7 C ในช่วงเวลากลางคืนกรณีศึกษาที่ 2 มีอุณหภูมิต่ำสุดจากกรณีศึกษาทั้งหมดคือ 19.6 C ในส่วนของผลการทดลองการจำลองการใช้พลังงานพบว่าอาคารที่มีการประหยัดพลังงานมากที่สุดคืออาคารที่ใช้มวลอุณหภาพด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ สำหรับการใช้งานอาคารพักอาศัยอยู่ที่ 12.97 % และสำหรับการใช้งานอาคารสำนักงานอยู่ที่ 14.14 % จากการศึกษาทั้งหมดสรุปได้ว่าการออกแบบหลังคามวลอุณหภาพสำหรับพื้นที่ไม่ปรับอากาศ หลังคาควรเปิดฉนวนในช่วงเวลากลางคืน และการเลือกใช้มวลอุณหภาพควรเป็นไปตามนี้คือ ในช่วงเวลากลางวันมวลอุณหภาพควรมีค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะสูง และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ ส่วนช่วงเวลากลางคืนมวลอุณหภาพควรมีค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะต่ำ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง จะสามารถลดอุณหภูมิได้ดีที่สุดในขณะที่การออกแบบหลังคามวลอุณหภาพสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ หลังคาควรปิดฉนวนในช่วงเวลากลางคืนของฤดูร้อนและฤดูฝนเพื่อลดการใช้พลังงาน แต่ช่วงฤดูหนาวการเปิดฉนวนหลังคาเวลากลางคืนจะช่วยลดการใช้พลังงานได้ ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อนที่สามารถถ่ายเทออกเมื่อเปิดฉนวนเวลากลางคืนจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้หลังคาที่มีมวลอุณหภาพน้อยที่สุด คือกรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 27.93 W/m<sup>2</sup> และมีจำนวนวันที่พลังงานความร้อนถ่ายเทออกสู่ภายนอกเมื่อเปิดฉนวนเวลากลางคืนสูงสุดที่ 165 วัน

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อนิลิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

# # 5673347825 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: THERMAL MASS / MOVABLE INSULATION

VEERAPAT TRITHIPTAVIN: ENERGY PERFORMANCE OF ROOF EQUIPPED WITH THERMAL MASS AND MOVABLE INSULATION. ADVISOR: ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 110 pp.

Urban Heat has an effect on housing energy usage. To solve this problem, a cooling radiator by thermal mass with movable insulation was proposed by Givoni. As an experiment, 5 cases of tested boxes, with case 1 used as a control, and cases 2 through 5 using different materials as thermal mass - no thermal mass, water bottle, concrete and fiber cement, were set up in Thailand on December 28-31, 2013. All cases were placed in two settings simulating the conditions of both residential and office areas. The result shows that, in office conditions, the lowest temperature from 6:00 AM – 5:59 PM was found in the concrete material case, 20.9 C, and from 6:00 PM – 5:59 AM the lowest was found using the no thermal mass case, 18.3 C. In residential conditions, the lowest temperature from 6:00 AM – 5:59 PM was found using the concrete materials case, 20.7 C, and from 6:00 PM – 5:59 AM was found using no thermal mass case, 19.6 C. To study the energy performance of thermal mass with movable insulation, this research utilized Visual DOE 4.1. There tested subjects were the same as the tested box, and ran three insulations cases for comparison: movable insulation, no insulation and closed insulation roof. The results show that the thermal mass with movable insulation in case 5, fiber cement material, was the most energy-efficient, saving 12.45% in office conditions and 14.14% in resident conditions. So for passive building, in day-time, buildings should have high mass and a low coefficient of heat transfer. On the other hand, at night-time, buildings should have low mass and a high coefficient of heat transfer. Therefore, the building that reduces temperature by a cooling radiator with thermal mass should be able to change mass and the coefficient of heat transfer. In active buildings, in summer, moving insulation at night will cause a gain in heat, but an overall loss of heat in the winter. So in active buildings, moving insulation used only in winter at night would be the best way to save energy in the Thai climate, and thermal mass must use high thermal resistance material.

Department: Architecture

Student's Signature .....

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2013

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากผู้ที่ให้การสนับสนุนหลายท่าน

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อรรถจัน เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ โปรแกรม และอุปกรณ์สำหรับงานทดลองและการวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบคุณ บริษัท แมกโนเลีย ควอลิตี้ ดีเวล็อปเม้นต์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ ที่ช่วยให้คำปรึกษาในการทำวิจัยกล่องทดลอง

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารสถาบัน 2-3 ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่วิจัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย .....	2
1.4 สมมุติฐานการวิจัย.....	3
1.5 สถานที่ทดลอง.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 อุณหภูมิ.....	4
2.2 เทอร์โมมิเตอร์และสเกลอุณหภูมิ .....	4
2.3 ระบบปิดและระบบเปิดทางฟิสิกส์ .....	5
2.4 ความร้อนและพลังงานความร้อน.....	5
2.5 ความจุความร้อนและความร้อนจำเพาะ.....	6
2.6 ความร้อนแฝง.....	6
2.6.1 ตัวกลางแอเดียแบติก.....	6
2.6.2 ตัวกลางไดอะเทอร์มิก.....	6
2.7 การถ่ายเทความร้อน.....	7
2.8 การส่งรังสีของสีผิว .....	7
2.9 กฎของอุณหพลศาสตร์.....	7
2.10 การทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี.....	8
2.11 มวลอุณหภาพประกอบด้วยฉนวนกันความร้อนเปิด-ปิด .....	8
2.12 การแผ่รังสีกลับสู่บรรยากาศ.....	9
2.13 การแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศด้วยการพาความร้อน .....	10
2.14 การนำพลังงานการแผ่รังสีมาใช้.....	10

2.15 การลดอัตราการสูญเสียความร้อนออกจากวัตถุ.....	10
2.16 หลักการจากงานทดลองและงานวิจัย .....	10
2.18 สรุปภาพรวมวิธีการแผ่รังสีความเย็นด้วยหลังคามวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิด .....	14
2.19 การคำนวณผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ .....	14
2.20 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U).....	15
2.21 ภาพรวมงานวิจัยเมื่อเทียบกับงานวิจัยที่มีมาแล้ว.....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	18
3.1 การวิจัยกล่องทดลอง.....	18
3.1.2 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย .....	18
3.1.3 การออกแบบกล่องทดลอง.....	19
3.1.4 การคัดเลือกวัสดุใช้ในงานวิจัยและออกแบบกล่องทดลอง.....	19
3.1.5 การแบ่งกรณีศึกษาทดลอง.....	20
3.1.6 ขนาดและสัดส่วนกล่องทดลอง .....	21
3.1.7 การเก็บและวัดค่าอุณหภูมิ.....	23
3.1.7.1 อุปกรณ์ที่ใช้.....	24
3.1.8 ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัย.....	25
3.1.8.1 ตัวแปรต้น .....	25
3.1.8.2 ตัวแปรตาม.....	25
3.1.8.3 ตัวแปรควบคุม.....	25
3.2 การวิจัยการจำลองการใช้พลังงาน .....	26
3.2.1 การวิจัยการใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธีการออกแบบหลังคามวลอุณหภูมิมีฉนวน ชนิดเปิด-ปิด .....	26
3.2.2 อาคารอ้างอิงสำหรับงานวิจัย.....	27
3.2.3 การใช้งานอาคาร .....	32
3.2.4 การสร้างโมเดลอาคาร .....	32
3.2.4.1 กรณีอาคารพักอาศัย.....	32
3.2.4.2 กรณีอาคารสำนักงาน .....	33
3.2.4.3 การจำลองหลังคากรณีศึกษา.....	34



3.2.4.3 การจำลองสภาพอากาศและการใช้งานอาคาร.....	36
3.2.5 ตัวแปรในการศึกษาการจำลองอาคารด้วย Visual DOE 4.1.....	37
3.2.5.1 ตัวแปรต้น.....	37
3.2.5.2 ตัวแปรตาม.....	37
3.2.5.3 ตัวแปรควบคุม.....	37
3.2.6 การเก็บข้อมูล.....	38
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	39
4.1 ผลการวิจัยกล่องทดลอง.....	39
4.1.1 ผลการวัดอุณหภูมิกล่องทดลอง.....	39
4.1.2 วิเคราะห์และอภิปรายผลกล่องทดลอง.....	47
4.1.2.1 วิเคราะห์กรณีศึกษากล่องทดลอง.....	47
4.1.2.2 วิเคราะห์แผนภูมิผลการวิจัยกล่องทดลอง.....	50
4.2 ผลการวิจัยการจำลองการใช้พลังงาน.....	51
4.2.1 ผลการจำลองการศึกษาสมรรถนะการลดพลังงานของมวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิด.....	51
4.2.2 วิเคราะห์และอภิปรายผลการจำลอง.....	66
4.2.2.1 วิเคราะห์การทำความเย็นของระบบหลังคา.....	66
4.2.2.2 วิเคราะห์ผลการจำลอง.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	85
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ.....	93
รายการอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก.....	97
ก. การตั้งค่าเวลางานระบบอาคาร (Time Schedule).....	98
a. กรณีอาคารพักอาศัย.....	98
i. การตั้งค่าระบบปรับอากาศ (พื้นที่ห้องนอนและห้องนั่งเล่น).....	98
ii. การตั้งค่าระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (พื้นที่ห้องนอนและห้องนั่งเล่น).....	99
iii. การตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร (พื้นที่ห้องนอนและห้องนั่งเล่น).....	100
iv. การตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานอาคาร (พื้นที่ห้องนอน).....	101

v. การตั้งค่าความถี่การใช้งานอาคาร (พื้นที่ห้องนั่งเล่น).....	102
b. กรณีอาคารสำนักงาน .....	103
i. การตั้งค่าระบบปรับอากาศ .....	103
ii. การตั้งค่าระบบไฟฟ้าแสงสว่าง .....	104
iii. การตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร .....	105
iv. การตั้งค่าความถี่การใช้งานอาคาร.....	106
ข. การประมาณต้นทุนค่าก่อสร้าง .....	107
กรณีศึกษาที่ 1 กรณีเปรียบเทียบ (Base line) .....	107
กรณีศึกษาที่ 2 ไม่มีมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (No mass) .....	107
กรณีศึกษาที่ 3 มีมวลน้ำเป็นมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (water bottle).....	108
กรณีศึกษาที่ 4 มีมวลคอนกรีตเป็นมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (Concrete).....	108
กรณีศึกษาที่ 5 มีมวลไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (Fiber cement) .....	109
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	110

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงภาพรวมการทดลองในงานวิจัยชั้นนี้เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่มีมาแล้ว.....	17
ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติวัสดุ.....	20
ตารางที่ 3 สรุปการออกแบบกรณีศึกษากล่องทดลอง.....	20
ตารางที่ 4 แสดงภาพกรณีศึกษาและกล่องทดลอง.....	22
ตารางที่ 5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในงานทดลอง.....	24
ตารางที่ 6 แสดงผลการวัดค่าอุณหภูมิของกล่องทดลองกรณีอาคารสำนักงาน วันที่ 28 – 29 ธันวาคม 2556.....	39
ตารางที่ 7 แสดงผลการวัดค่าอุณหภูมิของกล่องทดลองกรณีอาคารพักอาศัย วันที่ 30 – 31 ธันวาคม 2556.....	42
ตารางที่ 8 แสดงผลการจำลองการใช้พลังงานกรณีอาคารพักอาศัยกรณีที่ 1, 2.....	52
ตารางที่ 9 แสดงผลการจำลองการใช้พลังงานกรณีอาคารพักอาศัยกรณีที่ 3 - 5.....	53
ตารางที่ 10 แสดงผลการจำลองการใช้พลังงานกรณีอาคารสำนักงานกรณีที่ 1, 2.....	54
ตารางที่ 11 แสดงผลการจำลองการใช้พลังงานกรณีอาคารสำนักงานกรณีที่ 3 - 5.....	55
ตารางที่ 12 สรุปผลการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากหลังคา (W).....	71
ตารางที่ 13 แสดงการใช้พลังงานสูงสุด (Peak load) ในรอบปีของกรณีศึกษา (kWh).....	75
ตารางที่ 14 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 20 มีนาคม (W).....	79
ตารางที่ 15 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 21 มิถุนายน (W).....	80
ตารางที่ 16 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 23 กันยายน (W).....	81
ตารางที่ 17 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 21 ธันวาคม (W).....	82
ตารางที่ 18 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของมวลอุณหภาพ.....	83
ตารางที่ 19 สรุปผลการจำลองกรณีใช้งานแบบอาคารพักอาศัย กรณีที่ 1 - 3.....	88
ตารางที่ 20 สรุปผลการจำลองกรณีใช้งานแบบอาคารพักอาศัย กรณีที่ 4, 5.....	89
ตารางที่ 21 สรุปผลการจำลองกรณีใช้งานแบบอาคารสำนักงาน กรณีที่ 1 - 3.....	89
ตารางที่ 22 สรุปผลการจำลองกรณีใช้งานแบบอาคารสำนักงาน กรณีที่ 4, 5.....	90
ตารางที่ 23 สรุปผลการเปิดฉนวนหลังคาในช่วงเวลากลางคืน.....	91
ตารางที่ 24 สรุปการใช้หลังคามวลอุณหภาพมีฉนวนเปิด-ปิดตามการใช้งานของอาคาร.....	91

ตารางที่ 25 แสดงการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 1..... 107

ตารางที่ 26 แสดงการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 2..... 107

ตารางที่ 27 แสดงการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 3..... 108

ตารางที่ 28 แสดงการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 4..... 108

ตารางที่ 29 แสดงการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 5..... 109



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แสดงระบบการทำงานของฉนวนเปิด-ปิด (movable insulation).....	1
ภาพที่ 2 รูปตัดระบบปิด .....	5
ภาพที่ 3 รูปตัดระบบเปิด .....	5
ภาพที่ 4 หลักการทำงานของระบบมวลอุณหภูมิมิฉนวนกันความร้อนเปิด-ปิด .....	8
ภาพที่ 5 แสดงการออกแบบหลังคามวลอุณหภูมิด้วยการใช้ท่อน้ำไหลผ่านหลังคา .....	9
ภาพที่ 6 การทำงานของ Skytherm .....	11
ภาพที่ 7 รูปตัดหลังคาน้ำประกอบฉนวนในงานวิจัยของ R. Tang และ Y. Etzion .....	11
ภาพที่ 8 ระบบเปิด-ปิดฉนวนหลังคาในงานวิจัยของ Philip W. B. Niles.....	12
ภาพที่ 9 การถ่ายเทความร้อนช่วงฤดูร้อนจากงานวิจัยของ Philip W. B. Niles.....	12
ภาพที่ 10 การถ่ายเทความร้อนช่วงฤดูหนาวจากงานวิจัยของ Philip W. B. Niles .....	13
ภาพที่ 11 แสดงการส่งผ่านความร้อนในส่วนต่างๆของกล่องทดลองในช่วงเวลากลางวัน.....	16
ภาพที่ 12 แสดงการส่งผ่านความร้อนในส่วนต่างๆของกล่องทดลองในช่วงเวลากลางคืน.....	16
ภาพที่ 13 แสดงสัดส่วนขนาดกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 1 .....	21
ภาพที่ 14 แสดงสัดส่วนขนาดกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 2 .....	21
ภาพที่ 15 แสดงสัดส่วนขนาดกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 3-5.....	21
ภาพที่ 16 แสดงตำแหน่งการเก็บอุณหภูมิของกล่องทดลอง .....	23
ภาพที่ 17 ผังอาคารตึกแถวชั้น 1 ที่ได้ทำการสำรวจ.....	27
ภาพที่ 18 ผังอาคารตึกแถวชั้น 2-4 ที่ได้ทำการสำรวจ .....	28
ภาพที่ 19 รูปตัดแสดงสัดส่วนความสูงของช่องเปิดอาคารจำลอง .....	28
ภาพที่ 20 แสดงแผนผังอาคารจำลองชั้น 1 .....	29
ภาพที่ 21 แสดงแผนผังอาคารจำลองชั้น 2 - 4 .....	30
ภาพที่ 22 หน้าอาคารตึกแถวที่ทำการสำรวจ .....	31
ภาพที่ 23 ภาพโมเดลการจำลองอาคารด้วย Visual DOE 4.1 .....	31
ภาพที่ 24 แสดงรูปตัดโมเดลจำลองของหลังคากรณีศึกษาที่ 1 .....	35
ภาพที่ 25 แสดงรูปตัดโมเดลจำลองของหลังคากรณีศึกษาที่ 2.....	35
ภาพที่ 26 แสดงรูปตัดโมเดลจำลองของหลังคากรณีศึกษาที่ 3-5.....	36

ภาพที่ 27 แสดงรูปตัดโมเดลจำลองของหลังคาขณะปิดฉนวน.....	36
ภาพที่ 28 แสดงรูปตัดโมเดลจำลองของหลังคาขณะเปิดฉนวน.....	36
ภาพที่ 29 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 1 การใช้งานแบบอาคารพักอาศัย .	47
ภาพที่ 30 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 1 การใช้งานแบบอาคารสำนักงาน	47
ภาพที่ 31 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5 การใช้งานแบบอาคารพักอาศัย.....	48
ภาพที่ 32 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 3 ,4 และ 5 การใช้งานแบบอาคารสำนักงาน .....	48
ภาพที่ 33 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 2 การใช้งานแบบอาคารพักอาศัย .	49
ภาพที่ 34 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 2 การใช้งานแบบอาคารสำนักงาน	49
ภาพที่ 35 แสดงการถ่ายเทความร้อนกรณีอากาศภายนอกต่ำกว่าภายในอาคาร.....	66
ภาพที่ 36 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางวัน กรณีศึกษาที่ 1 .....	72
ภาพที่ 37 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางคืน กรณีศึกษาที่ 1 .....	72
ภาพที่ 38 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางวัน กรณีศึกษาที่ 2 .....	73
ภาพที่ 39 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางคืน กรณีศึกษาที่ 2.....	73
ภาพที่ 40 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางคืนหากปิดฉนวน กรณีศึกษาที่ 2.....	73
ภาพที่ 41 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางวัน กรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5 .....	74
ภาพที่ 42 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางคืน กรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5.....	74
ภาพที่ 43 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางคืนหากปิดฉนวน กรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5.....	74
ภาพที่ 44 การถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในอาคารและภายนอกอาคารตามทฤษฎี.....	85
ภาพที่ 45 แผนผังอาคารและโมเดลจำลองอาคาร .....	86
ภาพที่ 46 แสดงการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวันของฤดูร้อนและฤดูหนาว .....	92
ภาพที่ 47 แสดงการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางคืนของฤดูร้อน.....	92
ภาพที่ 48 แสดงการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางคืนของฤดูหนาว .....	92
ภาพที่ 49 แนวทางการเพิ่มพื้นที่หลังคาในอาคารสูง.....	93
ภาพที่ 50 แสดงการออกแบบหลังคามวลอุณหภาพด้วยการใช้ท่อน้ำไหลผ่านหลังคา .....	94

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง ( $T_C$ ) กรณีใช้งานอาคารสำนักงาน.....	40
แผนภูมิที่ 2 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง ( $T_C$ ) กรณีใช้งานอาคารพักอาศัย .....	43
แผนภูมิที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) กับ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในกล่องทดลอง( $T_C$ ).....	45
แผนภูมิที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) กับอุณหภูมิอากาศ เฉลี่ยภายในกล่องทดลอง ( $T_C$ ) .....	46
แผนภูมิที่ 5 อัตราการใช้พลังงานในรอบปีกรณีอาคารพักอาศัย (kWh/Year).....	56
แผนภูมิที่ 6 อัตราการใช้พลังงานในรอบปีกรณีอาคารสำนักงาน (kWh/Year).....	57
แผนภูมิที่ 7 ค่าไฟที่ใช้กรณีอาคารพักอาศัย (Baht/year).....	58
แผนภูมิที่ 8 ค่าไฟที่ใช้กรณีอาคารสำนักงาน (Baht/Year) .....	59
แผนภูมิที่ 9 สมรรถนะการประหยัดไฟกรณีอาคารพักอาศัย (%/year).....	60
แผนภูมิที่ 10 สมรรถนะการประหยัดไฟกรณีอาคารสำนักงาน (%/year).....	61
แผนภูมิที่ 11 ประมาณการค่าก่อสร้างหลังการณศึกษา (Baht).....	62
แผนภูมิที่ 12 อัตราคืนทุนค่าก่อสร้าง(โดยประมาณ) กรณีอาคารพักอาศัย (year).....	63
แผนภูมิที่ 13 อัตราคืนทุนค่าก่อสร้าง(โดยประมาณ) กรณีอาคารสำนักงาน (year).....	64
แผนภูมิที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย (kWh).....	65
แผนภูมิที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน (kWh) .....	65
แผนภูมิที่ 16 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 20 มีนาคม (W) .....	67
แผนภูมิที่ 17 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 21 มิถุนายน (W).....	68
แผนภูมิที่ 18 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 23 กันยายน (W).....	68
แผนภูมิที่ 19 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 21 ธันวาคม (W).....	69
แผนภูมิที่ 20 แสดงผลรวมพลังงานที่ไหลผ่านหลังคาตลอดทั้งปีในอาคารที่ปรับอากาศ (W).....	70
แผนภูมิที่ 21 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัย ในวันที่ 20 มีนาคม (kWh).....	76
แผนภูมิที่ 22 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ในวันที่ 20 มีนาคม (kWh).....	76
แผนภูมิที่ 23 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัย ในวันที่ 21 ธันวาคม (kWh) .....	77
แผนภูมิที่ 24 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ในวันที่ 21 ธันวาคม (kWh).....	77

แผนภูมิที่ 25 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบปรับอากาศวันจันทร์ – เสาร์.....	98
แผนภูมิที่ 26 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบปรับอากาศวันอาทิตย์.....	98
แผนภูมิที่ 27 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างวันจันทร์ – ศุกร์ .....	99
แผนภูมิที่ 28 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างวันเสาร์ - อาทิตย์ .....	99
แผนภูมิที่ 29 แสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันจันทร์ – ศุกร์.....	100
แผนภูมิที่ 30 แสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันเสาร์ .....	100
แผนภูมิที่ 31 แสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันอาทิตย์.....	100
แผนภูมิที่ 32 แสดงการตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันจันทร์ – ศุกร์ .....	101
แผนภูมิที่ 33 แสดงการตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันเสาร์ – อาทิตย์.....	101
แผนภูมิที่ 34 แสดงการตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันจันทร์ – ศุกร์ .....	102
แผนภูมิที่ 35 แสดงการตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันเสาร์ – อาทิตย์.....	102
แผนภูมิที่ 36 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบปรับอากาศวันจันทร์ – เสาร์.....	103
แผนภูมิที่ 37 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบปรับอากาศวันอาทิตย์.....	103
แผนภูมิที่ 38 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างวันจันทร์ – ศุกร์ .....	104
แผนภูมิที่ 39 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างวันเสาร์ - อาทิตย์ .....	104
แผนภูมิที่ 40 แสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันจันทร์ – ศุกร์.....	105
แผนภูมิที่ 41 แสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันเสาร์ – อาทิตย์.....	105
แผนภูมิที่ 42 แสดงการตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันจันทร์ – ศุกร์ .....	106
แผนภูมิที่ 43 แสดงการตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันเสาร์ - อาทิตย์ .....	106



# บทที่ 1

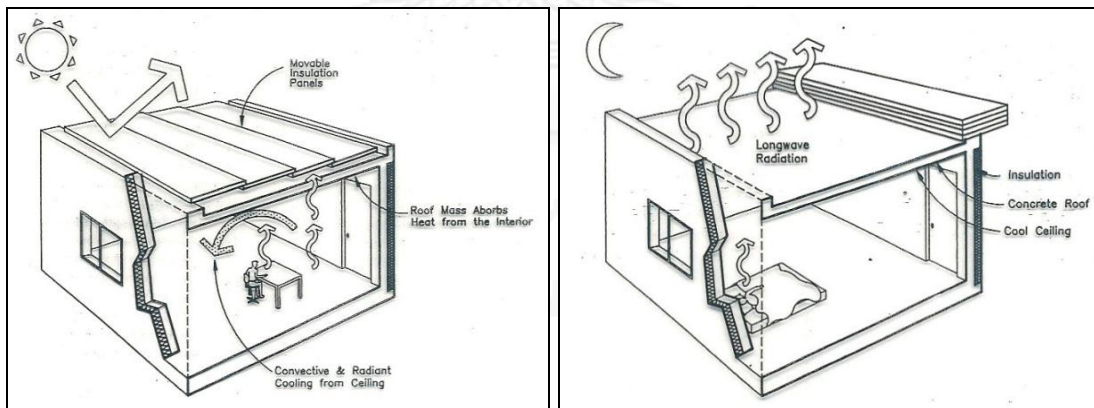
## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิภาคเขตร้อนชื้น มีปัญหาความร้อนสูงตลอดทั้งปี โดยเฉพาะเมืองใหญ่ที่มีอาคารสูง ถนนและกิจกรรมเมืองได้ดูดซับความร้อนและก่อปัญหาสภาวะไม่สบายให้แก่อาคาร การใช้พลังงานในการปรับอากาศเพื่อแก้ปัญหาที่นับวันยิ่งเพิ่มขึ้น สถาปนิกจึงให้ความสำคัญกับการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน ซึ่งแนวความคิดการออกแบบบางชนิดเป็นการนำจากต่างชาติเข้ามาใช้ โดยไม่ได้มีการศึกษาหรือวิจัยอย่างจริงจัง

Givoni, (1994) ได้ศึกษาและเสนอวิธีการออกแบบเพื่อลดความร้อนภายในอาคารโดยกระบวนการธรรมชาติด้วยวิธีต่างๆ เช่น การแผ่รังสีความร้อน การใช้มวลอุณหภาพ (Thermal mass) กักเก็บความร้อน การผสานระหว่างมวลอุณหภาพกับฉนวนกันความร้อน และการระบายอากาศ

แหล่งความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารมีทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคารเอง โดยภายนอกอาคารเกิดจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นหลัก ในขณะที่ภายในอาคารเกิดจากกิจกรรมและเครื่องใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้อาคาร การใช้ระบบที่สามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกและควบคุมอุณหภูมิภายในได้จึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่าในการออกแบบเพื่อประหยัดพลังงานให้กับอาคาร แนวคิดหนึ่งของ Givoni, (2011) ที่น่าสนใจคือการป้องกันความร้อนจากภายนอกด้วยฉนวนกันความร้อนและใช้มวลอุณหภาพในการดูดกลืนรังสีความร้อนจากการใช้งานของอาคารตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงระบบการทำงานของฉนวนเปิด-ปิด (movable insulation)

(ที่มา : Givoni, (1994))

การทำงานของระบบหลังคามวลอุณหภาพมีฉนวนเปิด-ปิดคือการใช้มวลอุณหภาพดูดกลืนความร้อนภายในอาคารช่วงเวลากลางวันให้ได้มากที่สุดและมีฉนวนหลังคาคอยกักความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ในขณะที่เวลากลางคืนจะเปิดฉนวนหลังคาออกเพื่อให้มวลอุณหภาพสามารถระบายความร้อนที่สะสมคืนสู่อากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในอาคาร

อย่างไรก็ตามการใช้งานของอาคารในเมืองปัจจุบันไม่อาจหลีกเลี่ยงการปรับอากาศภายในอาคารได้ จากการทดลองของ Breesch and Janssens, (2010) ที่ศึกษาสมรรถนะของการลดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยวิธีธรรมชาติ จากการใช้โปรแกรมสร้างสถานการณ์จำลองในอาคารประเภทสำนักงาน ในการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 กรณีศึกษา โดยสร้างห้องจำลองขึ้นมาทั้งหมด 3 ห้อง เรียงกันแล้วตั้งค่ามวลผนัง การตั้งตำแหน่งกระจก หลังคาที่ใช้ และกระบวนการเทคนิคในการระบายอากาศ การทดลองพบว่าการใช้อาคารที่มีมวล หลังคาที่สามารถระบายอากาศได้ จะช่วยสร้างสภาวะที่น่าอยู่ได้มากขึ้นอีกทั้งยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคารได้ ดังนั้นวิธีการออกแบบให้มีการลดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยวิธีธรรมชาติจึงเป็นหนทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้

เพื่อเป็นการนำแนวทางการออกแบบนี้มาใช้ได้อย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของไทย จึงต้องมีการศึกษาและวิจัยกระบวนการเหล่านั้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงเป็นการศึกษาสมรรถนะการลดอุณหภูมิ และสมรรถนะการลดพลังงานของอาคาร เพื่อเป็นความรู้และแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในอาคารก่อสร้างจริงหรือเป็นแนวทางการศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาสมรรถนะและความเหมาะสมของการใช้มวลอุณหภาพในหลังคาอาคาร
2. ศึกษาสมรรถนะการลดอุณหภูมิด้วยการออกแบบหลังคามวลอุณหภาพมีฉนวนหลังคาชนิดเปิด-ปิดในภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย
3. ศึกษาสมรรถนะในการประหยัดพลังงานของหลังคามวลอุณหภาพในอาคารที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ
4. ศึกษาแนวโน้มการลดอุณหภูมิภายในอาคารของมวลอุณหภาพว่ามีความสัมพันธ์อย่างไร

## 1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย

1. เป็นการศึกษาจากการสร้างแบบจำลองด้วยกล่องทดลองขนาด  $1 \times 1 \times 1$  m โดยแบ่งเป็น 5 กรณีศึกษา ภายใต้สภาพภูมิอากาศร้อนชื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครของประเทศไทย ในการเก็บข้อมูลจริงวันที่ 28 – 31 ธันวาคม 2556
2. เป็นการศึกษาจากการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยโมเดลจำลองอาคารประเภทตึกแถวขนาด  $4 \times 16$  m จำนวน 4 ชั้นต่อ 1 ยูนิต จำนวนทั้งหมด 10 ยูนิต

#### 1.4 สมมุติฐานการวิจัย

1. ความหนาแน่นของมวลอุณหภูมามีผลต่อสมรรถนะในการทำความเย็นด้วยวิธี ฉนวนหลังคาชนิดเปิด-ปิด
2. การเลือกใช้มวลอุณหภูมามีความหนาแน่นสูงควรมีสมรรถนะดีที่สุดในในการทำความเย็นด้วยวิธีฉนวนหลังคาชนิดเปิด-ปิด
3. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ต่างกันส่งผลต่อสมรรถนะในการทำความเย็นด้วยวิธีฉนวนหลังคาชนิดเปิด-ปิด
4. อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมีผลต่อสมรรถนะการลดอุณหภูมิด้วยการออกแบบหลังคา มวลอุณหภูมามีฉนวนหลังคาชนิดเปิด-ปิด

#### 1.5 สถานที่ทดลอง

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารสถาบัน 2-3 ซอย จุฬาฯ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10330 ชั้นที่ 5 ซึ่งเป็นดาดฟ้าอาคาร โดยการตั้งตำแหน่งของกล่องทดลอง จะใช้ตำแหน่งตรงลานดาดฟ้าที่ไม่มีเงาบดบังอันเนื่องจากอาคารข้างเคียงตลอดช่วงเวลา 6:00 น. – 18:00 น.

## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาหนังสือและเอกสารของ Givoni, (1994), Givoni, (2011), ไพฑูรย์ พิรานนท์, (2523), ญัฐพล จิรกาลวสาน, (2547), ทวี ฉิมอ้อย และ มนู เฟื่องฟุ้ง, (2541) และ สมพงษ์ใจดี, (2551) สามารถสรุปเป็นเนื้อหาสำคัญสำหรับงานวิจัยได้ดังนี้

#### 2.1 อุณหภูมิ

ความรู้สึกร้อนและความรู้สึกเย็นที่มนุษย์รับรู้คือการวัดระดับอย่างหนึ่งของอุณหภูมิ อีกทั้งความร้อนยังเป็นรูปหนึ่งของพลังงานเพื่อให้เกิดมิโนทัศน์ของอุณหภูมิจึงมักถูกกล่าวในระดับของความร้อน อย่างไรก็ตามประสาทสัมผัสของมนุษย์นั้นไม่สามารถบอกระดับได้อย่างแม่นยำ เพื่อให้ นักวิทยาศาสตร์จึงได้สร้างเครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิขึ้นซึ่งเรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์

สภาวะสองอย่างที่เกี่ยวกับอุณหภูมิคือ *สัมผัสความร้อน (Thermal contact)* และ *สมดุลความร้อน (Thermal Equilibrium)* ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

สัมผัสความร้อน คือการที่วัตถุสองชนิดขึ้นไปเช่น A และ B ที่มีอุณหภูมิต่างกันเมื่อนำมาวางชิดกันในกล่องที่บุฉนวนกันความร้อน วัตถุ A และ B จะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างกัน ซึ่งเรียกพลังงานที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ว่า *ความร้อน (Heat)* สภาวะที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าสัมผัสทางความร้อน

สมดุลความร้อน คือการที่วัตถุสองชนิดขึ้นไปเช่น A และ B อยู่ในสภาวะสัมผัสทางความร้อนที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งกันและกันหรือมีอุณหภูมิเท่ากัน ถ้าหากมีวัตถุสามชนิด A, B และ C ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาวางไว้ชิดกันในกล่องที่บุฉนวนกันความร้อน ถ้าวัตถุ A มีอุณหภูมิเท่ากับ B และวัตถุ B มีอุณหภูมิเท่ากับ C แล้ววัตถุ A กับ C จะถือว่าอยู่ในสภาวะสมดุลความร้อน

#### 2.2 เทอร์โมมิเตอร์และสเกลอุณหภูมิ

เทอร์โมมิเตอร์คือเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของระบบ โดยใช้สมบัติทางเทอร์โมเมตริกซ์ของสารตัวกลาง เพื่อให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิมีความเที่ยงตรง ต้องมีการเปรียบเทียบหรือตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์การวัดด้วยการนำไปแช่น้ำแข็งซึ่งมีอุณหภูมิ 0 °C

สเกลที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิมิทั้งหมดสามหน่วยเป็นหลักคือ องศาเซลเซียส (°C), ฟาเรนไฮต์ (°F) และ เคลวิน (K) ซึ่งมีสูตรคำนวณในการเทียบสเกลดังนี้

$$T = T_C + 273.15 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$T_C = (5/9)(T_F - 32) \quad \text{หรือ} \quad T_F = (9/5)(T_C + 32)$$

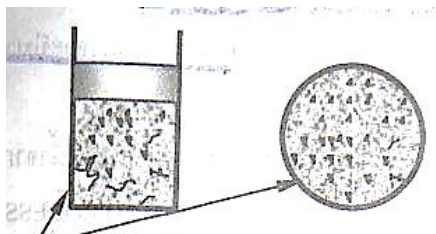
เมื่อ T เป็นการวัดในสเกลเคลวิน (K)

$T_C$  เป็นการวัดในสเกลเซลเซียส (°C)

$T_F$  เป็นการวัดในสเกลฟาเรนไฮต์ (°F)

### 2.3 ระบบปิดและระบบเปิดทางฟิสิกส์

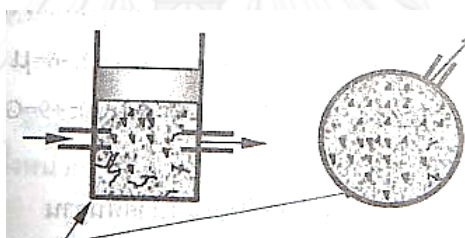
**ระบบปิด** คือระบบของขอบเขตที่กำหนดขึ้น ซึ่งมีมวลสารภายในระบบจำนวนเดิมและคงที่ แต่พลังงานต่างๆเข้าออกได้



ภาพที่ 2 รูปตัดระบบปิด

(ที่มา : อนุรักษ์ จีรกาลวสาน, (2547))

**ระบบเปิด** หรือปริมาตรควบคุมคือระบบของขอบเขตที่กำหนดขึ้น โดยมีมวลสารไหลเข้า-ออก ซึ่งมวลภายในระบบอาจมีการเปลี่ยนแปลงหรือเท่าเดิมแต่เป็นมวลสารใหม่มาแทนที่



ภาพที่ 3 รูปตัดระบบเปิด

(ที่มา : อนุรักษ์ จีรกาลวสาน, (2547))

**สิ่งแวดล้อม** คือสิ่งใดๆที่อยู่นอกขอบเขตหรือนอกปริมาตรควบคุม

### 2.4 ความร้อนและพลังงานความร้อน

พลังงานที่เกี่ยวข้องในเรื่องของพลังงานความร้อนมี "พลังงานภายใน (Internal Energy)" "พลังงานความร้อน (Thermal Energy)" และ "ความร้อน (Heat)"

พลังงานภายใน คือพลังงานทั้งหมดของระบบเมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ทั้งแบบเลื่อนตำแหน่งและหมุนเช่น พลังงานเคมี พลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานที่เกิดจากความเครียด

พลังงานความร้อน คือส่วนหนึ่งของพลังงานภายในที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบ

ความร้อน คือคำที่ใช้อธิบายการถ่ายเทพลังงานจากสิ่งหนึ่งไปยังอีกสิ่งหนึ่ง เป็น"การไหลของความร้อน" (Heat Flow) เป็นการถ่ายเทพลังงานจากวัตถุที่มีอุณหภูมิต่างกัน ดังนั้นความร้อนจึงเป็น

ค่าที่ใช้ในความหมายของพลังงานความร้อนและการส่งถ่ายพลังงานความร้อน หน่วยของปริมาณความร้อน (Q) คือแคลอรี (Calorie ; cal)

กิโลแคลอรี (Kg.cal) คือปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลน้ำ 1 Kg มีอุณหภูมิเพิ่มจาก 14.50 °C ไปเป็น 15.5 °C (1 Kg.cal = 10<sup>3</sup> cal) ในขณะที่หน่วยความร้อนแบบอังกฤษคือ BTU (British Thermal Unit ; BTU) ซึ่งหมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 lb (pound) มีอุณหภูมิเพิ่มจาก 63 °F เป็น 64 °F ทั้งนี้ 1 cal = 4.186 J

การส่งถ่ายพลังงานความร้อน (Thermal Energy Transfer) เป็นการส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งการส่งถ่ายพลังงานความร้อนนี้อาจทำให้พลังงานภายในของระบบเปลี่ยนแปลงหรือไม่ก็ได้

## 2.5 ความจุความร้อนและความร้อนจำเพาะ

เมื่อสารได้รับความร้อนอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นได้เสมอและเมื่อได้รับอุณหภูมิมากพอจะมีผลทำให้สารเกิดการเปลี่ยนสถานะ (Phase)

ความจุความร้อน (Heat Capacity ;  $c_p$ ) เป็นปริมาณของพลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิตั้งกับสารใดๆ เพิ่มขึ้น 1 °C ทั้งนี้สารแต่ละชนิดต้องการปริมาณพลังงานความร้อนไม่เท่ากัน เช่น น้ำ 1 g ต้องการ 1 cal ในการเพิ่มอุณหภูมิ 1 °C ส่วนคาร์บอน 1 g ต้องการ 0.12 cal ในการเพิ่มอุณหภูมิ 1 °C เป็นต้น

จากนิยามของความจุความร้อนสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Q = (m)(c_p)(dt) \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ Q คือปริมาณความร้อน (แคลอรี (cal))

m คือมวลของสาร (กรัม (g))

$c_p$  คือความจุความร้อน (แคลอรี/กรัม.เซลเซียส (cal/g.°C))

dt คืออุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนแปลง (เซลเซียส (°C))

## 2.6 ความร้อนแฝง

ความร้อนแฝง (Latent Heat) โดยธรรมชาติแล้วมวลสารต่างๆจะมีการเปลี่ยนแฝงของอุณหภูมิเสมอเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารกับสิ่งแวดล้อม ยกเว้นบางปรากฏการณ์ที่การเปลี่ยนแปลงความร้อนไม่มีผลต่ออุณหภูมิของสาร ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อสารมีการเปลี่ยนแปลงสถานะเช่น การเปลี่ยนจากน้ำเป็นน้ำแข็ง การเปลี่ยนรูปโครงสร้างผลึกของของแข็ง เป็นต้น

### 2.6.1 ตัวกลางแอเดียแบติก

คือตัวกลางสมมติที่ไม่ยอมให้ความร้อนผ่านได้เลย ซึ่งในทางธรรมชาติถือว่าไม่มีอยู่จริง

### 2.6.2 ตัวกลางไดอะเทอร์มิก

คือตัวกลางสมมติที่ยอมให้ความร้อนผ่านได้ทั้งหมด ซึ่งในทางธรรมชาติถือว่าไม่มีอยู่จริง

## 2.7 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน คือการไหลของพลังงานจากสิ่งหนึ่งไปอีกสิ่งหนึ่งเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

อัตราการถ่ายเทความร้อนคือ  $Q = (dq)/(dt)$  .....(2)

เมื่อ  $Q$  คือความร้อนทั้งหมด (แคลอรี (cal))

$dq$  คือความร้อนที่เปลี่ยนแปลง (แคลอรี (cal))

$dt$  คือช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง (วินาที (sec))

ความร้อนเข้าสู่ระบบ ใช้เครื่องหมาย +

ความร้อนออกจากระบบ ใช้เครื่องหมาย -

ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนมีดังนี้

การนำความร้อน เป็นการส่งผ่านพลังงานความร้อนด้วยการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระของสาร ไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ

การพาความร้อน เป็นการอาศัยของไหล(ไอหรือของเหลว)ในการพาไปโดยของไหล หากการไหลด้วยความเร็วยิ่งมากการพาความร้อนก็จะมาก

การแผ่รังสีความร้อน เป็นการแผ่รังสีด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถผ่านสุญญากาศได้และไม่ต้องการตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

## 2.8 การส่งรังสีของสีผิว

โดยปกติแล้วสารทุกชนิดในธรรมชาตินี้มีการแผ่รังสีตลอดเวลา ซึ่งค่าของการส่งรังสีผิว (emissivity) จะอยู่ที่ 0.6 ถึง 0.95 ส่วนผิวโลหะเงาจะมีค่าการส่งรังสีต่ำคือ 0.1 ค่าของการส่งรังสีจะตรงข้ามกับค่าของการสะท้อนรังสี และวัตถุดำคือวัตถุที่มีค่าการส่งรังสีที่ 1 ซึ่งเป็นวัตถุในอุดมคติที่สามารถส่งรังสีได้เต็มที่ 100% ทั้งนี้การส่งรังสีผิวและค่าการดูดกลืนรังสีผิวจะมีค่าเท่ากันขึ้นอยู่กับว่า ณ ช่วงเวลานั้นวัตถุเกิดการแผ่หรือดูดกลืนรังสีขึ้นในระบบ

## 2.9 กฎของอุณหพลศาสตร์

พลังงานความร้อนตามธรรมชาติมีกฎที่ควรเข้าใจอยู่สามข้อ

กฎข้อที่ศูนย์ของอุณหพลศาสตร์ (The Zeroth Law Thermodynamic) เมื่ออุณหภูมิของวัตถุ A = B และอุณหภูมิของวัตถุ B = C แสดงว่าอุณหภูมิของวัตถุ A = C

กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ (The First Law Thermodynamic) พลังงานจลน์สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานความร้อนสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ ซึ่งไม่มีการสูญหายไปในไหน

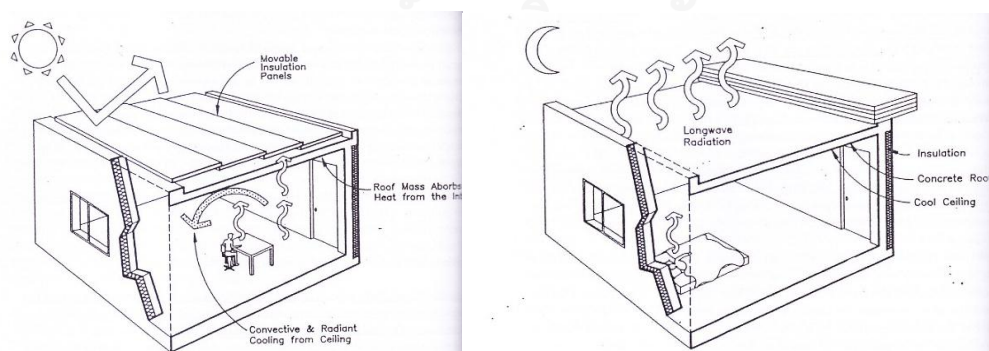
กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ (The Second Law Thermodynamic) พลังงานความร้อนไม่สามารถแปลงผันเป็นงานโดยสมบูรณ์ได้ เมื่อปราศจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งอื่น และวัฏจักรกัลปาวสานไม่สามารถเกิดขึ้นได้จริง

## 2.10 การทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี

วัสดุและรูปร่างของอาคารเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในอาคาร เพื่อลดความร้อนสะสมดังกล่าว ต้องเลือกใช้วัสดุหรือรูปร่างอาคารที่สามารถลดหรือป้องกันการสะสมรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ ทั้งนี้รังสีความร้อนที่สะสมในผิวผนังอาคารจะมีการถ่ายเทสู่พื้นที่อากาศโดยรอบเพื่อเข้าสู่สมดุลความร้อน ดังนั้นหากผิวผนังอาคารมีอุณหภูมิสูงอากาศโดยรอบก็จะสูงตาม หากผิวผนังอาคารมีอุณหภูมิต่ำอากาศโดยรอบก็จะลดต่ำตาม ดังนั้นในการทำความเย็นให้กับอาคารด้วยการแผ่รังสีมีหลักการคือให้ผิวผนังอาคารส่วนใดส่วนหนึ่งสะสมความร้อนในช่วงเวลากลางคืน เพื่อใช้ในการดูดกลืนรังสีความร้อนให้ได้มากที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ด้วยหลักการสมดุลความร้อน ทั้งนี้ผิวผนังอาคารดังกล่าวอาจเป็นส่วนใดของอาคารก็ได้ โดยผิวผนังที่ใช้ในการสะสมและดูดกลืนรังสีความร้อนนี้เรียกว่า “มวลอุณหภาพ (Thermal mass)”

## 2.11 มวลอุณหภาพประกอบด้วยฉนวนกันความร้อนเปิด-ปิด

ในการออกแบบมวลอุณหภาพมีฉนวนกันความร้อนเปิด-ปิดมีหลักการทำงาน คือตลอดช่วงเวลาใช้งานกลางวัน มวลอุณหภาพจะดูดกลืนรังสีความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนความเย็นที่สะสมจะถูกระบายสู่อากาศภายนอกอาคารซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในอาคาร เมื่อมวลอุณหภาพเย็นลงจะสามารถดูดกลืนรังสีความร้อนใหม่ได้ในวันต่อไป ทั้งนี้เพื่อให้มวลดังกล่าวสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังคาต้องมีการบุฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอกเพื่อไม่ให้มวลอุณหภาพเกิดการสะสมความร้อนเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ หลักการนี้มวลอุณหภาพที่ใช้ต้องสามารถสะสมความร้อนและดูดกลืนรังสีที่แผ่ออกมาจากกิจกรรมภายในอาคารได้ จากงานวิจัยของ Givoni, (1994) วัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานคือคอนกรีตและฉนวนน้ำ

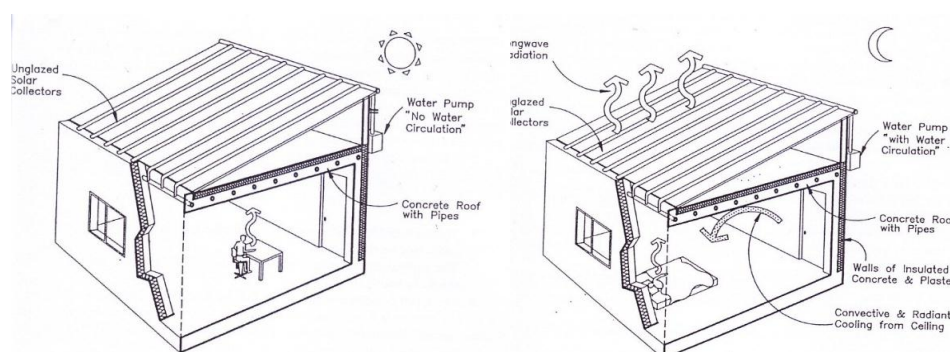


ภาพที่ 4 หลักการทำงานของระบบมวลอุณหภาพมีฉนวนกันความร้อนเปิด-ปิด

(ที่มา : Givoni, (1994))



อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุที่เป็นมวลเบา (lightweight) จะไม่สามารถนำมาใช้เป็นมวลอุณหภาพในการกักเก็บความร้อนให้กับระบบได้ เพราะมีค่าการดูดกลืนรังสีที่ไม่เพียงพอและไม่สามารถสะสมความร้อนได้มากพอ ดังนั้นมวลอุณหภาพที่เลือกใช้ควรเป็นวัสดุที่มีมวลมากและมีฉนวนป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงกลางวัน เพื่อให้ระบบสามารถเก็บความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารให้ได้มากที่สุด



ภาพที่ 5 แสดงการออกแบบหลังคามวลอุณหภาพด้วยการใช้ท่อน้ำไหลผ่านหลังคา

(ที่มา : Givoni, (1994))

จากภาพที่ 5 มีหลักการทำงานคือน้ำใช้เป็นมวลอุณหภาพโดยบรรจุอยู่ในท่อน้ำที่ฝังลงในหลังคาโดยเดินท่อนสองชั้นคือหลังคาส่วนบนและใต้ฝ้าเพดาน ในช่วงเวลากลางวันจะปล่อยน้ำเดินที่ได้ฝ้าเพดานอาคาร มวลน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศของอาคารจะแผ่รังสีความร้อนและดูดกลืนรังสีความร้อนที่เกิดจากกิจกรรมภายในอาคารไว้ ในส่วนของหลังคาชั้นบนจะคอยป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์เอาไว้ไม่ให้แผ่เข้ามาภายในอาคาร ในเวลากลางคืนระบบปั้มน้ำจะปั้มน้ำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำในท่อนส่วนบนของหลังคา เพื่อนำความร้อนที่สะสมเอาไว้ไปแผ่รังสีกลับสู่ห้องฟ้าซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า เป็นการทำให้มวลน้ำสะสมความร้อนสำหรับการใช้งานในวันต่อไป

## 2.12 การแผ่รังสีกลับสู่บรรยากาศ

ชั้นบรรยากาศของโลกประกอบด้วยไนโตรเจน (N) 78% ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) 21% และธาตุอากาศอื่นๆอีก 1% ด้วยสารประกอบเหล่านี้ทำให้โลกสามารถดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์และสะสมพลังงานความร้อนในชั้นบรรยากาศได้ โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ที่สามารถดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ 15  $\mu\text{m}$  ดังนั้นแล้วชั้นบรรยากาศของโลกจึงสามารถใช้เป็นพื้นที่ในการดูดกลืนความร้อนออกจากอาคารด้วยวิธีการแผ่รังสีได้ จากทฤษฎีสมดุลความร้อนและการถ่ายเทความร้อนช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมวลอุณหภาพกับชั้นบรรยากาศคือช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากมีอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศที่ต่ำกว่ามวลอุณหภาพ

### 2.13 การแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศด้วยการพาความร้อน

คอนกรีต ถูผนัง มวลอุณหภูมิลดลงเหล่านี้นำมาใช้ในการสะสมพลังงานความร้อนของอาคาร ซึ่งในการออกแบบต้องสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศในเวลากลางคืนได้ วิธีการออกแบบโดยใช้ท่อลมเดินผ่านมวลอุณหภูมิตั้งไว้ในช่วงเวลากลางคืน เพื่อให้ความเร็วลมสัมผัสกับมวลอุณหภูมิตั้งไว้เป็นการใช้หลักการพาความร้อนเพื่อจากมวลอุณหภูมิตั้งไว้สู่อากาศภายนอกได้

### 2.14 การนำพลังงานการแผ่รังสีมาใช้

การใช้หลักการสูญเสียความร้อนจากมวลอุณหภูมิตั้งไว้แผ่รังสี เพื่อมาเป็นแหล่งความเย็นให้กับอาคารนั้นอยู่ภายใต้สองเงื่อนไขคือ พลังงานรังสีความร้อนทั้งหมดที่สูญเสียจากมวลอุณหภูมิตั้งไว้และการดูดกลืนความร้อนจากอุณหภูมิตั้งไว้ของอากาศได้มวลอุณหภูมิตั้งไว้

พลังงานรังสีความร้อนทั้งหมดที่สูญเสียจากมวลอุณหภูมิตั้งไว้เกิดจากความสมดุลของอุณหภูมิตั้งไว้ระหว่างสามสิ่งนี้

1. การแผ่รังสี ของผิวมวลอุณหภูมิตั้งไว้
2. การดูดกลืนรังสีจากชั้นบรรยากาศ ของมวลอุณหภูมิตั้งไว้
3. การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัตถุแผ่รังสีกับอากาศ

### 2.15 การลดอัตราการสูญเสียความร้อนออกจากวัตถุ

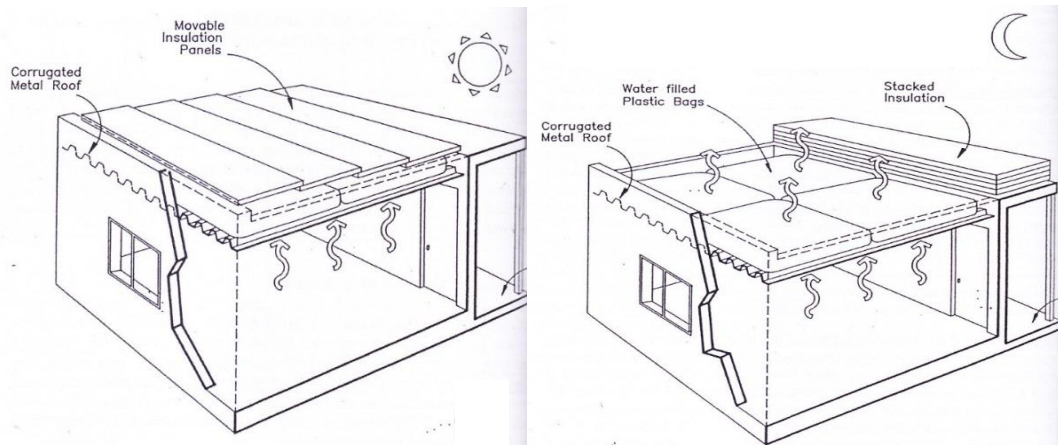
สามารถทำได้สองวิธีคือ

1. การออกแบบมีที่บังลมเพื่อลดการดูดความร้อนจากอากาศภายนอกที่ร้อนกว่าภายในอาคาร
2. เลือกผิววัตถุแผ่รังสีที่มีช่วงการดูดกลืนความยาวคลื่นที่ 8 ถึง 13  $\mu\text{m}$  และสะท้อนแสงรังสีคลื่นยาวและคลื่นสั้น (รังสีดวงอาทิตย์)

### 2.16 หลักการจากงานทดลองและงานวิจัย

Skytherm ถูกพัฒนาโดย Hay และ Yellott, (1969) เป็นระบบที่ใช้หลังคาเหล็กแผ่นแล้วปูทับด้วยถุงพลาสติกบรรจุน้ำซึ่งใช้เป็นมวลอุณหภูมิตั้งไว้ให้กับอาคาร ซึ่งในการทดลอง Skytherm มีงานทดลองที่ Arizona และ California

ในการทดลองอาคารทดลองที่ Arizona ประเทศสหรัฐอเมริกา มีขนาด 3 x 3.6 m ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกบุฉนวน Polyurethane หนา 1.5” ใช้หลังคา Steel sheets มีน้ำเป็นมวลอุณหภูมิตั้งไว้ในอาคาร ผลการใช้งานพบว่าภายในอาคารมีอุณหภูมิตั้งไว้ในช่วง 20 ถึง 27.8 °C และมีค่าสูงสุดที่ 43.3 °C ในช่วงฤดูร้อน



ภาพที่ 6 การทำงานของ Skytherm

(ที่มา : Givoni, (1994))

อีกการทดลองหนึ่งที่ California ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นอาคารที่ออกแบบโดย Hay หลังคาใช้ Steel deck plates และมีฉนวนน้ำเป็นมวลอุณหภาพ มวลอุณหภาพถูกบุงนนวนไว้และควบคุมการเปิด-ปิดด้วยมอเตอร์ดังภาพที่ 6 เพื่อควบคุมการแผ่รังสีความเย็นและดูดกลืนรังสีความร้อน ผลการทดลองพบว่าภายในอาคารมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 ถึง 23 C°

สรุปการออกแบบระบบ Skytherm ถึงแม้จะสามารถช่วยควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารได้แต่พบปัญหาหลักสำคัญสองประการคือ

1. การติดตั้งฉนวนกันความร้อนพร้อมมอเตอร์มีราคาแพงและใช้งานได้ยากเพราะการเลือกเวลาเปิด-ปิดต้องเป็นไปตามสภาพท้องฟ้า
2. ต้องมีการบำรุงดูแลรักษามอเตอร์เสมอ

Gunny bags on grid



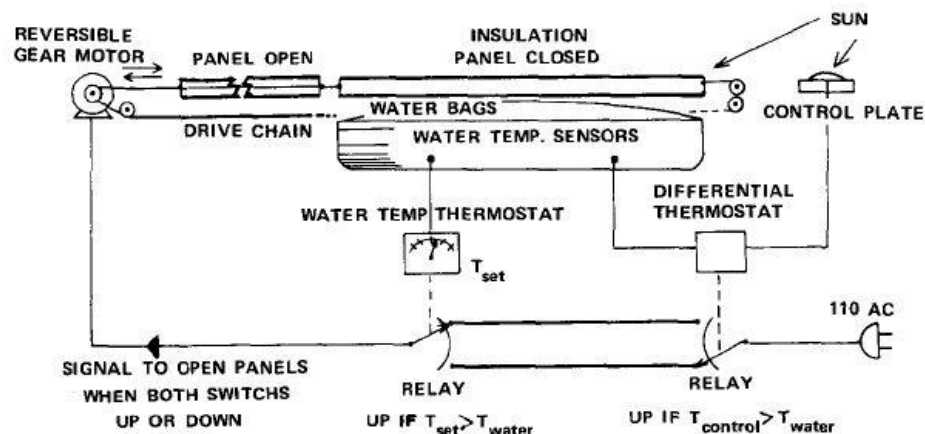
ภาพที่ 7 รูปตัดหลังคาน้ำประกอบฉนวนในงานวิจัยของ R. Tang และ Y. Etzion

(ที่มา : Tanga และ Etzion, (2005))

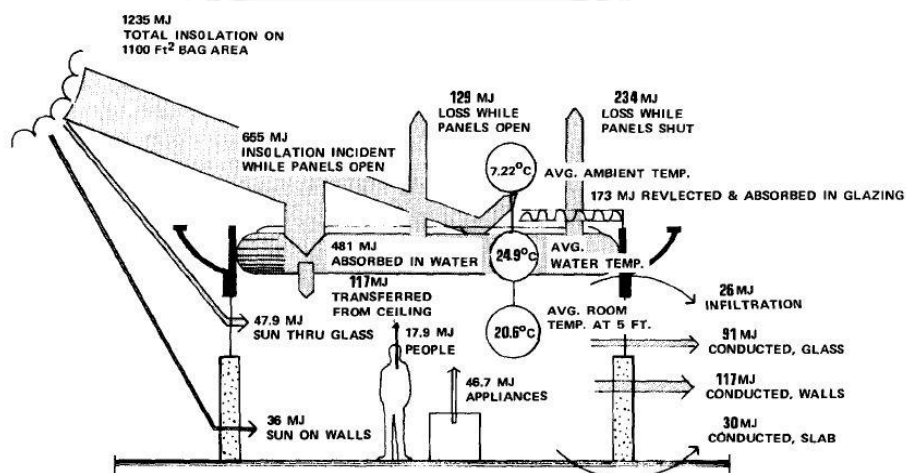
จากงานวิจัยของ Tanga และ Etzion, (2005) ได้ออกแบบการทดลองโดยเปรียบเทียบระหว่างหลังคามวลอุณหภาพที่เป็นถุงน้ำกับหลังคามวลอุณหภาพที่เป็นถุงน้ำมีฉนวนเปิด-ปิด จำลองการใช้งานในอาคารที่ประกอบด้วยผนังดังนี้

1. อาคารที่ใช้ผนังคอนกรีต หลังคาคอนกรีต บุด้วยฉนวนกันความร้อน
2. อาคารที่ใช้ผนังเบา หลังคาเหล็ก และไม่บุฉนวนกันความร้อน
3. อาคารที่ใช้ผนังคอนกรีต หลังคาเหล็ก และบุฉนวนกันความร้อน

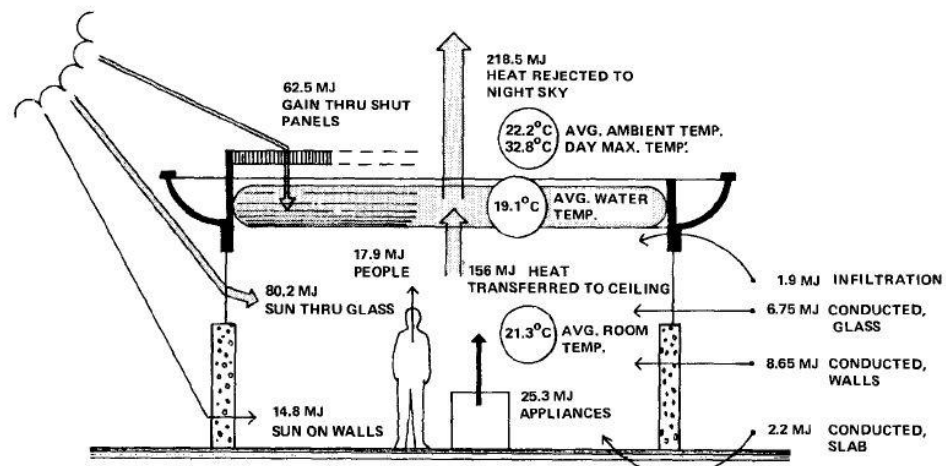
เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าหลังคามวลอุณหภาพที่เป็นถุงน้ำพร้อมบุฉนวนกันความร้อนแบบเปิด-ปิดจะกันความร้อนได้ดีกว่าอีกกรณีที่ไม่ได้หุ้มฉนวนกันความร้อนไว้



ภาพที่ 8 ระบบเปิด-ปิดฉนวนหลังคาในงานวิจัยของ Philip W. B. Niles



ภาพที่ 9 การถ่ายเทความร้อนช่วงฤดูร้อนจากงานวิจัยของ Philip W. B. Niles



ภาพที่ 10 การถ่ายเทความร้อนช่วงฤดูหนาวจากงานวิจัยของ Philip W. B. Niles

(ที่มาภาพที่ 8 - 10 : Philip W. B. Niles, (1976))

Philip W. B. Niles, (1976) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากมวลสะสมในส่วนต่างๆของอาคารหลังคามวลอุณหภูมามีฉนวนกันความร้อนชนิดเปิด-ปิดที่ California ประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยการวัดค่าการส่งถ่ายอุณหภูมิตามผนัง พื้น และหลังคาเพื่อตรวจสอบการถ่ายโอนอุณหภูมิจริงที่เกิดขึ้นภายในอาคาร พบว่าแหล่งความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร มาได้จากส่วนของหลังคา ผู้ใช้อาคาร อุปกรณ์ภายในอาคาร ในฤดูร้อนการส่งถ่ายอุณหภูมิจากอากาศภายในห้องถูกดูดความร้อนเข้าไปสะสมในมวลอุณหภูมามีฉนวนที่ต่ำกว่า แล้วส่งต่อสู่อากาศภายนอกในเวลากลางวันซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่ามวลอุณหภูมิตามภาพที่ 9 ในช่วงฤดูหนาวมวลอุณหภูมิต้องเปิดไว้ในช่วงเวลากลางวันเพื่อสะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์มาทำความอบอุ่นให้กับภายในอาคารตามภาพที่ 10 ดังนั้นแล้วการออกแบบมวลอุณหภูมิต้องมีฉนวนเปิด-ปิด ต้องใช้อย่างถูกต้องเหมาะสมตามสภาพแวดล้อม จึงจะมีสมรรถนะการใช้งานที่ดีที่สุด

Chandra, Kaushik, และ Kaushik, (1984) ได้วิจัยบ้านจำลองขนาด  $6 \times 5 \times 4$  m ที่ New Delhi ในประเทศอินเดีย โดยติดตั้งหลังคาสามชนิดคือ หลังคาเปลือย หลังคาบ่อน้ำ หลังคาบ่อน้ำประกอบฉนวน พบว่าหลังคาบ่อน้ำประกอบฉนวนสามารถช่วยลดอุณหภูมิได้ดีที่สุด 3 ถึง  $4^{\circ}\text{C}$  จากอุณหภูมิอากาศ

Tiwari, Kumar, และ Sodha, (1982) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้น้ำในการลดอุณหภูมิด้วยหลังคาบ่อน้ำ หลังคาประกอบด้วยฉนวนไม่มีฉนวน และสเปรย์น้ำไหลบนหลังคา พบว่าการใช้หลังคาบ่อน้ำจะมีสมรรถนะดีที่สุด งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ฉนวนหากไม่มีการบุฉนวนกันความร้อนแล้วจะด้อยสมรรถนะกว่าการใช้บ่อน้ำ

อีกงานวิจัยหนึ่งที่เปรียบเทียบการใช้น้ำพร้อมฉนวนเปิด-ปิด กับฉนวนพร้อมฉนวนเปิด-ปิด ซึ่งเป็นงานวิจัยของ R. Tang และ E. Erell เป็นการทดลองกับกล่องจำลองขนาด  $117 \times 117 \times 22$  cm ใช้ฉนวน Polystyrene หนา 5 cm เป็นผนังและพื้น ใช้ Polystyrene หนา 2.75 cm เป็นฉนวนแผ่นปิดหลังคา ผลการทดลองพบว่าให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่บ่อน้ำจะพบปัญหาปริมาณน้ำหาย

เนื่องจากการระเหย และเกิดความชื้นขึ้นที่แผ่นฉนวนกันความร้อน ดังนั้นการเลือกใช้ฉนวนน้ำพร้อมฉนวนเปิด-ปิด จึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการใช้บ่อน้ำพร้อมฉนวนเปิด-ปิด

#### 2.18 สรุปภาพรวมวิธีการแผ่รังสีความเย็นด้วยหลังคามวลอุณหภูมิมฉนวนเปิด-ปิด

การออกแบบเพื่อให้เกิดการแผ่รังสีความเย็นสู่อาคารนั้น ตัวอาคารต้องมีมวลอุณหภูมิต่ำเพียงพอต่อการกักเก็บอุณหภูมิจากความเย็นและสะสมความร้อน การบุฉนวนให้มวลอุณหภูมิต่ำเพื่อควบคุมการแผ่และดูดกลืนรังสีความร้อนของมวลอุณหภูมิจากอาคาร และการระบายความร้อนจะทำได้เฉพาะช่วงเวลากลางคืนเท่านั้น เพื่อให้มวลอุณหภูมิต่ำสามารถสะสมความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารในช่วงเวลากลางวันได้ ดังนั้นการออกแบบฉนวนปิดมวลอุณหภูมิจึงต้องอยู่ภายนอกอาคารและต้องสามารถเปิด-ปิดฉนวนด้วยตัวเองได้ ซึ่งสามารถเลือกใช้มอเตอร์และการออกแบบเสมือนบานเลื่อนในการใช้งานเปิด-ปิดแผ่นฉนวนดังกล่าวได้

#### 2.19 การคำนวณผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ

ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH, density-specific heat product) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$DSH = (\rho)(c_p)(dx) \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ DSH คือผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (kJ/(m<sup>2</sup>.°C))

$\rho$  คือความหนาแน่นของมวลสาร (kg/m<sup>3</sup>)

$c_p$  คือความร้อนจำเพาะของมวลสาร (kJ/(kg.°C))

$dx$  คือความหนาของมวลสาร (m)

โดยผลของ DSH จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มระหว่างอุณหภูมิภายในกล่องทดลองกับค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะในแผนภูมิที่ 3 ของบทที่ 4

## 2.20 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)

เพื่อให้การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) เป็นค่าที่ได้จากมวลของหลังคา จึงออกแบบกล่องทดลองให้ยกเหนือพื้น 12 cm และเลือกใช้ฉนวน Polystyrene เป็นส่วนประกอบของผนังและพื้นกล่องทดลอง จากภาพที่ 11 และ 12 สามารถอธิบายได้ว่าพลังงานความร้อน (Q) ส่งผ่านเข้ามาจากทุกทิศทางโดยมีการส่งผ่านจากทางหลังคามากที่สุดและถือว่ารังสีความร้อนที่ส่งผ่านมาจากผนังและพื้นมีค่าน้อยมาก

ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วพลังงานความร้อนที่เข้าไปเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง ( $T_A - T_{out}$ ) จะถือว่าเท่ากับพลังงานความร้อนที่เข้าไปเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของมวล ( $T_{m2} - T_{m1}$ ) ดังนั้นเราสามารถสรุปออกมาเป็นสมการได้ดังนี้

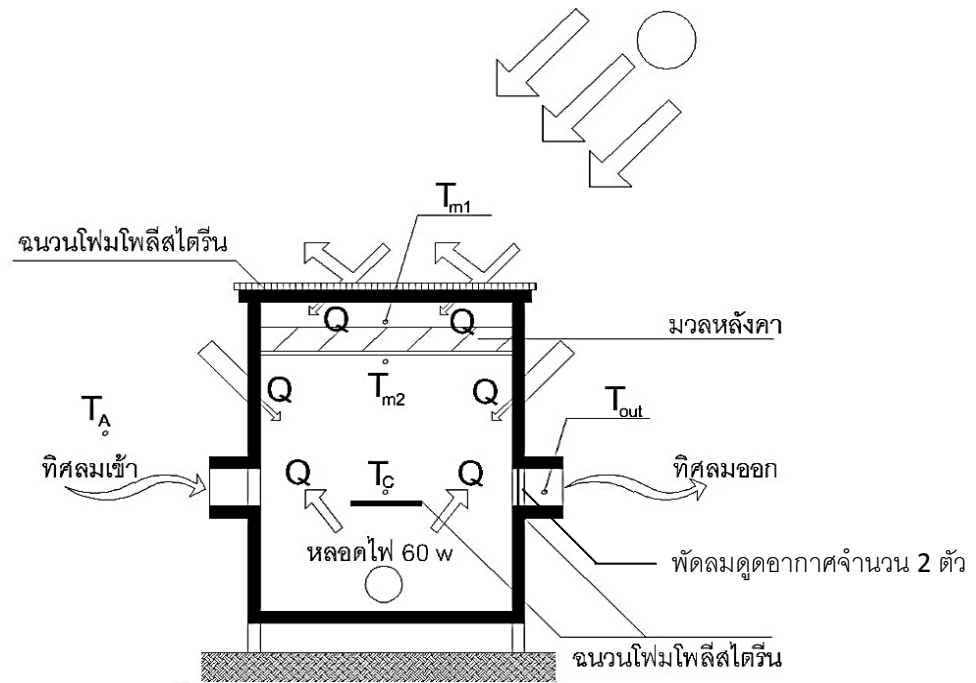
$$Q = (U)(A)(dt_1) + (w)(3.4121) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$Q = (1.08)(CFM)(dt_2) \quad \dots\dots\dots(5)$$

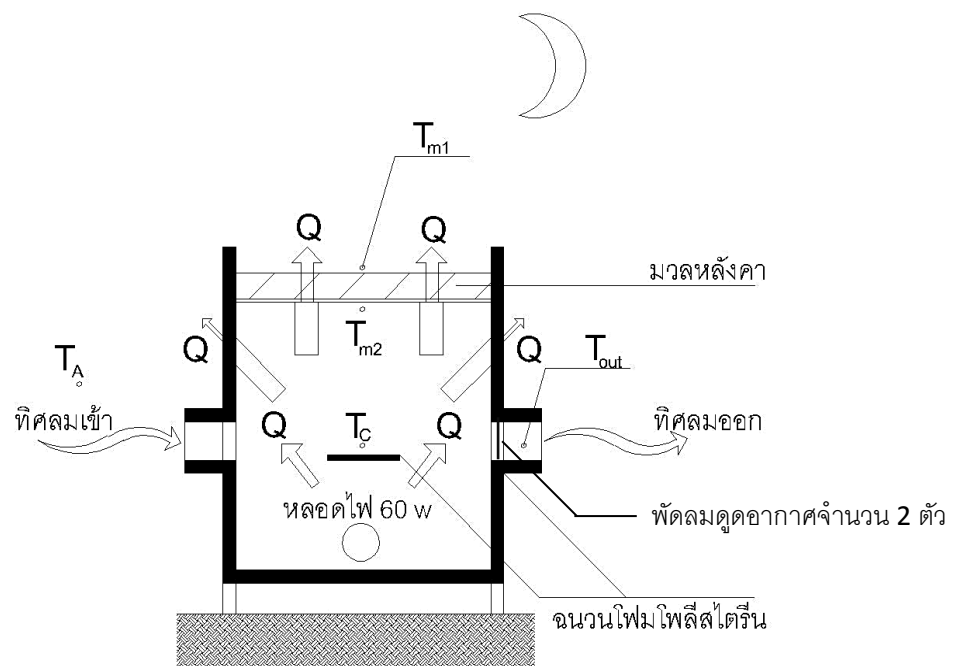
ซึ่งสมการที่ (4) = (5)

เมื่อ	Q	คือพลังงานความร้อน (kJ)
	U	คือค่าการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ( $w/m^2 \cdot ^\circ C$ )
	A	คือพื้นที่หลังคา ( $m^2$ )
	CFM	คือปริมาตรลมที่ถ่ายเทต่อนาที ( $m^3/min$ )
	$dt_1$	คือค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของ $T_A - T_{out}$ ( $^\circ C$ )
	$dt_2$	คือค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของ $T_{m2} - T_{m1}$ ( $^\circ C$ )
	w	คือพลังงานของหลอดไฟ (W) ; ( $1 W = 3.412 \text{ Btu/hr} = 19.374 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ C$ )
	$T_{out}$	คืออุณหภูมิอากาศวัด ณ จุดอากาศออกกล่อง ( $^\circ C$ )
	$T_{m1}$	คืออุณหภูมิผิวหลังคาวัด ณ จุดเหนือหลังคาของกล่อง ( $^\circ C$ )
	$T_{m2}$	คืออุณหภูมิผิวหลังคาวัด ณ จุดใต้หลังคาของกล่อง ( $^\circ C$ )
	$T_A$	คืออุณหภูมิอากาศภายนอก ( $^\circ C$ )

โดยผลของค่า U จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มระหว่างอุณหภูมิภายในกล่องทดลองกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในแผนภูมิที่ 4 ของบทที่ 4



ภาพที่ 11 แสดงการส่งผ่านความร้อนในส่วนต่างๆของกล่องทดลองในช่วงเวลากลางวัน



ภาพที่ 12 แสดงการส่งผ่านความร้อนในส่วนต่างๆของกล่องทดลองในช่วงเวลากลางคืน



## 2.21 ภาพรวมงานวิจัยเมื่อเทียบกับงานวิจัยที่มีมาแล้ว

งานวิจัยชิ้นนี้สามารถสรุปเป็นภาพรวมการทดลองได้ดังนี้

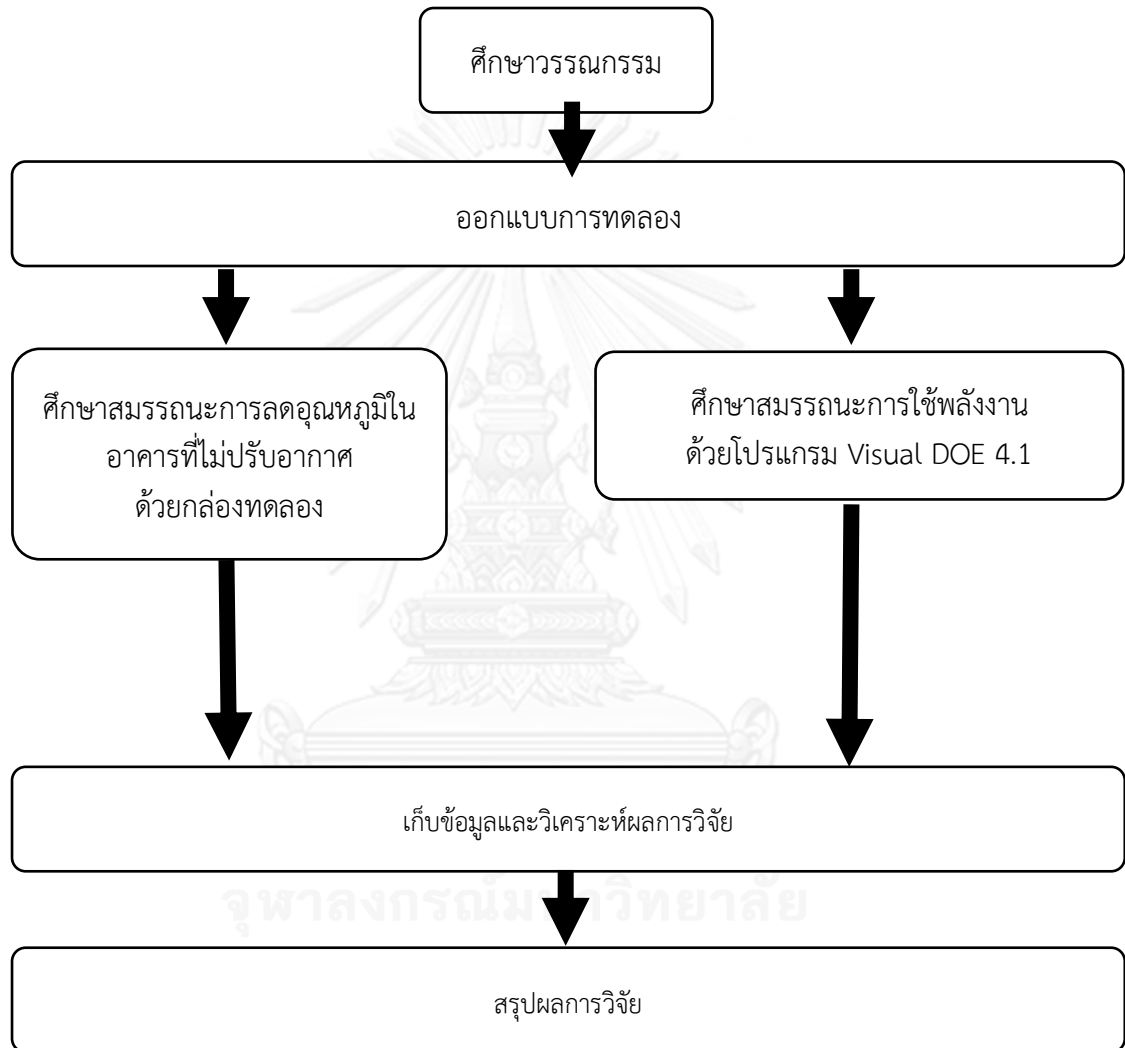
ตารางที่ 1 แสดงภาพรวมการทดลองในงานวิจัยชิ้นนี้เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่มีมาแล้ว

อ้างอิง	การวิจัย	สิ่งที่วิจัยเพิ่ม
Givoni, (1994)	หลังคามวลอุณหภูมิมี่ฉนวนเปิด-ปิด ทดลองในเขตหนาวและเขตร้อน-แห้ง ซึ่งวิจัยในส่วนของอาคารที่ไม่ได้ปรับอากาศ โดยจากการทดลองสรุปเป็นภาพรวมได้ว่า มวลอุณหภูมิตที่เหมาะสมสำหรับอาคารคือคอนกรีต และฉนวนน้ำ	1. ทำการวิจัยในเขตภูมิอากาศของไทยซึ่งเป็นเขตร้อน-ชื้น 2. วิจัยการใช้พลังงานในอาคารที่มีการปรับอากาศ 3. หาแนวโน้มการลดอุณหภูมิที่ได้จากหลังคามวลอุณหภูมิตที่เกิดขึ้น
Hay และ Yellott, (1969)	สร้างอาคารจำลองขนาด 3.6 x 3.6 x 3.2 m เพื่อวิจัยสมรรถนะของหลังคามวลอุณหภูมิต โดยใช้บ่อน้ำ มีฉนวนเปิด-ปิดได้	4. การนำไปประยุกต์ใช้งานภายใต้ภูมิอากาศของไทยตามการวิจัย
Tanga และ Etzion, (2005)	ทดลองหลังคามวลอุณหภูมิมี่ฉนวนเปิดปิด โดยเทียบระหว่างมวลอุณหภูมิตที่เป็นบ่อน้ำกับฉนวน พบว่าฉนวนจะให้ประสิทธิภาพดีกว่าในการลดอุณหภูมิ เนื่องจากความชื้นที่เกิดขึ้นจะลดการแผ่รังสีได้	
Philip W. B. Niles, (1976)	ทดลองการเปิด-ปิดฉนวนของหลังคามวลอุณหภูมิตเพื่อสรุปพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในฤดูหนาวและฤดูร้อน พบว่าการเปิดปิดฉนวนควรเป็นไปตามความต้องการใช้งานภายในและภายนอก	

บทที่ 3  
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การวิจัยกล่องทดลอง

3.1.2 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย



### 3.1.3 การออกแบบกล่องทดลอง

จากการศึกษาทฤษฎีตามที่ได้กล่าวในบทที่สองนั้น สามารถสรุปเป็นการออกแบบกล่องทดลองได้ดังนี้

เลือกใช้ระบบเปิดในการออกแบบกล่องทดลองเพื่อให้มวลอากาศภายในกล่องมีการหมุนเวียนแลกเปลี่ยนกับภายนอก หากใช้ระบบปิดในการออกแบบกล่องจะทำให้มวลสารภายในอุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดการสะสมภายในจนค่าอุณหภูมิภายในกล่องสูงเกินกว่าที่ควรจะเป็นและเพื่อให้สามารถนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ตามสมการที่ (4) และ (5) ได้

ขนาดกล่องทดลองเลือกใช้ขนาด  $1 \text{ m}^3$  เพื่อง่ายต่อการคำนวณ ผนังและพื้นเลือกใช้วัสดุที่มีความเป็นฉนวน โดยในที่นี้ผู้วิจัยเลือกใช้ polystyrene ความหนา 5 cm ยกฐานลอยเหนือพื้นสูง 12 cm เพื่อป้องกันการนำความร้อนจากพื้นหลังคาคอนกรีตตาดฟ้าอาคารที่ทำการทดลองสู่ตัวกล่องทดลองโดยตรง

ฉนวนเปิด-ปิดหลังคาเลือกใช้ polystyrene เป็นฉนวนติดประกอบกับหลังคาแผ่นเหล็ก และใช้แรงคนในการเปิดหรือปิดฉนวนตามเวลาที่กำหนดคือ เปิดฉนวน 8:01 – 18:00 น. ปิดฉนวน 18:01 – 7:59 น.)

### 3.1.4 การคัดเลือกวัสดุใช้ในงานวิจัยและออกแบบกล่องทดลอง

ตัวแปรสำคัญสำหรับงานวิจัยกล่องทดลองนี้คือคุณสมบัติของมวลอุณหภาพ ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติดังนี้คือ วัสดุมวลมาก (คอนกรีต) วัสดุมวลเบาเมื่อเทียบกับคอนกรีต (โฟมเบอร์ซีเมนต์) วัสดุที่เป็นของเหลว (น้ำ)

เนื่องจากต้องมีการควบคุมให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกล่องเกิดจากส่วนของหลังคา จึงเลือกใช้ polystyrene ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความเป็นฉนวนสูงมาใช้เป็นส่วนของผนังและพื้นของกล่อง

เพื่อเป็นการจำลองสภาพกล่องทดลองให้เสมือนจริงมากที่สุด จึงมีการติดตั้งหลอดไส้ขนาด 60 W จำนวนหนึ่งหลอดภายในกล่องทดลองตามรูปแบบงานวิจัยของ Hay และ Yellott, (1969) ที่ใช้หลอดไฟ 60 W จำนวน 3 หลอดต่อกล่องทดลองขนาด  $3.6 \times 3.6 \times 3.2 \text{ m}$  (1 หลอดต่อปริมาตรกล่องทดลอง  $1.3 \text{ m}^3$ ) ทั้งนี้เวลาการเปิด-ปิดหลอดไฟจะอ้างอิงตามช่วงเวลาการใช้งานแบบอาคารใช้งานกลางวันและอาคารใช้งานกลางคืนดังนี้

อาคารสำนักงานเป็นอาคารประเภทใช้งานกลางวัน จำลองโดยเปิดหลอดไส้ขนาด 60 W ทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนภายในอาคารช่วงเวลา 8:01 น. ถึง 18:00 น. และปิดไฟช่วงเวลา 18:01 น. ถึง 8:00 น.ในวันถัดไปโดยการทดลองกรณีอาคารสำนักงานจะวัดค่าตั้งแต่วันที่ 28 – 29 ธันวาคม 2556

อาคารพักอาศัยเป็นอาคารประเภทใช้งานกลางคืน จำลองโดยเปิดหลอดไส้ขนาด 60 W ทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนภายในอาคารช่วงเวลา 18:01 น. ถึง 24:00 น. และปิดไฟช่วงเวลา 0:01 น. ถึง 18:00 น.ในวันถัดไปโดยการทดลองกรณีอาคารพักอาศัยจะวัดค่าตั้งแต่วันที่ 30 – 31 ธันวาคม 2556

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติวัสดุ

วัสดุ	หน้าที่	DSH (kJ/(m <sup>2</sup> .C))	คุณสมบัติวัสดุ		
			k (W/(m.C))	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/(kg.C))
คอนกรีต	มวลอุณหภาพ	2,208.00	1.442	2400	0.92
ไฟเบอร์ซีเมนต์	มวลอุณหภาพ	1297.80	0.084	1260	1.03
น้ำ (บรรจุขวดพลาสติกใส (PET) ขนาด 900 ml)	มวลอุณหภาพ	1000.80	0.58	1000	1
polystyrene	ฉนวนกันความร้อน	19.36	0.037	16	1.21

\*ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจากตารางที่ 2 อ้างอิงจากราชกิจจานุเบกษา, (2552 ,20 กุมภาพันธ์)

### 3.1.5 การแบ่งกรณีศึกษาทดลอง

ในการวิจัยเชิงทดลองทางผู้วิจัยได้ออกแบบกรณีศึกษาเป็น 5 กรณี ตามตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 สรุปการออกแบบกรณีศึกษากล่องทดลอง

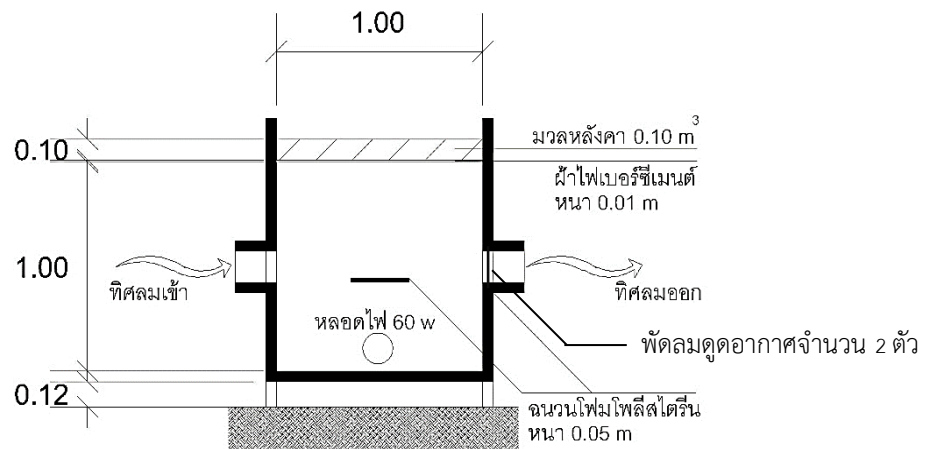
กรณีศึกษา	มวลอุณหภาพ	เวลาเปิด ฉนวน	เวลาปิด ฉนวน	เวลาเปิดไฟ กรณีจำลอง อาคารพักอาศัย	เวลาเปิดไฟ กรณีจำลอง อาคารสำนักงาน	ปริมาตร ของมวล อุณหภาพ ที่ใช้ (m <sup>3</sup> )
1	คอนกรีต	ไม่มีฉนวน				0.10
2	ไม่มีมวลสาร					-
3	น้ำ	18:01-8:00	8:01-18:00	18:00-24:00	8:01-18:00	0.10
4	คอนกรีต					0.10
5	ไฟเบอร์ซีเมนต์					0.10

มวลอุณหภาพคอนกรีต ผู้วิจัยเลือกใช้สูตรการหล่อคอนกรีตในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน ในสัดส่วน 1:2:4 ใช้ปริมาณน้ำ 60% ของปริมาตรคอนกรีตที่ผสม และใช้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์กับ polystyrene เป็นแบบสำหรับหล่อมวลคอนกรีต

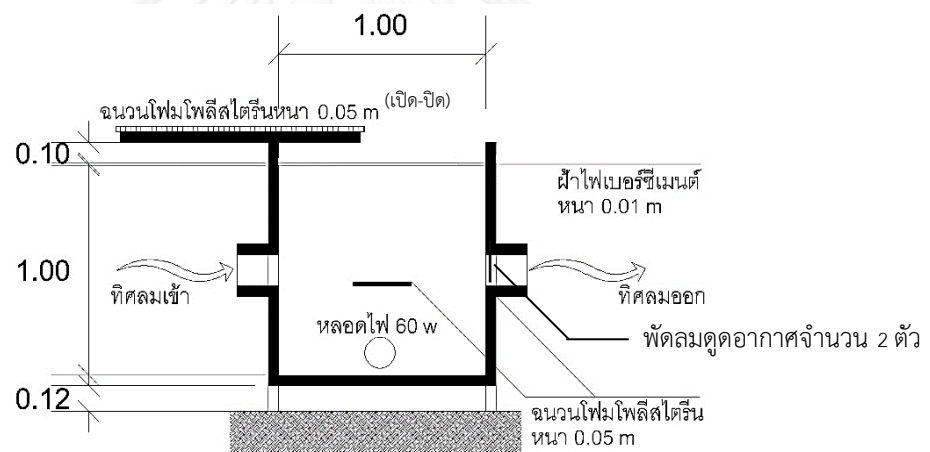
มวลอุณหภาพน้ำใช้วิธีบรรจุขวดพลาสติกใส (PET) ขนาด 900 mml ทั้งหมด 111 ขวด เพื่อให้มีปริมาตรอยู่ที่ 99.9 l หรือ 0.09 m<sup>3</sup> สำหรับการใช้งาน

มวลอุณหภาพไฟเบอร์ซีเมนต์ สั่งซื้อเป็นแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ตราช่างตัดขนาด 1 x 1 m.หนา 1 mm. วางเรียงซ้อนกัน 10 แผ่นเพื่อให้มีปริมาตรอยู่ที่ 0.10 m<sup>3</sup>

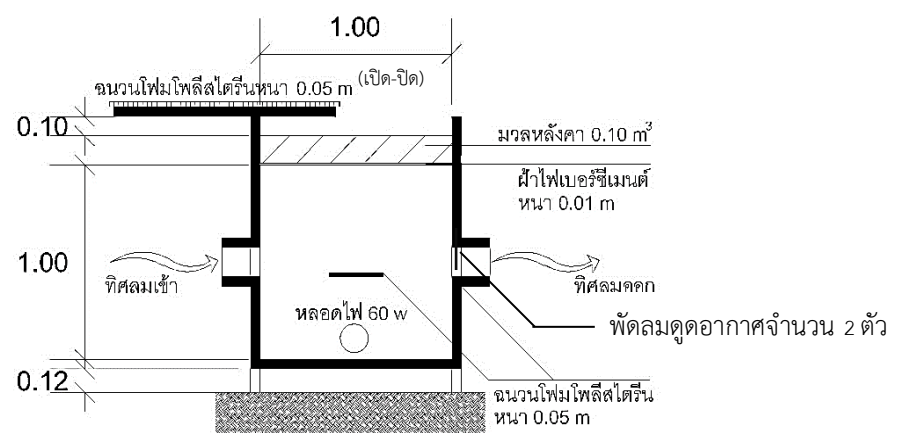
## 3.1.6 ขนาดและสัดส่วนกล่องทดลอง



ภาพที่ 13 แสดงสัดส่วนขนาดกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 1



ภาพที่ 14 แสดงสัดส่วนขนาดกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 15 แสดงสัดส่วนขนาดกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 3-5

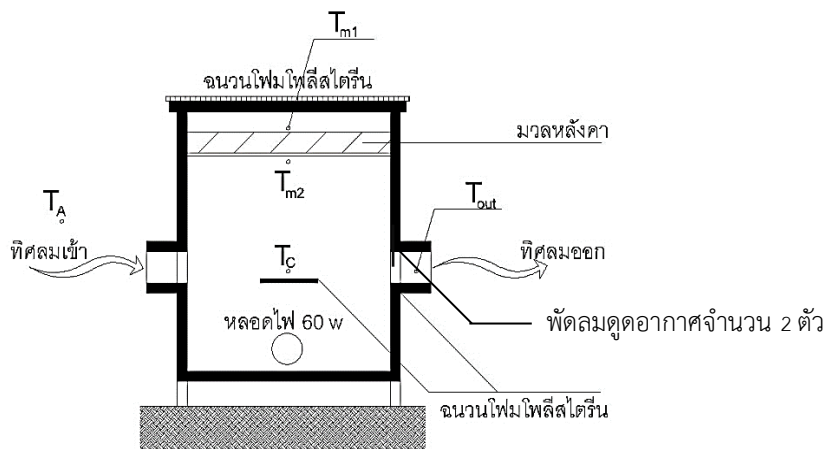
ตารางที่ 4 แสดงภาพกรณีศึกษาและกล่องทดลอง

กรณีศึกษา	ภาพกล่องทดลอง	ปริมาตรมวลอุณหภาพ ( $m^3$ )
1. หลังคาคอนกรีต รวมหนา 10 cm (Base line)		0.10
2. หลังคาฉนวนเปิด-ปิด ไม่มีมวล (No mass)		0.00
3. หลังคาฉนวนเปิด-ปิด มวลน้ำ รวมหนา ประมาณ 10 cm (Water bottles)		0.099 $\cong$ 0.10
4. หลังคาฉนวนเปิด-ปิด มวลคอนกรีต รวมหนา 10 cm (Concrete)		0.10
5. หลังคาฉนวนเปิด-ปิด มวลไฟเบอร์ซีเมนต์ รวมหนา 10 cm (Fiber cement)		0.10

### 3.1.7 การเก็บและวัดค่าอุณหภูมิ

ในการเก็บข้อมูลได้ทำการเก็บค่าอุณหภูมิทั้งหมด 25 จุดด้วย 12 Channels Temperature recorder และตรวจวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย Solar power meter โดยวัดเป็นกรณีศึกษาละ 5 จุดคือ  $T_c$ ,  $T_{out}$ ,  $T_{m1}$ ,  $T_{m2}$  และ  $T_A$  ตามภาพที่ 16 เปิดฉนวนหลังคาช่วงเช้าเวลา 8:01 - 18:00 น. ปิดฉนวนหลังคาช่วงกลางวันเวลา 18:01 - 8:00 น.

โดยค่า  $T_{out}$ ,  $T_{m1}$ ,  $T_{m2}$  และ  $T_A$  จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ตามสมการที่ 4 และ 5 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของการลดอุณหภูมิของกล่องทดลอง




ภาพที่ 16 แสดงตำแหน่งการเก็บอุณหภูมิของกล่องทดลอง

เมื่อ

$T_c$	คืออุณหภูมิอากาศวัด ณ จุดกึ่งกลางกล่อง (C)
$T_{out}$	คืออุณหภูมิอากาศวัด ณ จุดอากาศออกกล่อง (C)
$T_{m1}$	คืออุณหภูมิผิวหลังคาวัด ณ จุดเหนือหลังคาของกล่อง (C)
$T_{m2}$	คืออุณหภูมิผิวหลังคาวัด ณ จุดใต้หลังคาของกล่อง (C)
$T_A$	คืออุณหภูมิอากาศภายนอก (C)

## 3.1.7.1 อุปกรณ์ที่ใช้

ตารางที่ 5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในงานทดลอง

อุปกรณ์	หน้าที่
<p>12 Channels Temperature recorder</p> 	<p>วัดอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล (ยี่ห้อ Lutron รุ่น BTM-4208SD)</p>
<p>Thermocouple Type K</p> 	<p>สายวัดอุณหภูมิ</p>
<p>หลอดไส้ ขนาด 60 w</p> 	<p>แหล่งความร้อนภายในกล่องทดลอง (ยี่ห้อ Philips ขนาด 60 W)</p>
<p>Solar power meter</p> 	<p>วัดพลังงานแสงอาทิตย์ (ยี่ห้อ Lutron รุ่น SPM-1116SD)</p>
<p>พัดลมคอมพิวเตอร์ขนาดมาตรฐาน จำนวน 2 เครื่อง/กล่อง</p> 	<p>สร้างอากาศหมุนเวียนภายในกล่อง (ยี่ห้อ Shengshida ขนาด 12V 0.15A CFM 20.89 Ft<sup>3</sup>/min)</p>



### 3.1.8 ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัย

#### 3.1.8.1 ตัวแปรต้น

1. หลังคากล่องทดลองมีทั้งหมด 5 กรณีดังนี้
  - a. กรณีศึกษาที่ 1 กรณีเปรียบเทียบ (Base line)
  - b. กรณีศึกษาที่ 2 ไม่มีมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (No mass)
  - c. กรณีศึกษาที่ 3 มีมวลน้ำเป็นมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (Water bottle)
  - d. กรณีศึกษาที่ 4 มีมวลคอนกรีตเป็นมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (Concrete)
  - e. กรณีศึกษาที่ 5 มีมวลไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (Fiber cement)
2. ช่วงเวลาการเปิด-ปิดไฟกล่องทดลองโดยแบ่งเป็นสองประเภทคือ
  - a. เปิดไฟช่วงเวลา 8:01 น. ถึง 18:00 น. และปิดไฟช่วงเวลา 18:01 น. ถึง 8:00 น. (การจำลองใช้งานกลางวัน)
  - b. ปิดไฟช่วงเวลา 8:01 น. ถึง 18:00 น. และเปิดไฟช่วงเวลา 18:01 น. ถึง 8:00 น. (การจำลองใช้งานกลางคืน)

#### 3.1.8.2 ตัวแปรตาม

อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งการวัด (C)

#### 3.1.8.3 ตัวแปรควบคุม

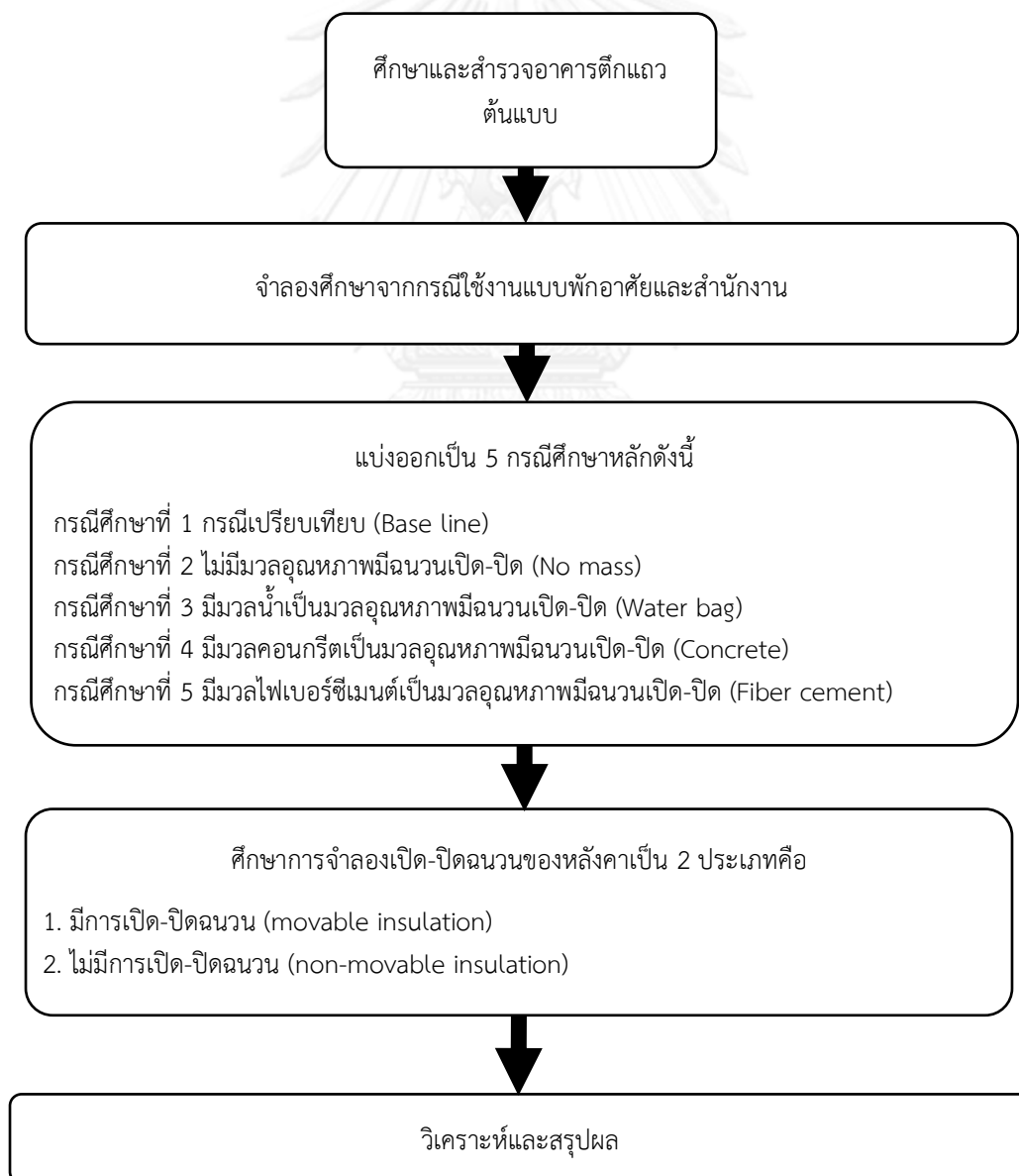
1. สถานที่ทดลอง
2. ขนาดและวัสดุกล่องทดลอง
3. ระยะเวลาในการทดลอง
4. ตำแหน่งวัดค่าอุณหภูมิภายในกล่อง
5. สถานที่ทดลอง
6. สภาพท้องฟ้าในช่วงเวลาทดลอง
7. หลอดไฟขนาด 60 W
8. ช่วงเวลาการเปิด-ปิดฉนวนของกรณีศึกษาที่ 2, 3, 4 และ 5

### 3.2 การวิจัยการจำลองการใช้พลังงาน

#### 3.2.1 การวิจัยการใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธีการออกแบบหลังคามวลอุณหภูมิมีฉนวนชนิดเปิด-ปิด

การออกแบบอาคารด้วยมวลอุณหภูมิมีฉนวนชนิดเปิด-ปิด เป็นแนวคิดที่นำมาพัฒนาการทำความเย็นให้กับอาคารด้วยวิธีทางธรรมชาติ (passive cooling) อย่างไรก็ตามอาคารในปัจจุบันมีการใช้เครื่องปรับอากาศเกือบทุกอาคาร จึงได้ทำการศึกษาสมรรถนะในการลดพลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมจำลอง Visual DOE 4.1 ซึ่งจากงานวิจัยของ Don A. York, Eva F. Tucker, และ Capiello, (1980) ได้ทำการวิจัยแล้วว่าสามารถใช้โปรแกรม Visual DOE ในการศึกษาแนวโน้มการใช้พลังงานได้ใกล้เคียงความจริง

การออกแบบกรณีศึกษาการจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 สามารถสรุปเป็นแผนผังได้ดังนี้

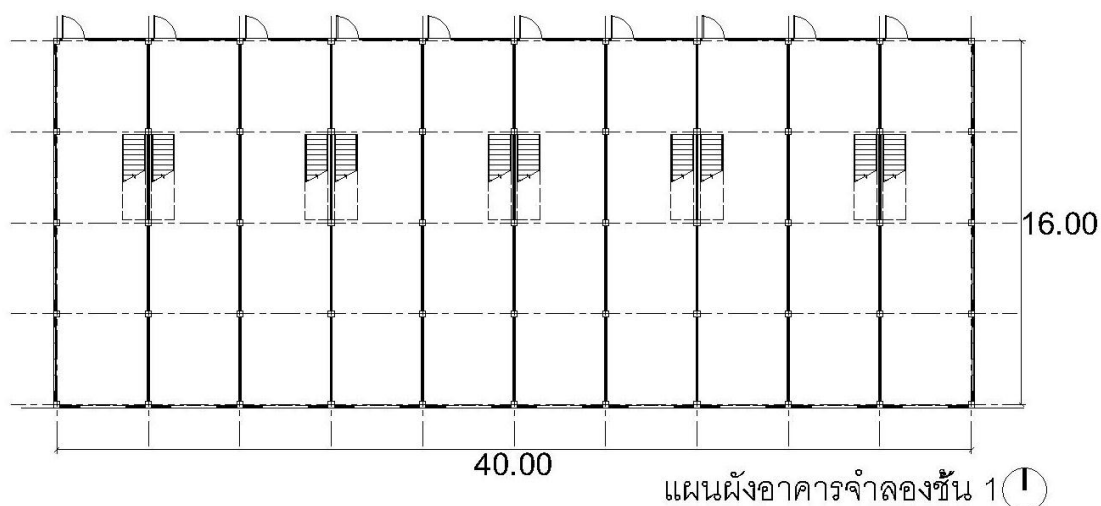


ในการศึกษาพลังงานด้วยโปรแกรมจำลองนี้จะศึกษาประเด็นหลักดังนี้

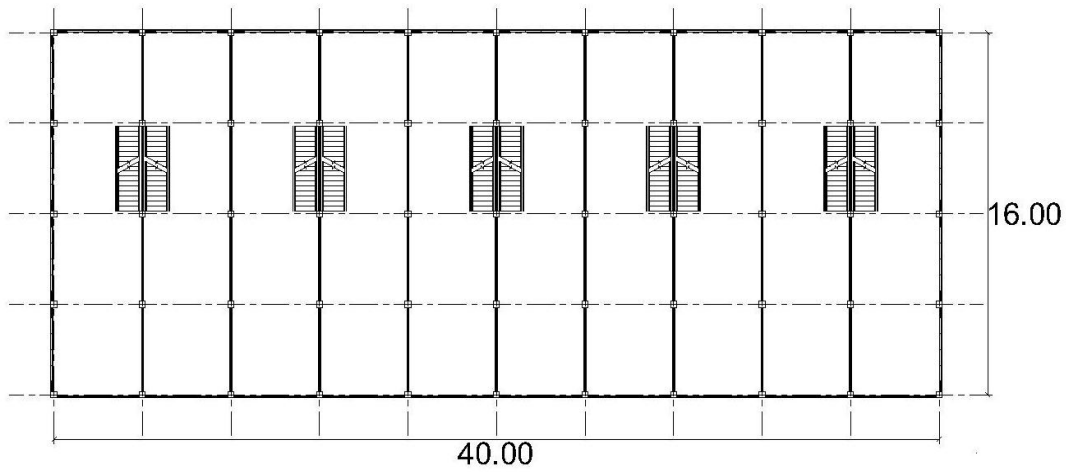
1. ศึกษาสมรรถนะการลดพลังงานของมวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิดเมื่อเทียบกับกรณีเปรียบเทียบ (Baseline)
2. ศึกษาระยะเวลาการคืนทุนของหลังคามวลอุณหภูมิมีฉนวนชนิดเปิด-ปิดเมื่อเทียบกับกรณีเปรียบเทียบ (Baseline)
3. ศึกษาสมรรถนะการลดพลังงานระหว่างมีการเปิด-ปิดฉนวนกับไม่มีการเปิด-ปิดฉนวนของหลังคามวลอุณหภูมิมีฉนวน

### 3.2.2 อาคารอ้างอิงสำหรับงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจอาคารตึกแถวบริเวณ ถนนเจริญนคร ซอยเจริญนคร 24 และซอยเจริญนคร 13 เขตคลองสาน กทม. ซึ่งเป็นเขตที่มีผู้อยู่อาศัยเป็นอาคารตึกแถวจำนวนมาก ด้วยวิธีเข้าไปสำรวจภายในอาคารที่ทางผู้วิจัยสามารถขอเข้าไปสำรวจได้ โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 3 คูหา และในส่วนของคูหาอื่นทำการสำรวจจากภายนอกเท่านั้น จากการสำรวจสามารถสรุปเป็นแบบอาคารตามภาพที่ 17 - 21 และใช้วัสดุตามตารางที่ 3 อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยจะยึดจากโครงสร้างหลักมาใช้อ้างอิงในการขึ้นอาคารจำลองเพื่อการวิจัยเท่านั้น ในกรณีที่มีส่วนต่อเติมอันเนื่องมาจากผู้อยู่อาศัยทางผู้วิจัยจะไม่นับเป็นส่วนที่นำมาใช้ในการอ้างอิงสร้างแบบจำลองด้วย Visual DOE 4.1 ในงานวิจัยชิ้นนี้ เพราะต้องการจำลองจากสภาพโดยทั่วไปที่ควรจะเป็นของอาคารตึกแถวในตอนเริ่มแรกก่อสร้าง

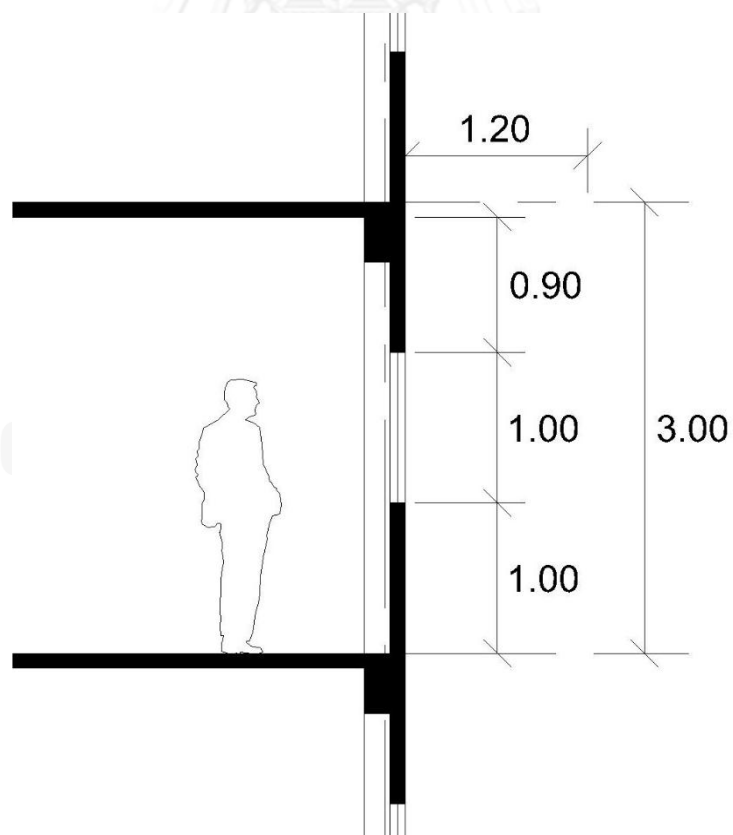


ภาพที่ 17 ผังอาคารตึกแถวชั้น 1 ที่ได้ทำการสำรวจ

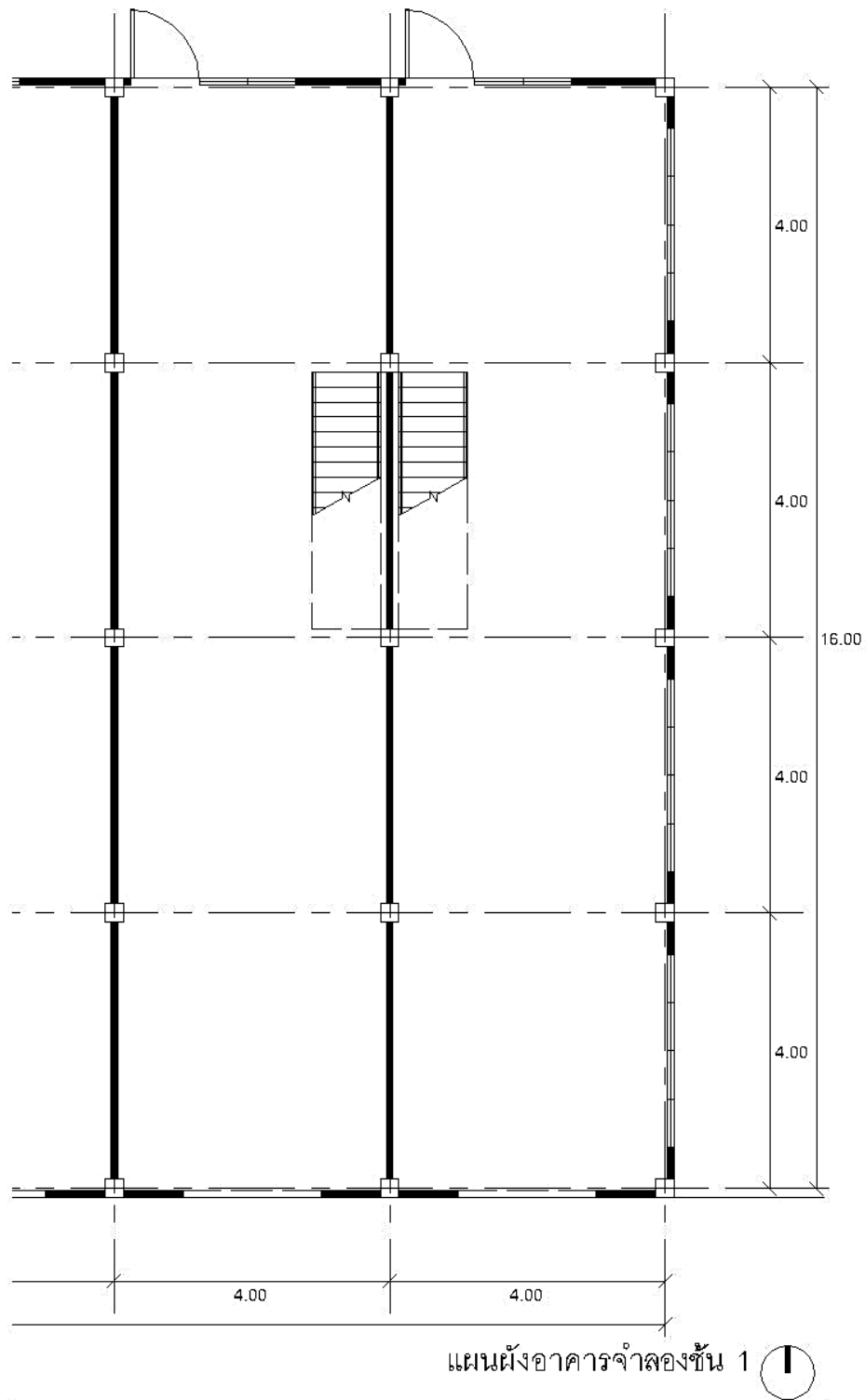


แผนผังอาคารจำลองชั้น 2-4 ①

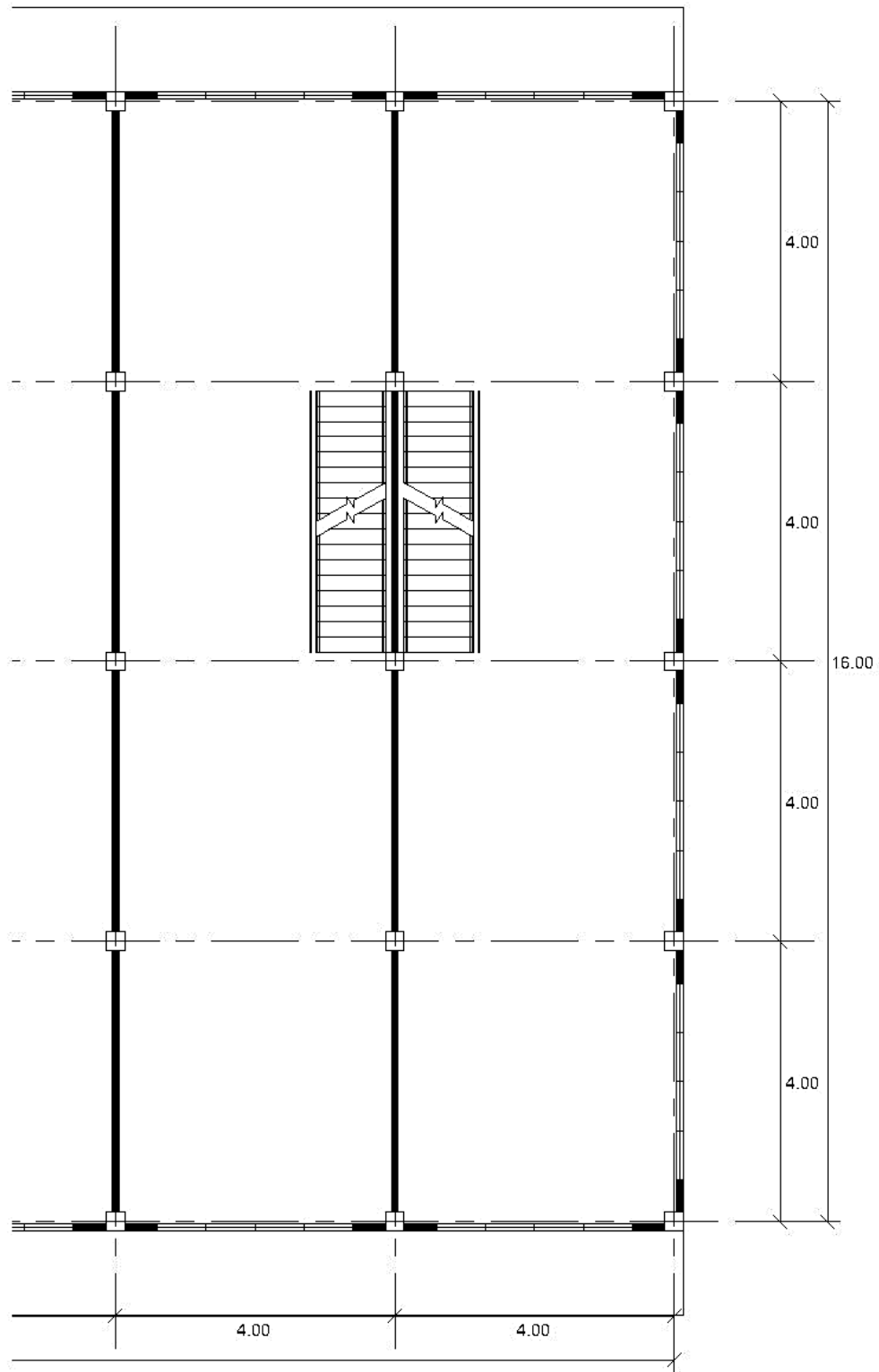
ภาพที่ 18 ผังอาคารตึกแถวชั้น 2-4 ที่ได้ทำการสำรวจ



ภาพที่ 19 รูปตัดแสดงสัดส่วนความสูงของช่องเปิดอาคารจำลอง



ภาพที่ 20 แสดงแผนผังอาคารจำลองชั้น 1



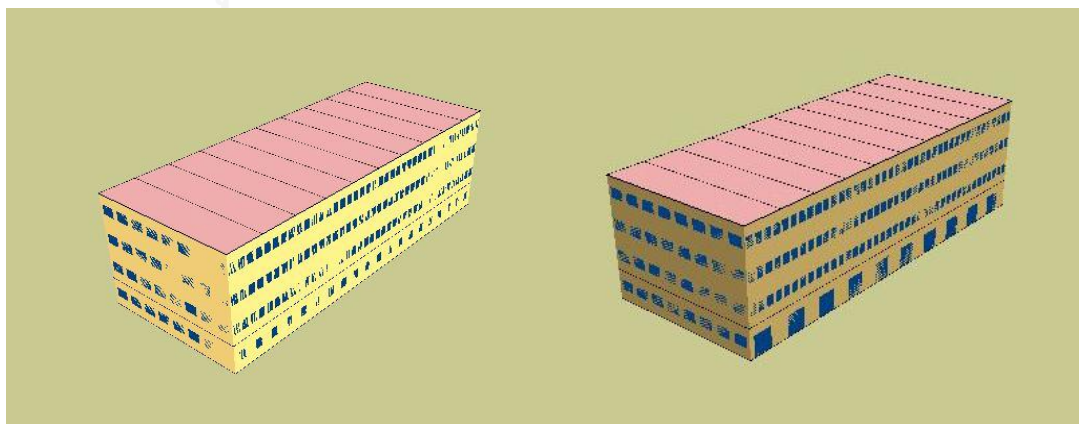
แผนผังอาคารจอดรถชั้น 2-4 ①

ภาพที่ 21 แสดงแผนผังอาคารจอดรถชั้น 2 - 4



ภาพที่ 22 หน้าอาคารตึกแถวที่ทำการสำรวจ  
(บ้านเลขที่ 53 ซอยเจริญนคร 13 ถนนเจริญนคร เขตคลองสาน แขวงคลองตันไทร กทม. 10600)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 23 ภาพโมเดลการจำลองอาคารด้วย Visual DOE 4.1

### 3.2.3 การใช้งานอาคาร

ในอาคารที่ได้เข้าสำรวจนั้น พบว่าทั้งหมด 40 คูหาเป็นอาคารตึกแถวที่ใช้งานแบบพักอาศัย ทั้งหมดอย่างไรก็ตามจากการศึกษาจากวรรณกรรมต่างๆ พบว่าอาคารตึกแถวสามารถใช้งานทั้งเป็นอาคารพักอาศัยและอาคารประเภทสำนักงาน ดังนั้นในการจำลองการทดลองทั้งกรณีศึกษากล่องทดลองและการจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 ทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองเป็น 2 ประเภทการใช้งานอาคาร คืออาคารพักอาศัยเป็นการใช้งานกลางวัน และอาคารสำนักงานเป็นการใช้งานกลางวัน

การกำหนดงานระบบ, จำนวนผู้ใช้งานอาคารและอัตราการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร ผู้วิจัยอ้างอิงจากงานวิจัยของ คำรน สุทธิ, (2554), ดลยา ศิริปุระ, (2554), บัวขจร, (2554) และอุไรชา เจริญนัยพานิชย์, (2555) เพราะมีข้อมูลครบถ้วนทั้งกรณีการใช้งานอาคารพักอาศัยและอาคารสำนักงาน

### 3.2.4 การสร้างโมเดลอาคาร

พื้น ผนัง และกระจกของอาคารเป็นตัวแปรควบคุมของการจำลองการใช้พลังงาน โดยสัดส่วนและรูปร่างของอาคารจะอ้างอิงจากแบบอาคารตึกแถวที่ได้ไปสำรวจ ทั้งนี้เพื่อให้การจำลองนี้เป็นการวัดสมรรถนะของหลังคา ผนังและพื้นจึงใช้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (U) ที่มีความเป็นฉนวนสูง ซึ่งสามารถสรุปเป็นการจำลองอาคารได้ดังนี้

#### 3.2.4.1 กรณีอาคารพักอาศัย

##### รูปร่างอาคาร

อ้างอิงจากภาพที่ 17 - 23 โดยมีสัดส่วนอาคาร กว้าง x ยาว อยู่ที่ 16 x 40 m. สัดส่วนต่อหนึ่งคูหาอยู่ที่ 4 x 16 m. ความสูงจากพื้นถึงพื้นอยู่ที่ 3 m. จำนวนทั้งหมด 4 ชั้น

##### ผนังอาคาร

- U-Factor	0.59 W/m <sup>2</sup> .°C
- ค่าการสะท้อนรังสี	0.30
- ค่าการแผ่รังสีที่	0.90

##### กระจกอาคาร

- กระจกตัดแสงหนา	6 mm.
- U-Factor	6.81 W/m <sup>2</sup> .°C
- SC	0.29
- Visible light	0.70
- SHCG	0.25
- WWR	23%



### พื้นอาคาร

- U-Factor 0.16 W/m<sup>2</sup>.°C
- ค่าการสะท้อนรังสี 0.40
- ค่าการแผ่รังสีที่ 0.88

### ระบบแอร์

- EER 11.5
- ประเภทเครื่องปรับอากาศ Split Air Conditioner

### อื่นๆ

- LPD 7.53 W/m<sup>2</sup>  
\*อ้างอิงจากงานวิจัยของ คำรน สุทธิ, (2554)
- EPD 8.00 W/m<sup>2</sup>  
\*อ้างอิงจากงานวิจัยของ คำรน สุทธิ, (2554)
- จำนวนผู้ใช้งานอาคาร 2 คน : 1 ห้องนอน, 6 คน : 1 ห้องนั่งเล่น  
\*อ้างอิงจากงานวิจัยของ คำรน สุทธิ, (2554)

### 3.2.4.2 กรณีอาคารสำนักงาน

#### รูปร่างอาคาร

อ้างอิงจากภาพที่ 17 - 23 โดยมีสัดส่วนอาคาร กว้าง x ยาว อยู่ที่ 16 x 40 m. สัดส่วนต่อหน้าห้องอยู่ที่ 4 x 16 m. ความสูงจากพื้นถึงเพดานอยู่ที่ 3 m. จำนวนทั้งหมด 4 ชั้น

#### ผนังอาคาร

- U-Factor 0.59 W/m<sup>2</sup>.°C
- ค่าการสะท้อนรังสี 0.30
- ค่าการแผ่รังสีที่ 0.90

#### กระจกอาคาร

- กระจกตัดแสงหนา 6 mm.
- U-Factor 6.81 W/m<sup>2</sup>.°C
- SC 0.29
- Visible light 0.70
- SHCG 0.25
- WWR 23%

### พื้นที่อาคาร

- U-Factor 0.16 W/m<sup>2</sup>.C
- ค่าการสะท้อนรังสี 0.40
- ค่าการแผ่รังสีที่ 0.88

### ระบบแอร์

- EER 11.5
- ประเภทเครื่องปรับอากาศ Split Air Conditioner

### อื่นๆ

- LPD 12.46 W/m<sup>2</sup>  
\*อ้างอิงจากงานวิจัยของ ดลยา ศิริปัฐ, (2554)
- EPD 20.35 W/m<sup>2</sup>  
\*อ้างอิงจากงานวิจัยของ ดลยา ศิริปัฐ, (2554)
- จำนวนผู้ใช้งานอาคาร 9.85 m<sup>2</sup> : 1 คน  
\*อ้างอิงจากงานวิจัยของ ดลยา ศิริปัฐ, (2554)

#### 3.2.4.3 การจำลองหลังคากรณีศึกษา

การจำลองหลังคากรณีศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

##### กรณีศึกษาที่ 1 กรณีเปรียบเทียบ (Base line)

- ชนิดของกรณีศึกษา เป็นกรณีใช้เปรียบเทียบกับกรณีศึกษาอื่น
- มวลอุณหภาพ คอนกรีตฉาบเรียบหนา 10 cm.
- การติดตั้งฉนวน ไม่มี

##### กรณีศึกษาที่ 2 ไม่มีมวลอุณหภาพมีฉนวนเปิด-ปิด (No mass with movable insulation)

- ชนิดของกรณีศึกษา ใช้ศึกษาสมรรถนะของหลังคามีฉนวนเปิด-ปิด แต่ไม่มีมวลอุณหภาพ
- มวลอุณหภาพ ไม่มี
- การติดตั้งฉนวน ฉนวนโพรซิสไทรินหนา 5 cm.

### กรณีศึกษาที่ 3 มีมวลน้ำเป็นมวลอุณหภูมามีฉนวนเปิด-ปิด (Water battles)

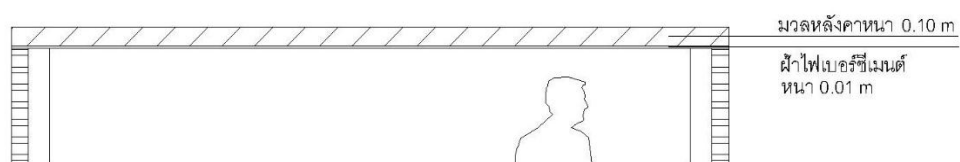
- ชนิดของกรณีศึกษา ใช้ศึกษาสมรรถนะของหลังคามีฉนวนเปิด-ปิดมีน้ำเป็นมวลอุณหภูม
- มวลอุณหภูม น้ำหนา 10 cm.
- การติดตั้งฉนวน ฉนวน polystyrene หนา 5 cm.

### กรณีศึกษาที่ 4 มีมวลคอนกรีตเป็นมวลอุณหภูมามีฉนวนเปิด-ปิด (Concrete)

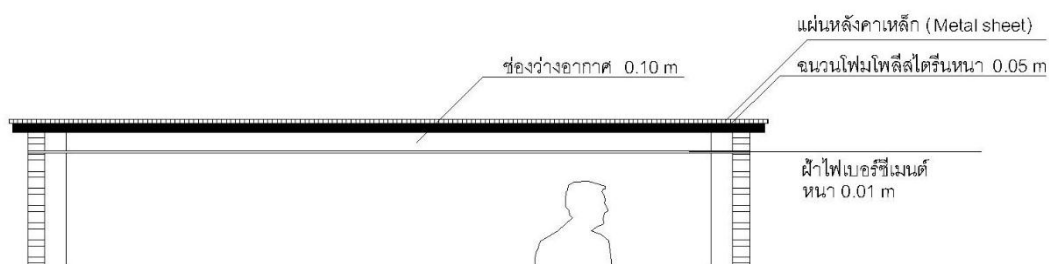
- ชนิดของกรณีศึกษา ใช้ศึกษาสมรรถนะของหลังคามีฉนวนเปิด-ปิดมีคอนกรีตเป็นมวลอุณหภูม
- มวลอุณหภูม คอนกรีตหนา 10 cm.
- การติดตั้งฉนวน ฉนวน polystyrene หนา 5 cm.

### กรณีศึกษาที่ 5 มีมวลไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นมวลอุณหภูมามีฉนวนเปิด-ปิด (Fiber cement)

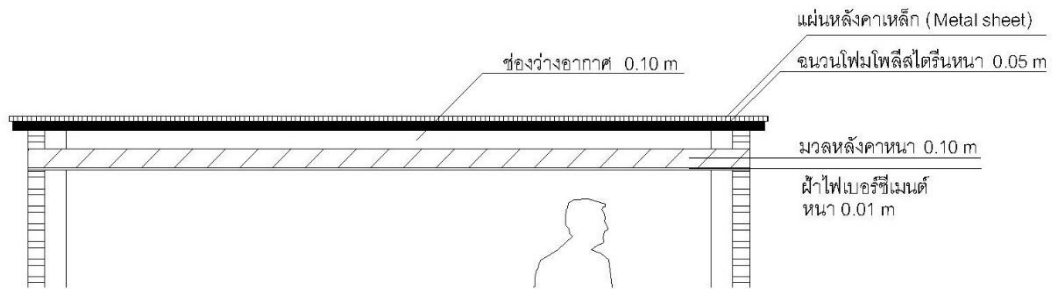
- ชนิดของกรณีศึกษา ใช้ศึกษาสมรรถนะของหลังคามีฉนวนเปิด-ปิดมีไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นมวลอุณหภูม
- มวลอุณหภูม ไฟเบอร์ซีเมนต์หนา 10 cm.
- การติดตั้งฉนวน ฉนวน polystyrene หนา 5 cm.



ภาพที่ 24 แสดงรูปตัดโมเดลจำลองของหลังคากรณีศึกษาที่ 1



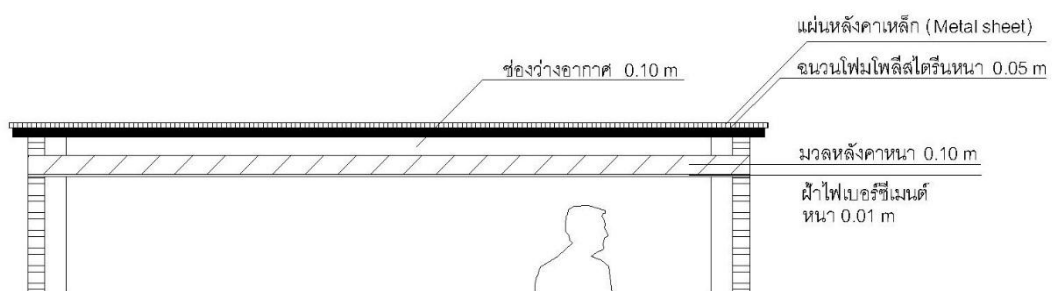
ภาพที่ 25 แสดงรูปตัดโมเดลจำลองของหลังคากรณีศึกษาที่ 2



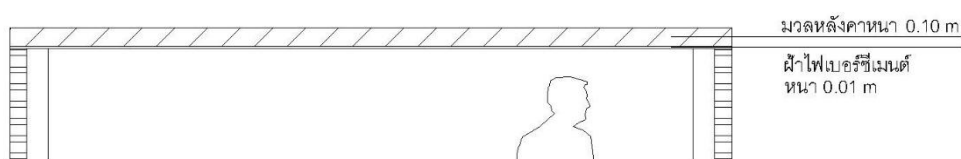
ภาพที่ 26 แสดงรูปตัดโมเดลจำลองของหลังคากรณีศึกษาที่ 3-5

### 3.2.4.3 การจำลองสภาพอากาศและการใช้งานอาคาร

- การจำลองสภาพอากาศเลือกใช้ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร
- กรณีการใช้งานอาคารพักอาศัยได้ปรับการใช้งานอาคารในแต่ละชั้นดังนี้
  - a. ชั้น 1 ตั้งการใช้งานห้องนั่งเล่น (living room)
  - b. ชั้น 2 – 4 ตั้งการใช้งานห้องนอน (Bedroom)
- กรณีการใช้งานอาคารสำนักงานได้ปรับการใช้งานอาคารในแต่ละชั้นดังนี้
  - a. ชั้น 1 - 4 ตั้งการใช้งานพื้นที่สำนักงาน (Office)
- การจำลองเปิด-ปิดฉนวนหลังคาแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ
  - a. มีการปิดฉนวนช่วงเวลา 8:01 – 18:00 เปิดฉนวนช่วงเวลา 18:01 – 8:00 (movable insulation)
  - b. ไม่มีการเปิดฉนวน ปิดฉนวนตลอด 24 ชม. (non-movable insulation)



ภาพที่ 27 แสดงรูปตัดโมเดลจำลองของหลังคาขณะปิดฉนวน



ภาพที่ 28 แสดงรูปตัดโมเดลจำลองของหลังคาขณะเปิดฉนวน

### 3.2.5 ตัวแปรในการศึกษาการจำลองอาคารด้วย Visual DOE 4.1

#### 3.2.5.1 ตัวแปรต้น

1. หลังคาสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กรณีศึกษาดังนี้
  - a. กรณีศึกษาที่ 1 กรณีเปรียบเทียบ (Base line)
  - b. กรณีศึกษาที่ 2 ไม่มีมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (No mass)
  - c. กรณีศึกษาที่ 3 มีมวลน้ำเป็นมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (Water bottle)
  - d. กรณีศึกษาที่ 4 มีมวลคอนกรีตเป็นมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (Concrete)
  - e. กรณีศึกษาที่ 5 มีมวลไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นมวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด (Fiber cement)
2. การใช้งานอาคาร (Time Schedule)
  - a. ใช้งานกลางคืน อาคารพักอาศัย เปิดเครื่องปรับอากาศ 18:01 – 6:00 น.
  - b. ใช้งานกลางวัน อาคารสำนักงาน เปิดเครื่องปรับอากาศ 6:01 – 18:00 น.
3. ช่วงเวลาของการเปิด-ปิดฉนวนหลังคา แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ
  - a. ปิดฉนวนช่วงเวลา 6:01 น. – 18:00 น. เปิดฉนวนช่วงเวลา 18:01 น. – 6:00 น. (movable insulation)
  - b. ปิดฉนวนตลอดทั้งวัน (non-movable insulation)

#### 3.2.5.2 ตัวแปรตาม

1. Energy use (kWh)
2. Energy saving (kWh และ %)
3. ค่าประมาณการคืนทุน (ปี)

#### 3.2.5.3 ตัวแปรควบคุม

1. การจำลองเปลือกอาคารมีสัดส่วนตามภาพที่ 17 – 21
2. วัสดุประกอบอาคารที่ไม่ใช่หลังคาต้องมีค่าเหมือนกัน เพื่อให้การวิจัยนี้เป็นการพิจารณาสมรรถนะการลดพลังงานอันเนื่องจากการออกแบบของหลังคา

### 3.2.6 การเก็บข้อมูล

โปรแกรม Visual DOE 4.1 สามารถคำนวณการใช้พลังงานของอาคารตลอดทั้งปี และสามารถวิเคราะห์เป็นรายชั่วโมงในแต่ละวันได้ โดยข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้คือ

1. ปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของอาคาร (kWh/year)
2. ปริมาณการประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 1 (kWh/year)
3. ปริมาณค่าไฟต่อปี (Baht/Year)
4. ค่าประมาณอัตราคืนทุนจากการออกแบบหลังคามวลอุณหภูมิมืดนนวนเปิด-ปิด (Year)

โดยข้อมูลจะถูกนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ และสรุปผลว่าการออกแบบหลังคามวลอุณหภูมิมืดนนวนเปิด-ปิด สามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ และหากนำมาใช้งานควรออกแบบการใช้งานอย่างไร รวมทั้งพิจารณาการประมาณค่าก่อสร้างและการคืนทุนค่าก่อสร้างว่ามีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการวิจัยกล่องทดลอง

#### 4.1.1 ผลการวัดอุณหภูมิกล่องทดลอง

จากผลการเก็บข้อมูลกล่องทดลองสามารถสรุปเป็นตารางและแผนภูมิข้อมูลได้ดังนี้

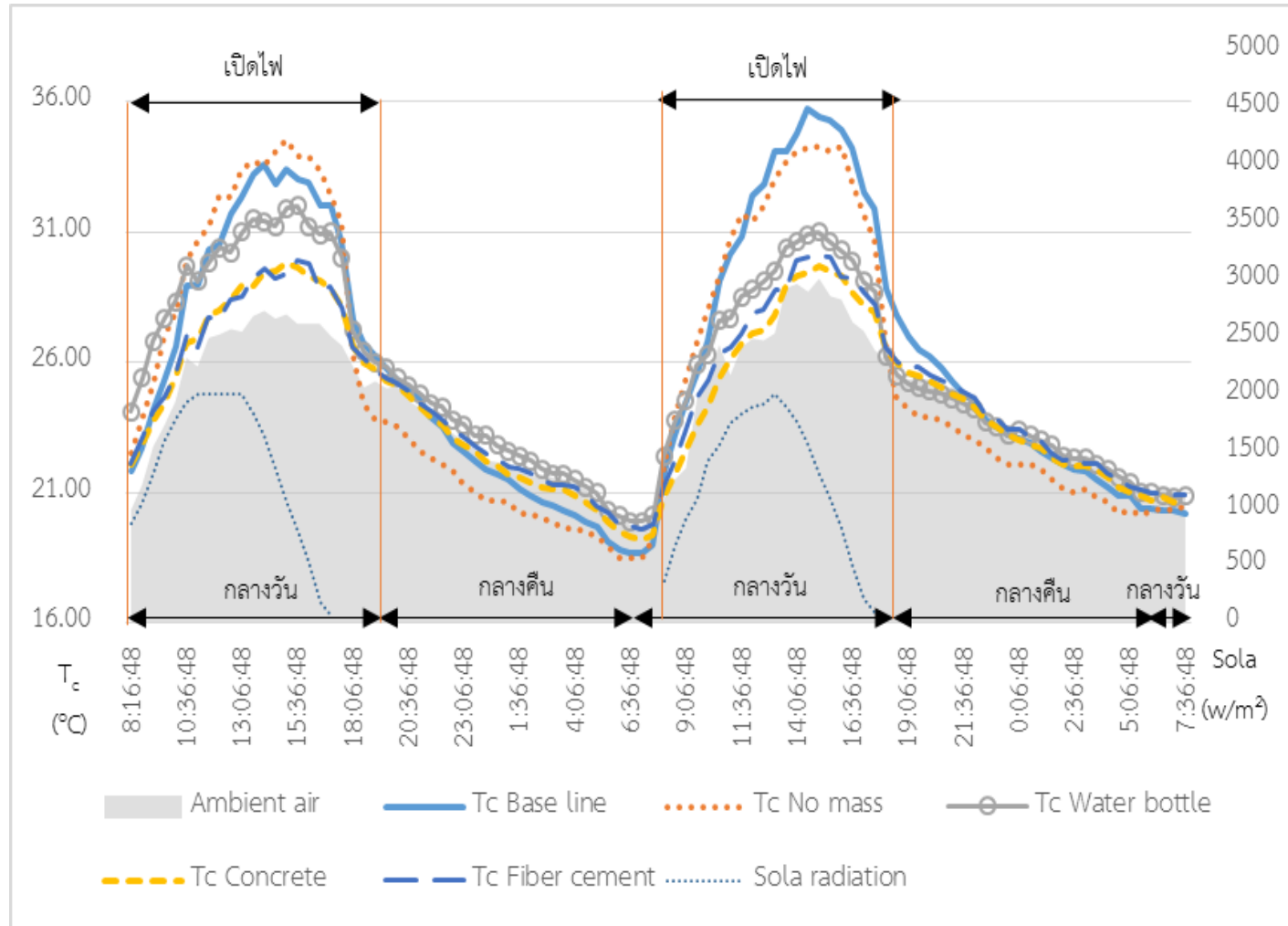
ตารางที่ 6 แสดงผลการวัดค่าอุณหภูมิของกล่องทดลองกรณีอาคารสำนักงาน  
วันที่ 28 – 29 ธันวาคม 2556

Case	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	*DSH ของระบบ (kJ/m <sup>2</sup> .°C)	T <sub>A</sub> (Ambient Air) (°C)			T <sub>c</sub> (°C)			T <sub>out</sub> (°C)		
			Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average
Day time											
1. Base line	26.91	233.78				35.90	21.80	30.58	35.10	21.50	30.34
2. No mass	27.37	12.98				34.90	22.10	31.00	33.90	21.90	30.32
3. Water bottle	21.66	112.98	29.20	20.33	26.31	32.20	22.40	29.09	32.40	22.50	29.03
4. Concrete	20.30	233.78				30.20	20.90	27.20	29.80	20.80	26.98
5. Fiber cement	19.17	142.76				30.10	21.20	27.43	30.30	21.10	27.31
Night time											
1. Base line	24.30	233.78				28.80	18.50	22.57	28.20	18.80	22.68
2. No mass	24.73	12.98				26.50	18.30	21.49	26.50	18.40	21.69
3. Water bottle	22.10	112.98	26.03	19.6	22.78	27.20	19.70	22.94	26.80	19.70	22.82
4. Concrete	23.06	233.78				26.60	19.20	22.59	26.40	19.30	22.67
5. Fiber cement	20.94	142.76				26.60	19.50	22.83	26.40	19.60	22.86

Case	T <sub>m1</sub> (°C)			T <sub>m2</sub> (°C)			T <sub>A</sub> - T <sub>out</sub>   (°C)			T <sub>m1</sub> - T <sub>m2</sub>   (°C)		
	Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average
Day time												
1. Base line	37.70	18.60	30.97	38.50	19.60	31.83	6.93	0.27	4.04	2.50	0.00	0.89
2. No mass	37.40	20.30	32.98	37.60	21.00	33.29	5.87	1.07	4.01	2.40	0.00	0.45
3. Water bottle	29.60	19.50	25.40	32.30	22.40	28.78	4.33	0.70	2.72	5.40	0.00	3.39
4. Concrete	29.60	18.30	24.99	30.70	20.00	27.11	1.87	0.03	0.78	3.30	0.00	2.12
5. Fiber cement	27.50	18.00	24.07	30.50	20.20	27.49	2.33	0.03	1.01	4.50	1.70	3.45
Night time												
1. Base line	32.20	17.70	22.93	33.40	18.10	23.48	2.37	0.00	0.55	1.30	0.00	0.55
2. No mass	29.20	17.00	20.35	26.60	16.50	19.70	1.73	0.00	1.10	2.80	0.00	0.67
3. Water bottle	25.70	19.20	21.98	29.30	20.70	23.75	1.33	0.00	0.19	3.70	0.70	1.79
4. Concrete	27.70	18.10	21.88	29.00	18.80	22.81	0.77	0.00	0.21	1.50	0.00	0.93
5. Fiber cement	26.30	17.10	20.77	28.50	19.40	23.30	0.77	0.00	0.15	3.30	0.80	2.53

\*ค่า DSH คำนวณจากมวลทั้งหมดที่อยู่ในระบบหลังคาของกล่องทดลอง  
ซึ่งมีมวลอุณหภูมิกับฝ้าเพดาน และได้พิจารณาถึงความหนาของวัสดุแล้ว

แผนภูมิที่ 1 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง (T<sub>c</sub>) กรณีใช้งานอาคารสำนักงาน





จากแผนภูมิที่ 1 และตารางที่ 6 พบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิกล่องเฉลี่ยของกรณีศึกษาที่ 2 ( $T_c$  No mass) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30.58 และกรณีศึกษาที่ 4 ( $T_c$  Concrete) อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยมีค่าต่ำสุดที่ 27.20 C ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยของกรณีศึกษาที่ 3 ( $T_c$  Water bottle) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 22.94 C และกรณีศึกษาที่ 2 ( $T_c$  No mass) อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 21.49 C ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลองจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

ช่วงเวลากลางวัน	ช่วงเวลากลางคืน
1. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass)	1. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle)
2. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)	2. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement)
3. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle)	3. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete)
4. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement)	4. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)
5. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete)	5. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass)

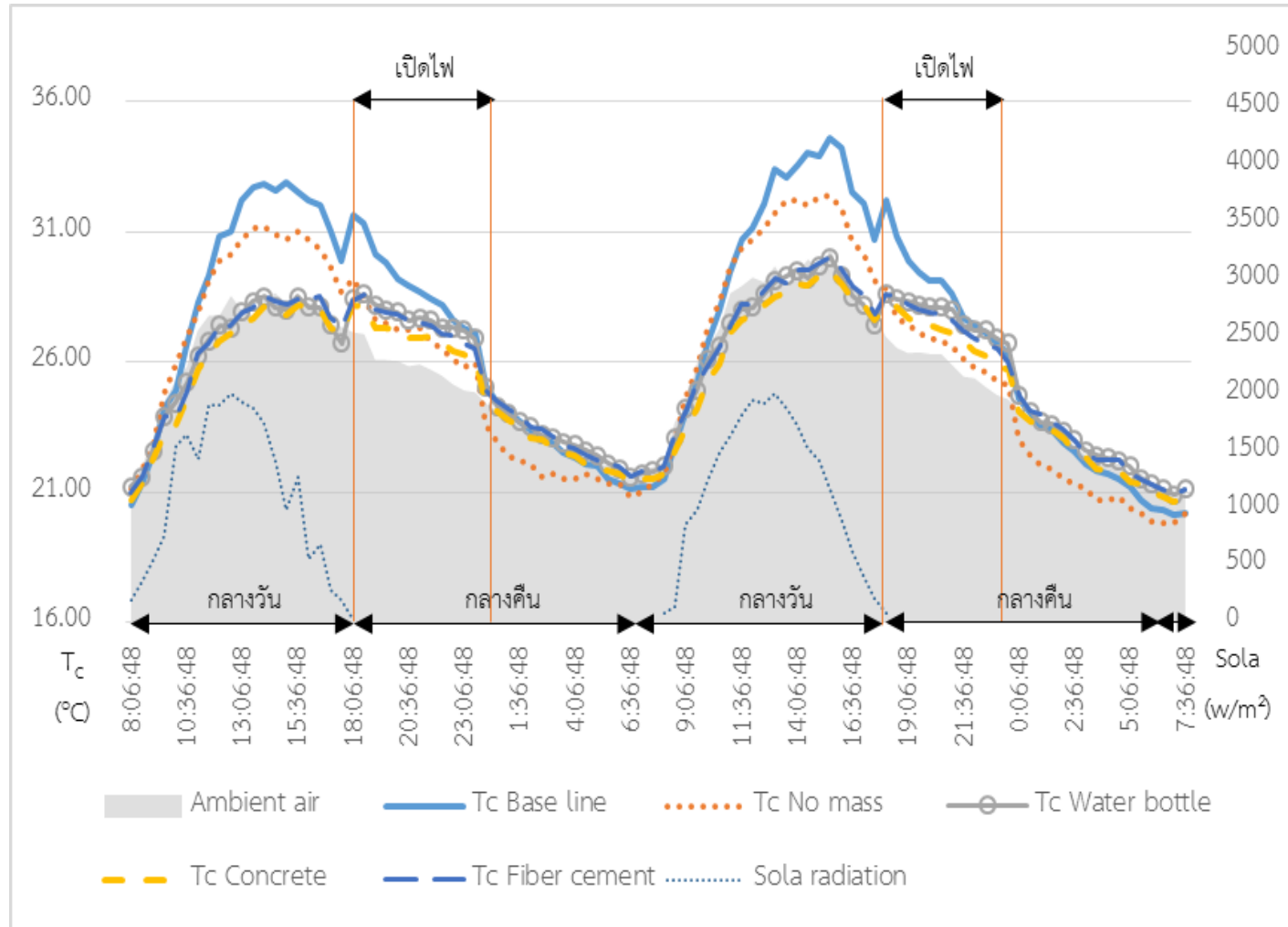
ตารางที่ 7 แสดงผลการวัดค่าอุณหภูมิของกล่องทดลองกรณีอาคารพักอาศัย  
วันที่ 30 – 31 ธันวาคม 2556

Case	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	*DSH ของระบบ (kJ/(m <sup>2</sup> .°C))	T <sub>A</sub> (Ambient Air) (°C)			T <sub>c</sub> (°C)			T <sub>out</sub> (°C)		
			Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average
Day time											
1. Base line	25.34	233.78				34.80	20.50	29.78	34.70	20.80	29.59
2. No mass	23.30	12.98				32.70	21.10	28.92	32.60	21.20	28.98
3. Water bottle	18.52	112.98	30.50	21.20	27.38	30.00	21.20	27.00	30.80	21.30	27.56
4. Concrete	19.11	233.78				29.60	20.70	26.60	30.00	20.90	26.90
5. Fiber cement	19.33	142.76				30.10	21.00	27.08	30.40	21.10	27.32
Night time											
1. Base line	23.59	233.78				32.20	20.00	24.96	30.90	20.20	24.82
2. No mass	23.88	12.98				29.20	19.60	23.64	29.00	19.80	23.74
3. Water bottle	22.57	112.98	27.27	21.00	23.90	28.60	20.90	24.77	28.60	21.00	24.65
4. Concrete	23.21	233.78				28.20	20.60	24.26	28.00	20.80	24.20
5. Fiber cement	21.93	142.76				28.70	20.90	24.68	28.20	21.00	24.46

Case	T <sub>m1</sub> (°C)			T <sub>m2</sub> (°C)			T <sub>A</sub> - T <sub>out</sub>   (°C)			T <sub>m1</sub> - T <sub>m2</sub>   (°C)		
	Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average
Day time												
1. Base line	37.90	20.10	31.56	37.50	20.00	30.95	5.07	0.07	2.36	1.70	0.00	0.88
2. No mass	33.70	20.70	29.45	33.90	20.90	29.80	3.53	0.00	1.63	0.80	0.00	0.38
3. Water bottle	25.30	20.30	23.04	27.80	21.40	25.44	1.40	0.00	0.34	3.10	1.00	2.40
4. Concrete	27.40	20.00	23.59	28.30	20.20	25.08	1.60	0.00	0.56	2.20	0.20	1.49
5. Fiber cement	27.50	19.80	24.22	28.90	20.80	25.86	1.27	0.00	0.33	2.20	0.50	1.64
Night time												
1. Base line	32.10	19.10	24.55	34.20	19.60	25.66	3.93	0.00	1.26	2.50	0.00	1.11
2. No mass	28.80	18.30	22.68	28.10	17.90	22.00	1.87	0.10	0.97	1.30	0.00	0.69
3. Water bottle	25.50	20.30	22.72	27.90	21.70	25.02	2.40	0.00	0.80	4.20	1.00	2.30
4. Concrete	26.60	19.50	23.05	28.50	20.20	24.50	1.20	0.00	0.43	2.60	0.30	1.46
5. Fiber cement	26.50	18.60	22.11	29.20	21.00	25.44	1.60	0.00	0.58	5.50	1.40	3.33

\*ค่า DSH คำนวณจากมวลทั้งหมดที่อยู่ในระบบหลังคาของกล่องทดลอง  
ซึ่งมีมวลอุณหภูมิกับฝ้าเพดาน และได้พิจารณาถึงความหนาของวัสดุแล้ว

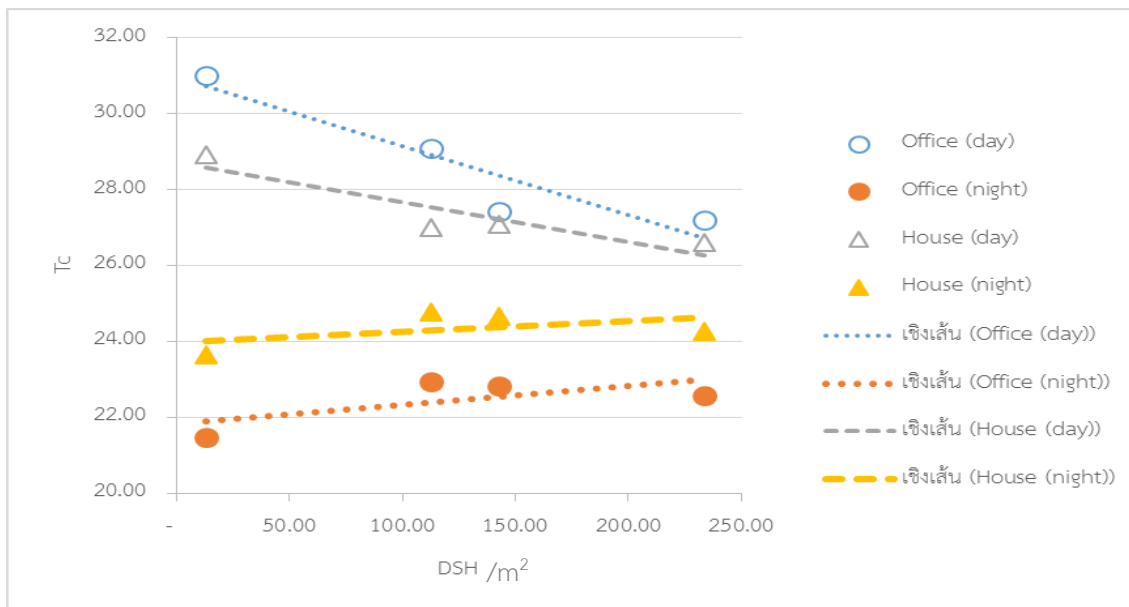
แผนภูมิที่ 2 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง ( $T_c$ ) กรณีใช้งานอาคารพักอาศัย



จากแผนภูมิที่ 2 และตารางที่ 7 พบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิกล่องเฉลี่ยของกรณีศึกษาที่ 1 ( $T_c$  Base line) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 29.78 และกรณีศึกษาที่ 4 ( $T_c$  Concrete) อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยมีค่าต่ำสุดที่ 26.60 C ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยของกรณีศึกษาที่ 1 ( $T_c$  Base line) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 24.96 C และกรณีศึกษาที่ 2 ( $T_c$  No mass) อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 23.64 C ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลองจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

ช่วงเวลากลางวัน	ช่วงเวลากลางคืน
1. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)	1. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)
2. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass)	2. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle)
3. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement)	3. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement)
4. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle)	4. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete)
5. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete)	5. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass)

แผนภูมิที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) กับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องทดลอง ( $T_c$ )

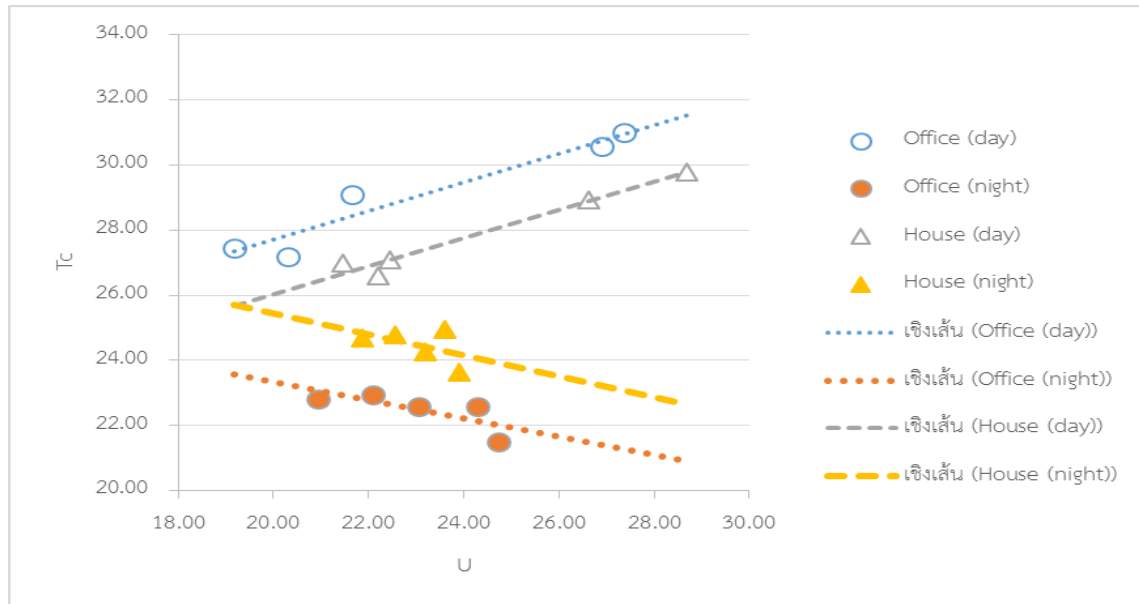


แผนภูมิที่ 3 เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (DSH) กับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องทดลอง ( $T_c$ ) ซึ่งค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะได้จากการคำนวณของสมการ 3 (รายละเอียดวิธีการคำนวณหน้า 13) โดยนำผลการคำนวณมาเขียนเป็นแผนภูมิเทียบกับค่าอุณหภูมิของห้องทดลองเพื่อหาแนวโน้มที่เกิดขึ้น

จากแผนภูมิที่ 3 พบว่าการทำงานกลางวันมีค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะสูงสุดที่ 233.7 kJ/(m<sup>2</sup>·°C) มีอุณหภูมิห้องเฉลี่ยที่ 26.60 °C ในการทำงานแบบอาคารพักอาศัยและ 27.20 °C ในการทำงานแบบอาคารสำนักงาน ในขณะที่ค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะต่ำสุดที่ 12.98 kJ/(m<sup>2</sup>·°C) มีอุณหภูมิห้องเฉลี่ยที่ 28.92 °C ในการทำงานแบบอาคารพักอาศัยและ 31.00 °C ในการทำงานแบบอาคารสำนักงาน

การทำงานกลางคืนมีค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะสูงสุดที่ 233.7 kJ/(m<sup>2</sup>·°C) มีอุณหภูมิห้องเฉลี่ยที่ 24.26 °C ในการทำงานแบบอาคารพักอาศัยและ 22.59 °C ในการทำงานแบบอาคารสำนักงาน ในขณะที่ค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะต่ำสุดที่ 12.98 kJ/(m<sup>2</sup>·°C) มีอุณหภูมิห้องเฉลี่ยที่ 23.64 °C ในการทำงานแบบอาคารพักอาศัยและ 21.49 °C ในการทำงานแบบอาคารสำนักงาน

แผนภูมิที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) กับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องทดลอง ( $T_c$ )



จากแผนภูมิที่ 4 เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) กับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องทดลอง ( $T_c$ ) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้จากการคำนวณของสมการ 4 และ 5 (รายละเอียดวิธีการคำนวณหน้า 14 – 15) โดยนำผลการคำนวณมาเขียนเป็นแผนภูมิเทียบกับค่าอุณหภูมิของห้องทดลองเพื่อหาแนวโน้มที่เกิดขึ้น

จากการนำข้อมูลมาเขียนเป็นแผนภูมิพบว่าอาคารใช้งานกลางวันที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำสุดที่  $19.17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  อุณหภูมิห้องเฉลี่ยอยู่ที่  $27.43 \text{ }^\circ\text{C}$  และมีค่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่  $28.68 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  อุณหภูมิห้องเฉลี่ยอยู่ที่  $29.78 \text{ }^\circ\text{C}$

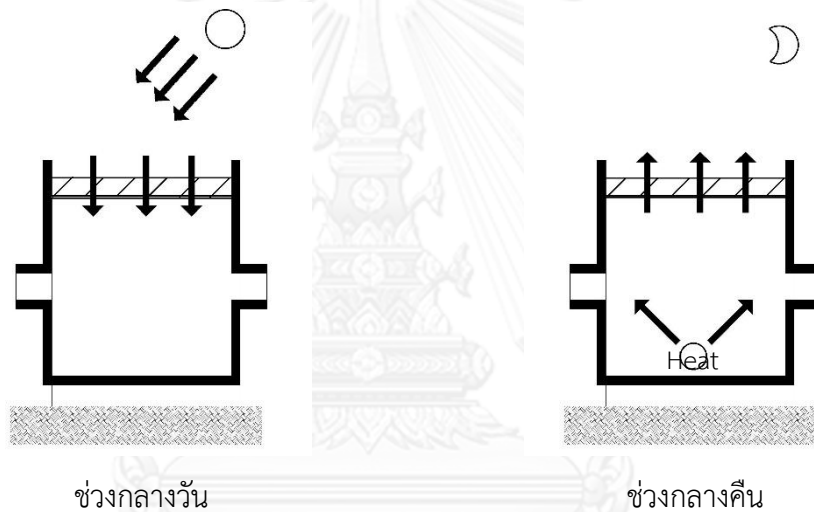
อาคารใช้งานกลางคืนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำสุดที่  $20.94 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  อุณหภูมิห้องอยู่ที่  $22.83 \text{ }^\circ\text{C}$  และและมีค่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่  $24.73 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  อุณหภูมิห้องเฉลี่ยอยู่ที่  $21.49 \text{ }^\circ\text{C}$

#### 4.1.2 วิเคราะห์และอภิปรายผลกล่องทดลอง

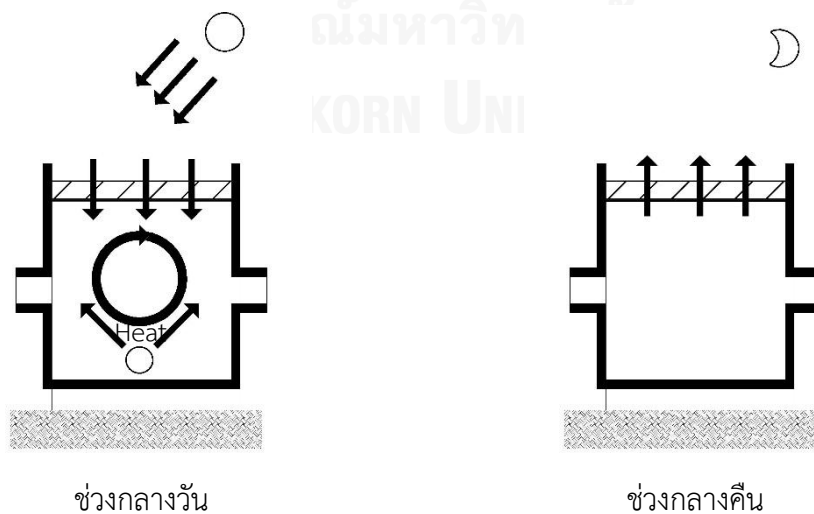
##### 4.1.2.1 วิเคราะห์กรณีศึกษากล่องทดลอง

เมื่อพิจารณาที่ละกรณีศึกษาพบว่าในกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งใช้หลังคาคอนกรีตแผ่นเรียบไม่มีฉนวนปิดนั้น พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์จะถ่ายเทเข้าสู่กล่องทดลอง และเมื่อเข้าช่วงเวลา 18:00 – 6:00 น. (ช่วงเวลากลางคืน) ความร้อนที่สะสมอยู่ภายในกล่องจึงสามารถถ่ายเทออกสู่บรรยากาศภายนอกได้เนื่องจากมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

ทว่าในกรณีของการใช้งานสำนักงาน ซึ่งเป็นการใช้งานกลางวันทำให้มีแหล่งความร้อนเกิดจากทั้งภายในและภายนอกกล่องทดลอง และการระบายความร้อนออกทำได้ยากกว่าช่วงเวลากลางคืนเนื่องจากมีอุณหภูมิภายนอกที่สูง ทำให้อุณหภูมิภายในกล่องทดลองช่วงเวลากลางวันเพิ่มขึ้น

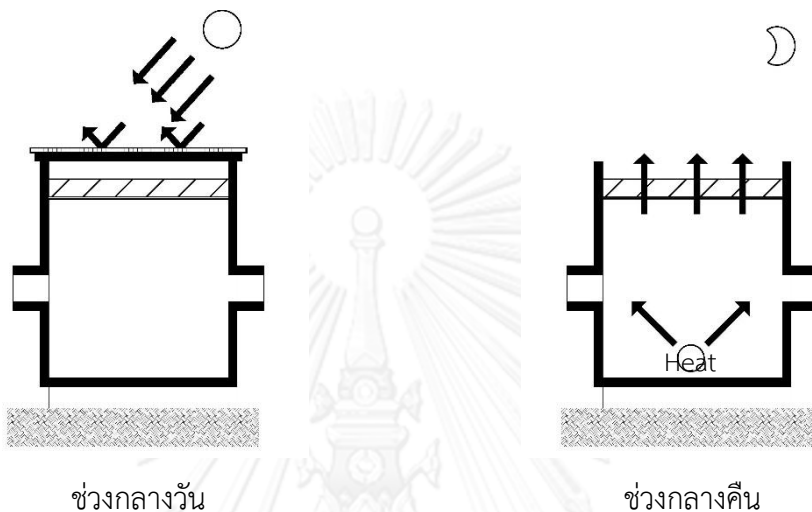


ภาพที่ 29 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 1 การใช้งานแบบอาคารพักอาศัย

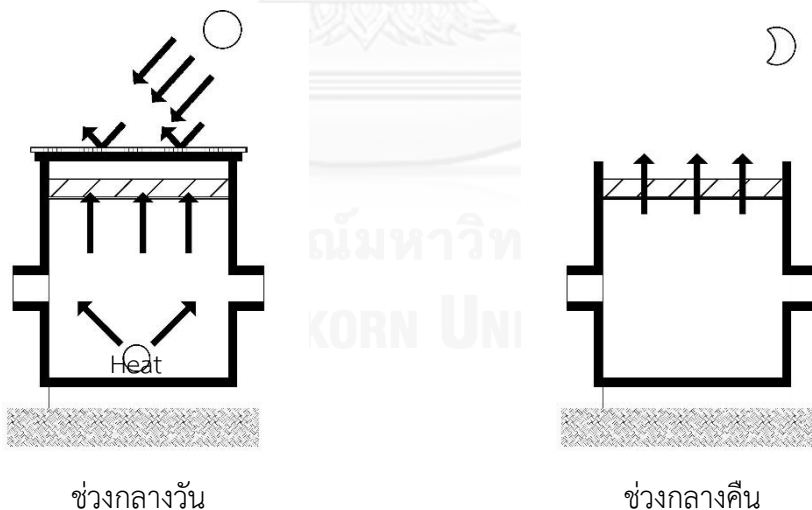


ภาพที่ 30 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 1 การใช้งานแบบอาคารสำนักงาน

ซึ่งเมื่อไปเทียบกับกรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5 ที่มีมวลอุณหภาพและมีฉนวนป้องกันรังสีดวงอาทิตย์พบว่าความร้อนในช่วงเวลากลางวัน ไม่ว่าจะการใช้งานประเภทสำนักงานหรือพักอาศัย ความร้อนจะถูกหน่วงและสะสมไว้ที่มีมวลอุณหภาพ และช่วงเวลากลางคืนที่มีการเปิดฉนวนออก ความร้อนที่สะสมไว้จะถูกถ่ายเทคืนสู่อากาศภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในกล่องทดลอง



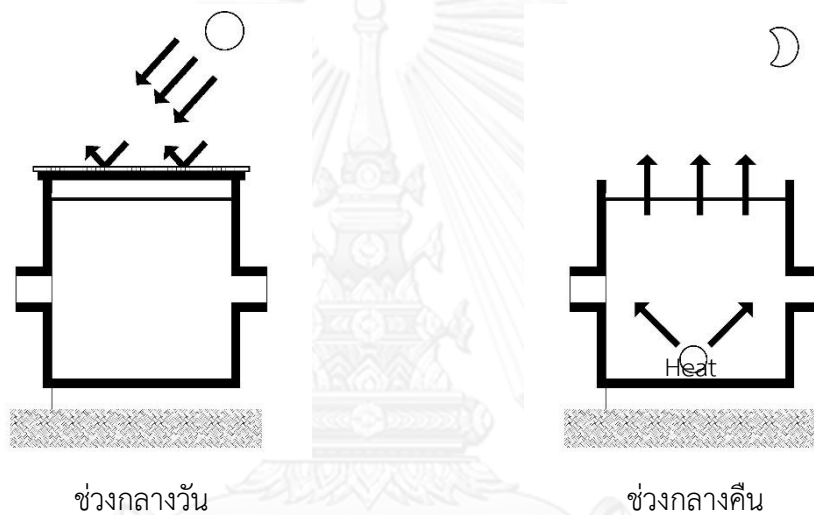
ภาพที่ 31 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5 การใช้งานแบบอาคารพักอาศัย



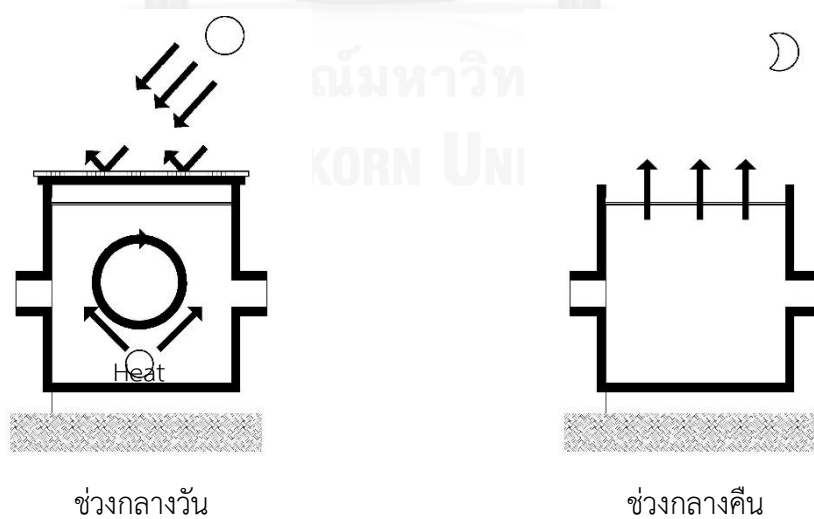
ภาพที่ 32 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5 การใช้งานแบบอาคารสำนักงาน



สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งไม่มีมวลอุณหภาพแต่มีฉนวนเปิด-ปิด ทำให้ในกรณีอาคารใช้งานกลางวันหรือสำนักงาน มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องสูงที่สุดเนื่องจากแหล่งความร้อนภายในไม่มีมวลอุณหภาพเป็นแหล่งกักเก็บความร้อน และฉนวนที่ทำหน้าที่ป้องกันรังสีจากภายนอกได้ป้องกันไม่ให้ความร้อนที่เกิดจากภายในอาคารสามารถระบายทิ้งออกไปนอกกล่องทดลองได้ทัน จึงเป็นสาเหตุที่การใช้งานแบบอาคารสำนักงานมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีเปรียบเทียบในเวลากลางวัน ทว่าในการใช้งานกลางคืนเป็นช่วงเวลาที่มีการเปิดฉนวนออก การระบายความร้อนภายในกล่องทดลองสามารถทำได้รวดเร็วที่สุดจากทุกกรณีศึกษา เนื่องจากมีค่าการส่งถ่ายความร้อนรวมสูงที่สุดจากกรณีศึกษาทั้งหมด และไม่มีมวลอุณหภาพมาหน่วงการถ่ายเทความร้อน จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กล่องกรณีศึกษาที่ 2 มีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงกลางคืน (18:00 – 6:00 น.) น้อยที่สุด



ภาพที่ 33 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 2 การใช้งานแบบอาคารพักอาศัย



ภาพที่ 34 แสดงการถ่ายเทความร้อนกล่องทดลองกรณีศึกษาที่ 2 การใช้งานแบบอาคารสำนักงาน

#### 4.1.2.2 วิเคราะห์แผนภูมิผลการวิจัยกล่องทดลอง

จากแผนภูมิที่ 1 และ 2 พบว่ากรณีศึกษาที่ 4 หลังคามวลคอนกรีตมีฉนวนเปิด-ปิด สามารถลดอุณหภูมิได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 1 หลังคาคอนกรีตแผ่นเรียบ ในช่วงเวลากลางวันไม่ว่าจะเป็นประเภทอาคารสำนักงานหรืออาคารพักอาศัยอยู่ที่ 3.3 ถึง 5 °C เนื่องจากหลังคามีความเป็นมวลมากกว่าทุกกรณีศึกษาเปรียบเทียบ จึงสามารถหน่วงความร้อนสะสมเอาไว้ในมวลพร้อมทั้งมีฉนวนกันความร้อนจากแสงอาทิตย์จึงสามารถลดอุณหภูมิได้ดีกว่า และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิกล่องของกรณีศึกษาที่ 3 หลังคาขวดน้ำมีฉนวนเปิด-ปิดจะมีค่าสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 4 หลังคามวลคอนกรีตมีฉนวนเปิด-ปิดอยู่ที่ 2 ถึง 2.2 °C ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 5 หลังคามวลไฟเบอร์ซีเมนต์มีฉนวนเปิด-ปิดจะมีค่าอุณหภูมิกล่องทดลองใกล้เคียงกับกรณีศึกษาที่ 4 โดยน้อยกว่าอยู่เพียง 0.1 °C

อย่างไรก็ตามข้อมูลในวันที่ 28 ธันวาคม 2556 บ่งชี้ว่ากรณีศึกษาที่ 2 มีค่าอุณหภูมิสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 หลังคาคอนกรีตแผ่นเรียบอยู่ที่ 1 °C ส่วนวันที่ 29 ธันวาคม 2556 กรณีศึกษาที่ 2 หลังคาไม่มีมวลอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีศึกษาที่ 1 หลังคาคอนกรีตแผ่นเรียบอยู่ที่ 1 ถึง 2 °C จากแผนภูมิที่ 1 สามารถวิเคราะห์เหตุการณ์นี้ได้ว่าเกิดจากความร้อนสะสมอยู่ในกล่องกรณีศึกษาที่ 2 มากกว่ากล่องของกรณีศึกษาที่ 1 ในช่วงเวลาก่อนการทดลองวันที่ 28 ธันวาคมจึงทำให้อุณหภูมิภายในกล่องสูงกว่าปกติ

จากแผนภูมิที่ 1 และ 2 พบว่าช่วงเวลากลางคืนกรณีศึกษาที่ 2 สามารถลดอุณหภูมิได้ดีกว่าอากาศภายนอกที่ 1.2 ถึง 4.5 °C และลดอุณหภูมิได้ต่ำมากที่สุดมากกว่ากรณีศึกษาที่ 1 ที่ 1 ถึง 2 °C ไม่ว่าจะเป็นประเภทอาคารสำนักงานหรืออาคารพักอาศัย เนื่องจากหลังคามีความเป็นมวลน้อยที่สุดจึงสามารถแผ่รังสีความร้อนและไม่หน่วงความร้อนกลับสู่อากาศภายนอกในช่วงกลางคืน

จากแผนภูมิที่ 1 และ 2 ตั้งแต่ช่วงเวลา 18:00 – 21:00 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องกรณีศึกษาที่ 1 จะมีค่าสูงสุดและมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5 ในช่วงเวลา 24:00 – 6:00 น. เนื่องจากอุณหภูมิความร้อนจากแสงอาทิตย์ช่วงเวลากลางวันยังคงสะสมอยู่ในมวลคอนกรีต ทำให้มวลคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีศึกษาอื่น และส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองสูงกว่ากรณีศึกษาอื่น จนถึงช่วงเวลา 24:00 น. ที่มีค่าอุณหภูมิอากาศในกล่องทดลองต่ำที่สุด เพราะมีการถ่ายเทความร้อนรวมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5

จากแผนภูมิที่ 3 พบว่ามวลอุณหภูมิต่ำที่มีค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะสูง ในช่วงเวลากลางวันจะมีแนวโน้มที่ลดอุณหภูมิได้มากกว่า ในขณะที่มวลอุณหภูมิต่ำที่มีค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะต่ำ ในช่วงเวลากลางคืนจะมีแนวโน้มที่ลดอุณหภูมิได้มากกว่า

จากแผนภูมิที่ 4 พบว่าหลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำในช่วงเวลากลางวันจะมีแนวโน้มที่ลดอุณหภูมิได้มากกว่า ในขณะที่หลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงในช่วงเวลากลางคืนจะมีแนวโน้มที่ลดอุณหภูมิได้มากกว่า

## 4.2 ผลการวิจัยการจำลองการใช้พลังงาน

### 4.2.1 ผลการจำลองการศึกษาสมรรถนะการลดพลังงานของมวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิด

โดยปกติแล้วอาคารปรับอากาศควรทำตัวให้เป็นฉนวนมากที่สุด เพื่อกักเก็บอุณหภูมิความเย็นไว้ภายในอาคาร ลดการดูดกลืนความร้อนจากภายนอกอาคารเข้ามา ดังนั้นเพื่อเป็นการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของหลังคามวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิด กับหลังคาที่บุฉนวนกันความร้อนตลอดทั้งวัน(ไม่มีการเปิดฉนวน)ว่ามีความแตกต่างในการใช้พลังงานอย่างไร ในการจำลองการใช้พลังงานจึงมีตัวแปรที่ไม่เปิดฉนวนหลังคาตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 หน้า 35 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

หลังคาสามารถแบ่งออกเป็น 5 กรณีศึกษาดังนี้

- a. กรณีศึกษาที่ 1 กรณีเปรียบเทียบ (Base line)
- b. กรณีศึกษาที่ 2 ไม่มีมวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิด (No mass)
- c. กรณีศึกษาที่ 3 มีมวลน้ำเป็นมวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิด (Water bottle)
- d. กรณีศึกษาที่ 4 มีมวลคอนกรีตเป็นมวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิด (Concrete)
- e. กรณีศึกษาที่ 5 มีมวลไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นมวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิด (Fiber cement)

การใช้งานอาคาร (Time Schedule)

- a. ใช้งานกลางคืน อาคารพักอาศัย เปิดเครื่องปรับอากาศ 18:01 – 6:00 น.
- b. ใช้งานกลางวัน อาคารสำนักงาน เปิดเครื่องปรับอากาศ 6:01 – 18:00 น.

ช่วงเวลาของการเปิด-ปิดฉนวนหลังคา แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ

- a. ปิดฉนวนช่วงเวลา 6:01 น. – 18:00 น. เปิดฉนวนช่วงเวลา 18:01 น. – 6:00 น.

(movable insulation)

- b. ปิดฉนวนตลอดทั้งวัน (non-movable insulation)

จากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Viusal DOE 4.1 สามารถนำมาสรุปเป็น  
แผนภูมิได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 8 แสดงผลการจำลองการใช้พลังงานกรณีอาคารพักอาศัยกรณี 1, 2

Month	กรณีที่ 1 Base line	กรณีที่ 2	
		movable insulation	non-movable insulation
January	10,847.58	10,957.08	9,969.71
February	9,834.96	9,998.95	9,073.67
March	10,971.64	11,220.14	10,105.75
April	10,482.58	10,638.87	9,722.72
May	11,075.56	11,257.08	10,269.48
June	10,731.65	10,922.43	9,943.43
July	10,914.40	11,091.23	10,114.84
August	11,117.32	11,314.99	10,302.09
September	10,589.48	10,701.24	9,842.10
October	10,914.23	11,029.00	10,135.91
November	10,589.12	10,707.58	9,777.01
December	10,810.45	10,798.74	10,065.07
kWh/year	128,878.98	130,637.33	119,321.77
kWh/m <sup>2</sup> .year	50.34	51.03	46.61
ค่าไฟต่อปี (baht)	386,636.93	391,911.99	357,965.32
ประหยัด (baht)	N/A	-5,275.06	28671.61
ประหยัด (%)	N/A	-1.36	7.42
ค่าลงทุนก่อสร้าง	573,004.80	1,318,286.56	868,286.56
ค่าลงทุนเพิ่ม	N/A	745,281.76	295,281.76
การคืนทุน (year)	N/A	N/A	2.57

ตารางที่ 9 แสดงผลการจำลองการใช้พลังงานกรณีอาคารพักอาศัยกรณี 3 - 5

Month	กรณี 3		กรณี 4		กรณี 5	
	Water bottle		Concrete		Fiber cement	
	movable insulation	non-movable insulation	movable insulation	non-movable insulation	movable insulation	non-movable insulation
January	10,191.56	9,715.82	10,348.76	9,650.21	9,505.86	9,442.34
February	9,242.77	8,806.20	9,387.66	8,742.44	8,605.99	8,549.34
March	10,342.12	9,821.70	10,503.44	9,748.69	9,608.21	9,541.54
April	9,852.81	9,427.47	9,975.37	9,356.02	9,227.58	9,171.51
May	10,355.81	9,889.40	10,494.68	9,809.43	9,654.75	9,596.62
June	10,041.53	9,572.49	10,183.03	9,498.50	9,356.01	9,293.95
July	10,239.59	9,785.36	10,376.54	9,714.82	9,579.97	9,518.04
August	10,395.78	9,920.37	10,542.63	9,840.86	9,685.04	9,627.72
September	9,912.64	9,506.84	10,038.70	9,431.06	9,279.35	9,232.68
October	10,229.67	9,799.82	10,359.14	9,721.21	9,570.26	9,518.17
November	9,940.68	9,490.64	10,093.22	9,419.38	9,274.01	9,217.62
December	10,152.76	9,746.42	10,301.25	9,668.20	9,495.02	9,459.47
kWh/year	120,897.71	115,482.52	122,604.43	114,600.83	112,842.05	112,169.00
kWh/m <sup>2</sup> .year	47.23	45.11	47.89	44.77	44.08	43.82
ค่าไฟต่อปี (baht)	362,693.14	346,447.56	367,813.29	343,802.49	338,526.16	336,507.00
ประหยัด (baht)	23943.80	40189.37	18823.64	42834.45	48110.77	50129.94
ประหยัด (%)	6.19	10.39	4.87	11.08	12.44	12.97
ค่าลงทุนก่อสร้าง	2,028,398.08	1,578,398.08	1,856,091.36	1,406,091.36	1,799,018.56	1,349,018.56
ค่าลงทุนเพิ่ม	1,455,393.28	1,005,393.28	1,283,086.56	833,086.56	1,226,013.76	776,013.76
การคืนทุน (year)	15.2	6.25	17.04	4.86	6.37	3.87

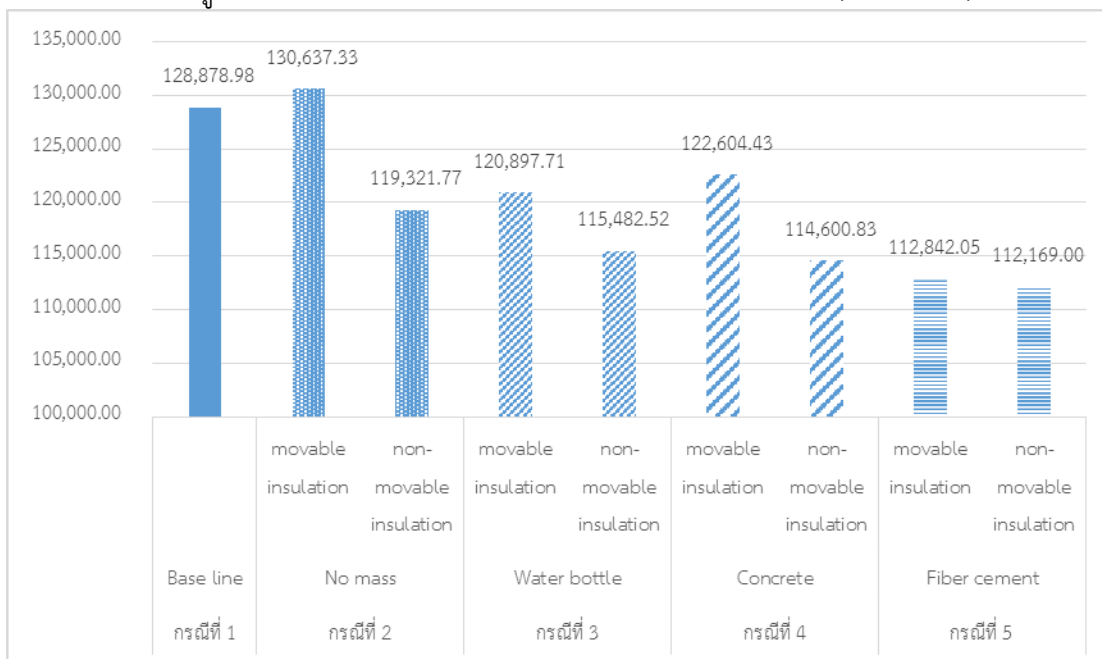
ตารางที่ 10 แสดงผลการจำลองการใช้พลังงานกรณีอาคารสำนักงานกรณีที่ 1, 2

Month	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	
	Base line	No mass	
		movable insulation	non-movable insulation
January	21,789.42	19,570.99	19,570.99
February	20,237.40	17,949.87	17,949.87
March	24,165.52	21,348.11	21,348.11
April	20,563.01	18,132.05	18,132.05
May	22,474.75	20,031.31	20,031.31
June	21,997.16	19,531.86	19,531.86
July	21,648.05	19,192.73	19,192.73
August	22,655.02	20,127.32	20,127.32
September	21,043.99	18,550.27	18,550.27
October	21,398.47	19,092.56	19,092.56
November	21,728.74	19,422.13	19,422.13
December	19,457.67	17,633.61	17,633.61
kWh/year	259,159.20	230,582.82	230,582.82
kWh/m <sup>2</sup> .year	101.23	90.07	90.07
ค่าไฟต่อปี (baht)	777,477.61	691,748.46	691,748.46
ประหยัด (baht)	N/A	85,729.14	85,729.14
ประหยัด (%)	N/A	11.03	11.03
ค่าลงทุนก่อสร้าง	573,004.80	1,318,286.56	868,286.56
ค่าลงทุนเพิ่ม	N/A	745,281.76	295,281.76
การคืนทุน (year)	N/A	24.54	3.61

ตารางที่ 11 แสดงผลการจำลองการใช้พลังงานกรณีอาคารสำนักงานกรณี 3 - 5

Month	กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	Water bottle		Concrete		Fiber cement	
	movable insulation	non-movable insulation	movable insulation	non-movable insulation	movable insulation	non-movable insulation
January	19,244.75	19,244.75	19,261.28	19,261.28	18,901.59	18,901.59
February	17,629.61	17,629.61	17,629.40	17,629.40	17,295.61	17,295.61
March	20,919.55	20,919.55	20,917.06	20,917.06	20,479.65	20,479.65
April	17,845.92	17,845.92	17,863.10	17,863.10	17,483.25	17,483.25
May	19,729.87	19,729.87	19,738.79	19,738.79	19,369.63	19,369.63
June	19,252.63	19,252.63	19,257.34	19,257.34	18,892.00	18,892.00
July	18,900.22	18,900.22	18,912.01	18,912.01	18,510.55	18,510.55
August	19,819.70	19,819.70	19,832.72	19,832.72	19,452.56	19,452.56
September	18,246.48	18,246.48	18,272.47	18,272.47	17,894.29	17,894.29
October	18,816.29	18,816.29	18,835.35	18,835.35	18,485.11	18,485.11
November	19,069.86	19,069.86	19,064.03	19,064.03	18,728.91	18,728.91
December	17,276.02	17,276.02	17,306.27	17,306.27	17,008.22	17,008.22
kWh/year	226,750.91	226,750.91	226,889.80	226,889.80	222,501.37	222,501.37
kWh/m <sup>2</sup> .year	88.57	88.57	88.63	88.63	86.91	86.91
ค่าไฟต่อปี (baht)	680,252.72	680,252.72	680,669.40	680,669.40	667,504.11	667,504.11
ประหยัด (baht)	97,224.88	97,224.88	96,808.21	96,808.21	109,973.50	109,973.50
ประหยัด (%)	12.51	12.51	12.45	12.45	14.14	14.14
ค่าลงทุนก่อสร้าง	2,028,398.08	1,578,398.08	1,856,091.36	1,406,091.36	1,799,018.56	1,349,018.56
ค่าลงทุนเพิ่ม	1,455,393.28	1,005,393.28	1,283,086.56	833,086.56	1,226,013.76	776,013.76
การคืนทุน (year)	11.83	6.73	10.63	5.36	5.75	3.63

แผนภูมิที่ 5 อัตราการใช้พลังงานในรอบปีกรณีอาคารพักอาศัย (kWh/Year)

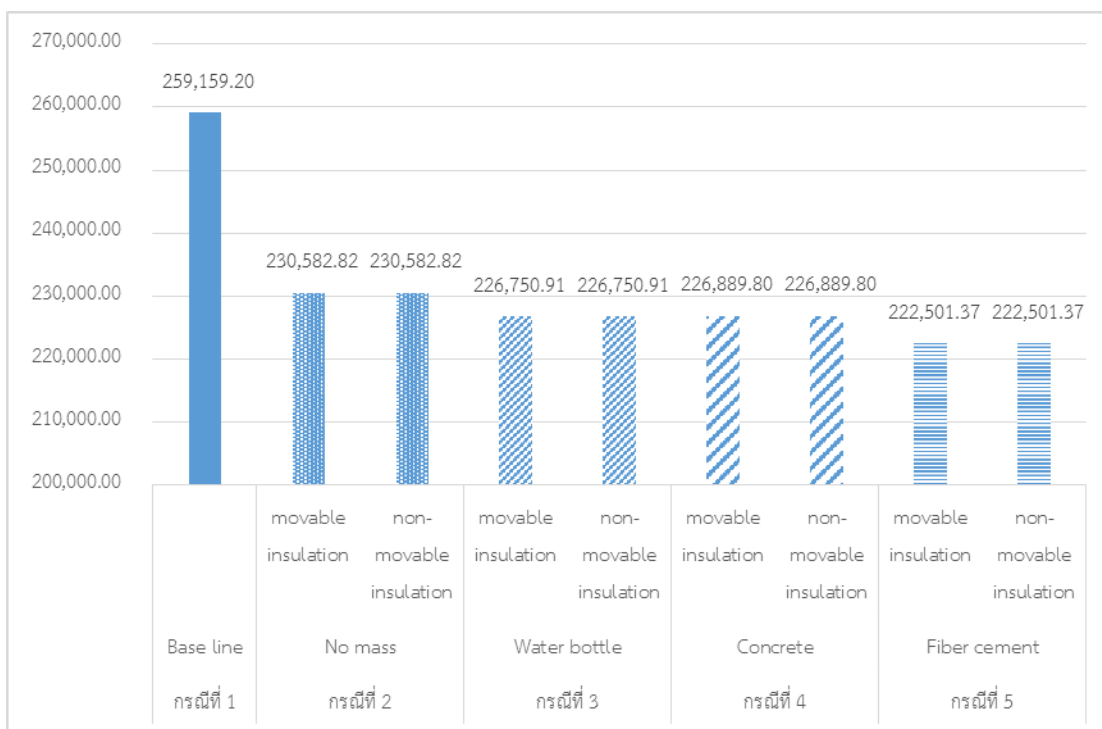


จากแผนภูมิที่ 5 อัตราการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัยพบว่ากรณีศึกษาที่ 2 ชนิดที่มีเปิด-ปิดฉนวน (No mass ; movable insulation) มีค่าสูงสุดที่ 130,637.33 kWh/Year ส่วนการใช้พลังงานต่ำสุดคือกรณีศึกษาที่ 5 ชนิดที่ไม่มีเปิด-ปิดฉนวน (Fiber cement ; non-movable insulation) อยู่ที่ 112,169.00 kWh/Year ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับอัตราการใช้พลังงานในรอบปีจากสูงไปต่ำได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; movable insulation)
2. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)
3. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; movable insulation)
4. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; movable insulation)
5. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; non-movable insulation)
6. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; non-movable insulation)
7. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; non-movable insulation)
8. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation)
9. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; non-movable insulation)



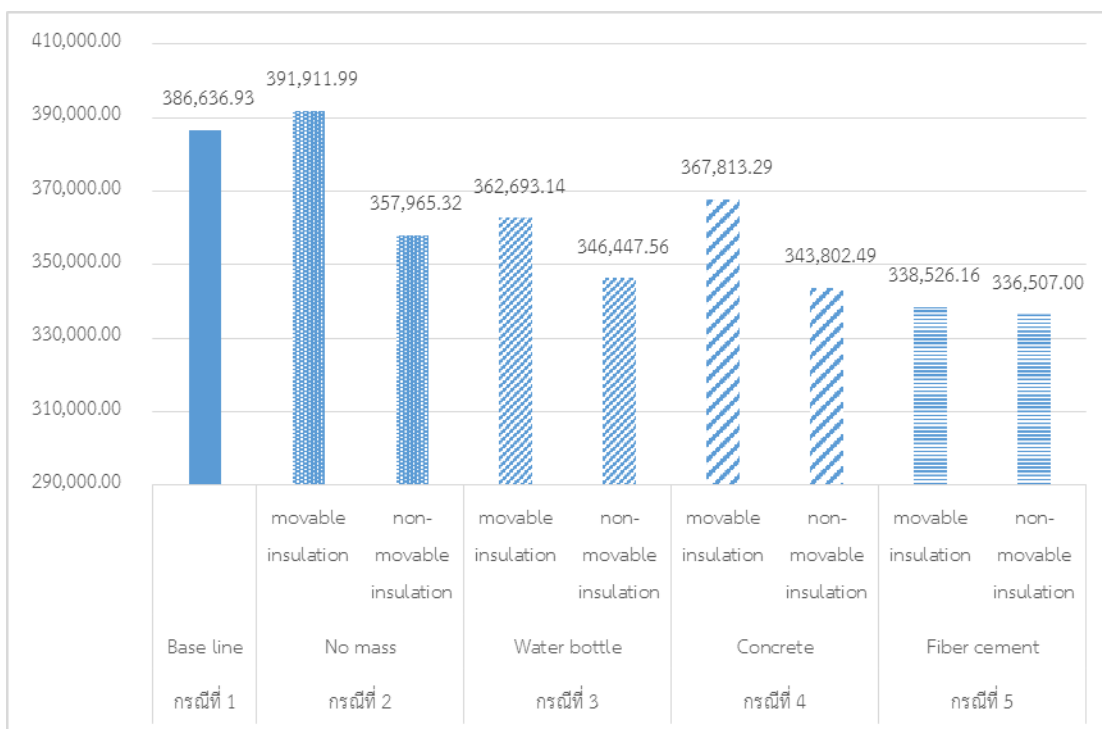
แผนภูมิที่ 6 อัตราการใช้พลังงานในรอบปีกรณีอาคารสำนักงาน (kWh/Year)



จากแผนภูมิที่ 6 อัตราการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานพบว่ากรณีศึกษาที่ 1 (Base line) มีค่าสูงสุดที่ 259,159.20 kWh/year ส่วนการใช้พลังงานต่ำสุดคือกรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation & non-movable insulation) โดยเปิด-ปิดฉนวนกับไม่มีเปิด-ปิดฉนวนมีค่าเท่ากันอยู่ที่ 222,501.37 kWh/year ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับอัตราการใช้พลังงานในรอบปีจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)
2. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; movable insulation & non-movable insulation)
3. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; movable insulation & non-movable insulation)
4. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; movable insulation & non-movable insulation)
5. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation & non-movable insulation)

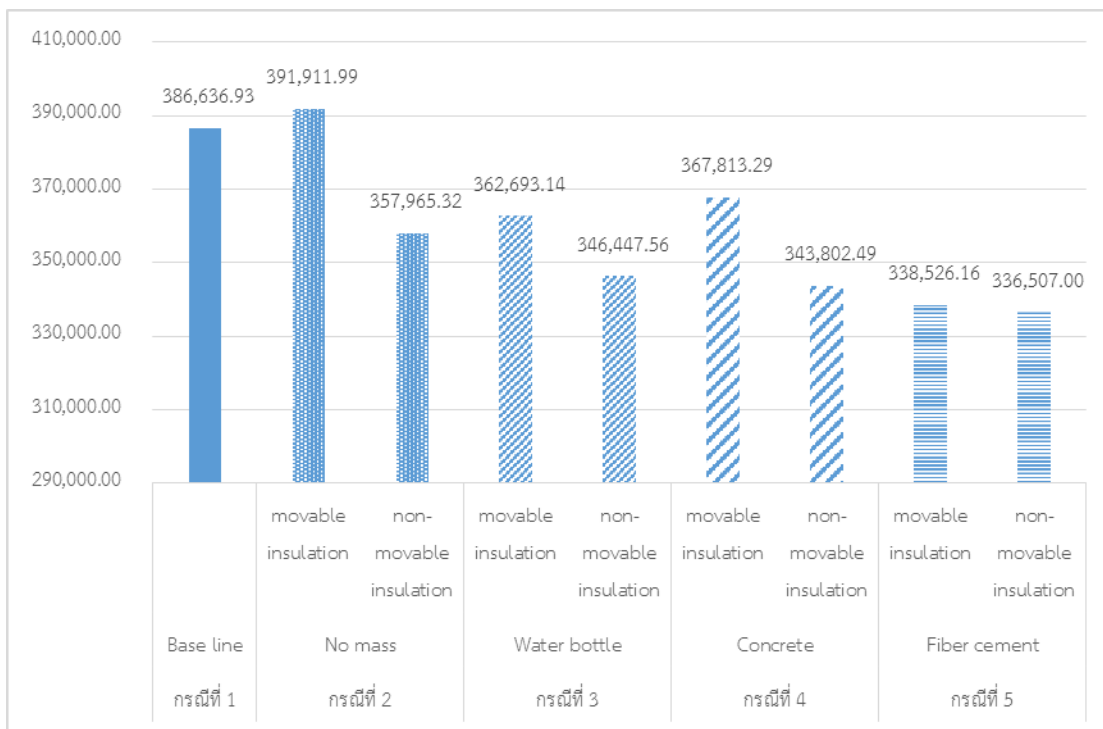
แผนภูมิที่ 7 ค่าไฟที่ใช้กรณีอาคารพักอาศัย (Baht/year)



จากแผนภูมิที่ 7 อัตราค่าไฟของอาคารพักอาศัยพบว่ากรณีศึกษาที่ 2 ชนิดที่มีเปิด-ปิดฉนวน (No mass ; movable insulation) มีค่าสูงสุดที่ 391,911.99 Baht/year ส่วนการใช้พลังงานต่ำสุดคือกรณีศึกษาที่ 5 ชนิดที่ไม่มีเปิด-ปิดฉนวน (Fiber cement ; non-movable insulation) อยู่ที่ 336,507.00 Baht/year ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับค่าไฟในรอบปีจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; movable insulation)
2. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)
3. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; movable insulation)
4. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; movable insulation)
5. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; non-movable insulation)
6. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; non-movable insulation)
7. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; non-movable insulation)
8. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation)
9. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; non-movable insulation)

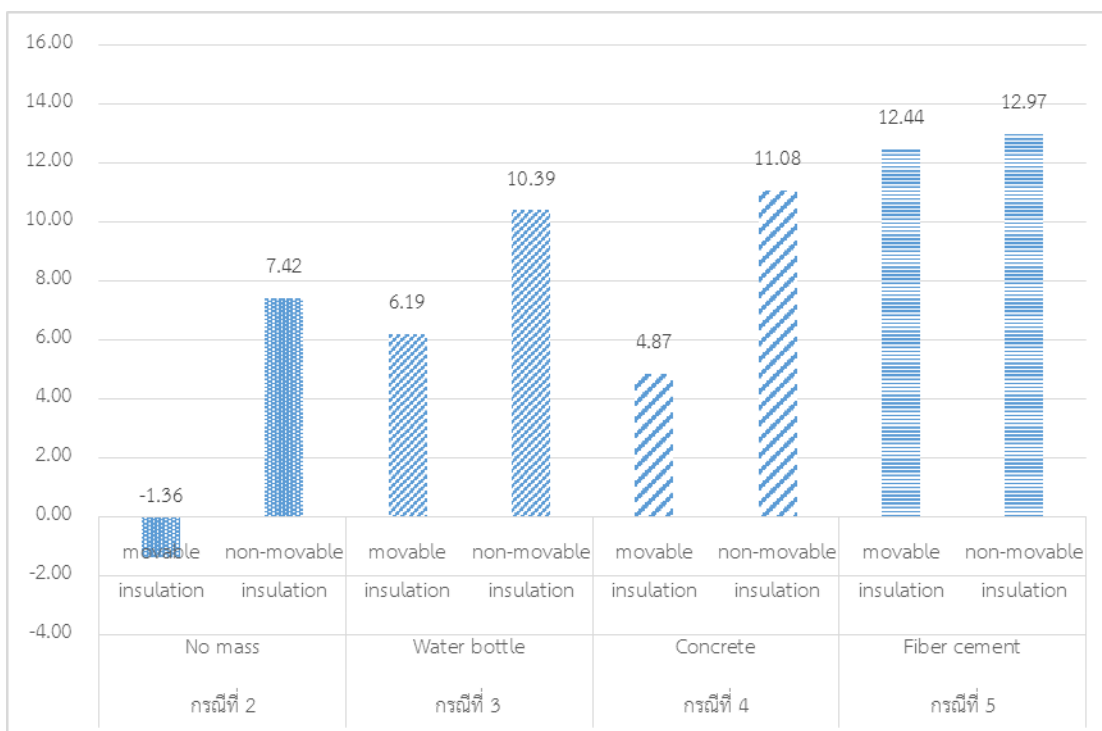
แผนภูมิที่ 8 ค่าไฟที่ใช้กรณีอาคารสำนักงาน (Baht/Year)



จากแผนภูมิที่ 8 อัตราการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานพบว่ากรณีศึกษาที่ 1 (Base line) มีค่าสูงสุดที่ 777,477.61 Baht/year ส่วนการใช้พลังงานต่ำสุดคือกรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation & non-movable insulation) โดยเปิด-ปิดฉนวนกับไม่มีเปิด-ปิดฉนวนมีค่าเท่ากันอยู่ที่ 667,504.11 Baht/year ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับค่าไฟในรอบปีจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)
2. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; movable insulation & non-movable insulation)
3. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; movable insulation & non-movable insulation)
4. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; movable insulation & non-movable insulation)
5. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation & non-movable insulation)

แผนภูมิที่ 9 สมรรถนะการประหยัดไฟกรณีอาคารพักอาศัย (%/year)

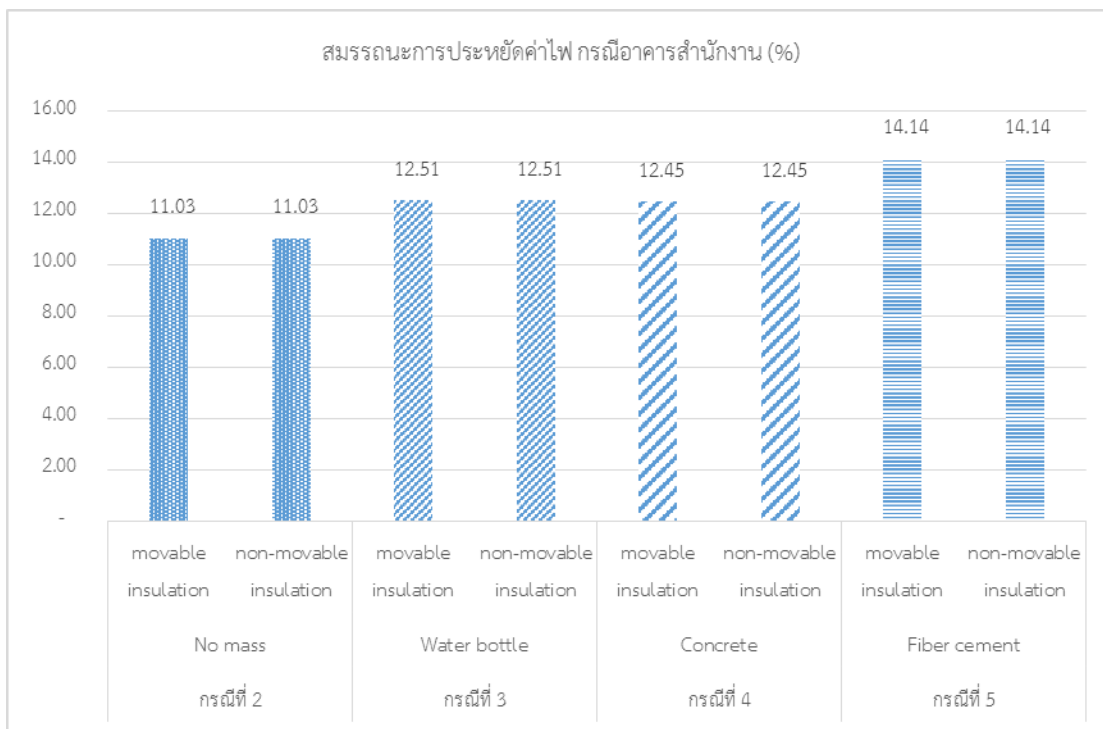


จากแผนภูมิที่ 9 สมรรถนะการประหยัดไฟในการใช้งานแบบอาคารพักอาศัยพบว่า กรณีศึกษาที่ 2 ชนิดที่มีเปิด-ปิดฉนวน (No mass ; movable insulation) มีสมรรถนะการประหยัดไฟแย่สุดที่ -1.36 %/year ส่วนกรณีศึกษาที่ 5 ชนิดที่ไม่มีเปิด-ปิดฉนวน (Fiber cement ; non-movable insulation) สามารถประหยัดไฟได้มากที่สุดอยู่ 12.97 %/year ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับสมรรถนะการประหยัดพลังงานจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; non-movable insulation)
2. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation)
3. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; non-movable insulation)
4. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; non-movable insulation)
5. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; non-movable insulation)
6. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; movable insulation)
7. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; movable insulation)
8. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; movable insulation)

\*ในการคำนวณสมรรถนะการประหยัดพลังงานใช้กรณีศึกษาที่ 1 (Base line) ในการเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาอื่น

แผนภูมิที่ 10 สมรรถนะการประหยัดไฟกรณีอาคารสำนักงาน (%/year)

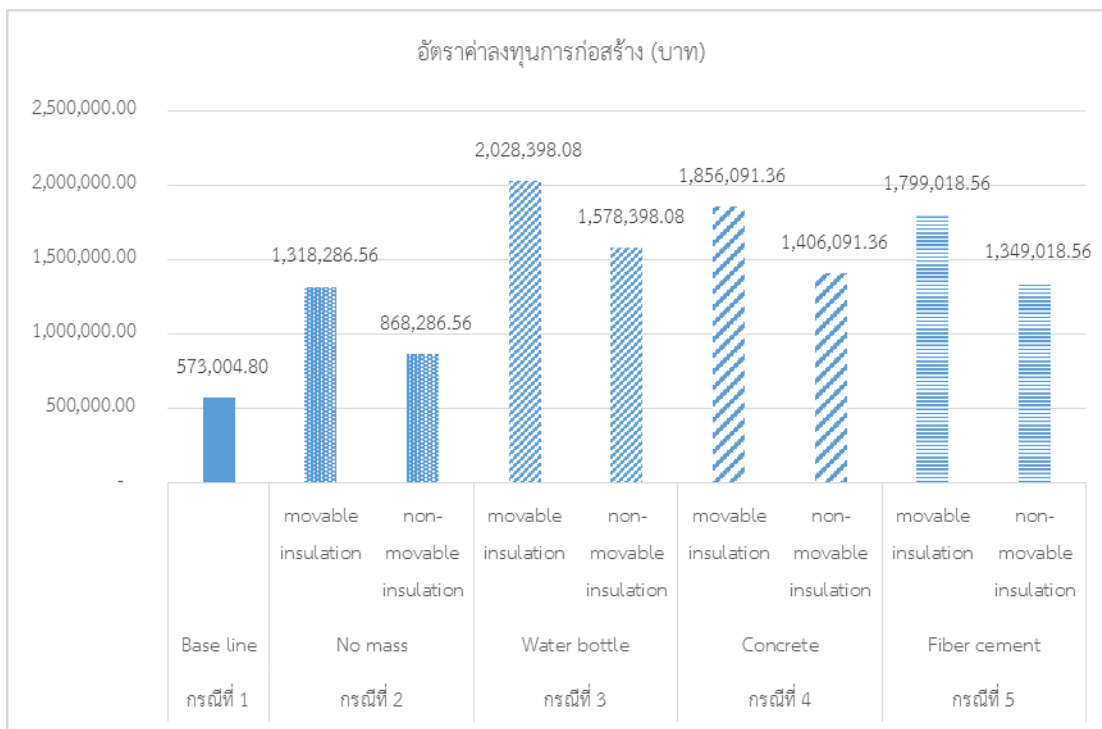


จากแผนภูมิที่ 10 สมรรถนะการประหยัดไฟในการใช้งานแบบอาคารสำนักงานพบว่า กรณีศึกษาที่ 2 (No mass) โดยเปิด-ปิดฉนวนกับไม่มีเปิด-ปิดฉนวนมีค่าเท่ากันมีสมรรถนะการประหยัดไฟสูงสุดที่ 11.03 %/year ส่วนกรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement movable insulation & non-movable insulation) โดยเปิด-ปิดฉนวนกับไม่มีเปิด-ปิดฉนวนมีค่าเท่ากันสามารถประหยัดไฟได้มากที่สุดอยู่ 14.14 %/year ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับสมรรถนะการประหยัดพลังงานจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation & non movable insulation)
2. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; movable insulation & non movable insulation)
3. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; movable insulation & non movable insulation)
4. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; movable insulation & non-movable insulation)

\*ในการคำนวณสมรรถนะการประหยัดพลังงานใช้กรณีศึกษาที่ 1 (Base line) ในการเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาอื่น

แผนภูมิที่ 11 ประมาณการค่าก่อสร้างหลังคากรณีศึกษา (Baht)

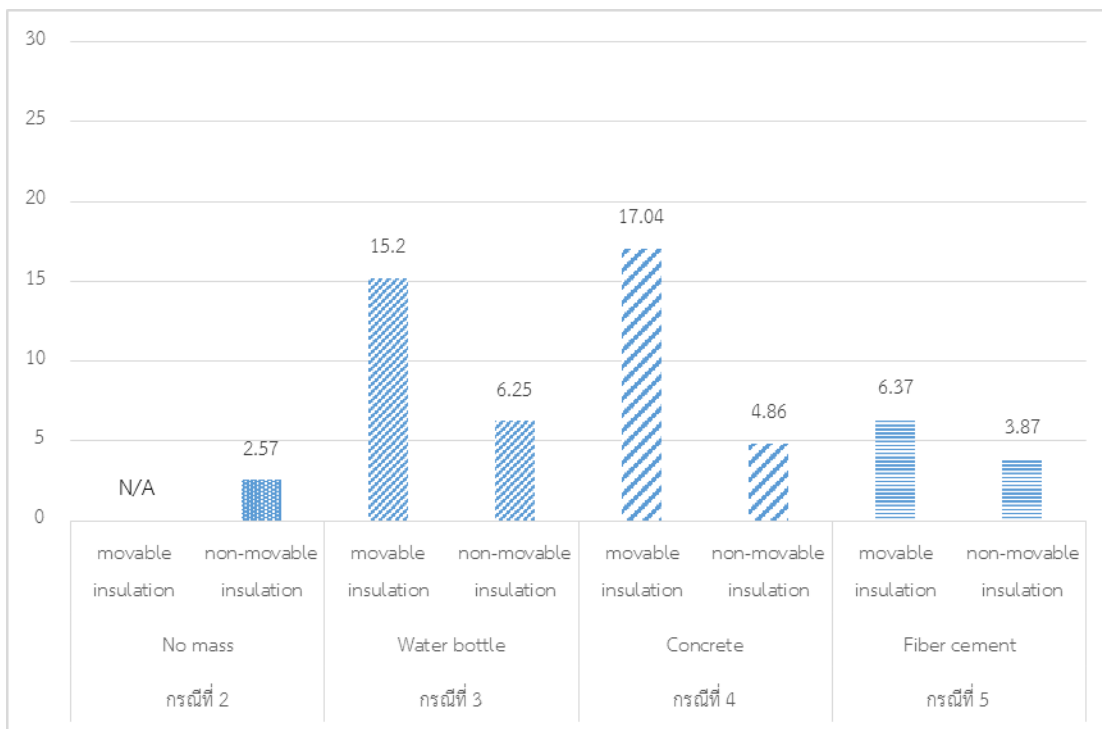


จากแผนภูมิที่ 11 การประมาณค่าก่อสร้างหลังคาพบว่ากรณีศึกษาที่ 1 (Base line) มีค่าก่อสร้างน้อยสุดที่ 573,004.80 Baht ส่วนกรณีศึกษาที่ 3 ชนิดที่มีเปิด-ปิดฉนวน (Water bottle ; movable insulation) มีค่าก่อสร้างมากที่สุดที่ 2,028,398.08 Baht ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับประมาณค่าก่อสร้างหลังคาจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; movable insulation)
2. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; movable insulation)
3. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation)
4. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; non-movable insulation)
5. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; non-movable insulation)
6. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; non-movable insulation)
7. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; movable insulation)
8. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; non-movable insulation)
9. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)

\*การคำนวณค่าก่อสร้างสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ตารางที่ 25 - 29

แผนภูมิที่ 12 อัตราคืนทุนค่าก่อสร้าง(โดยประมาณ) กรณีอาคารพักอาศัย (year)

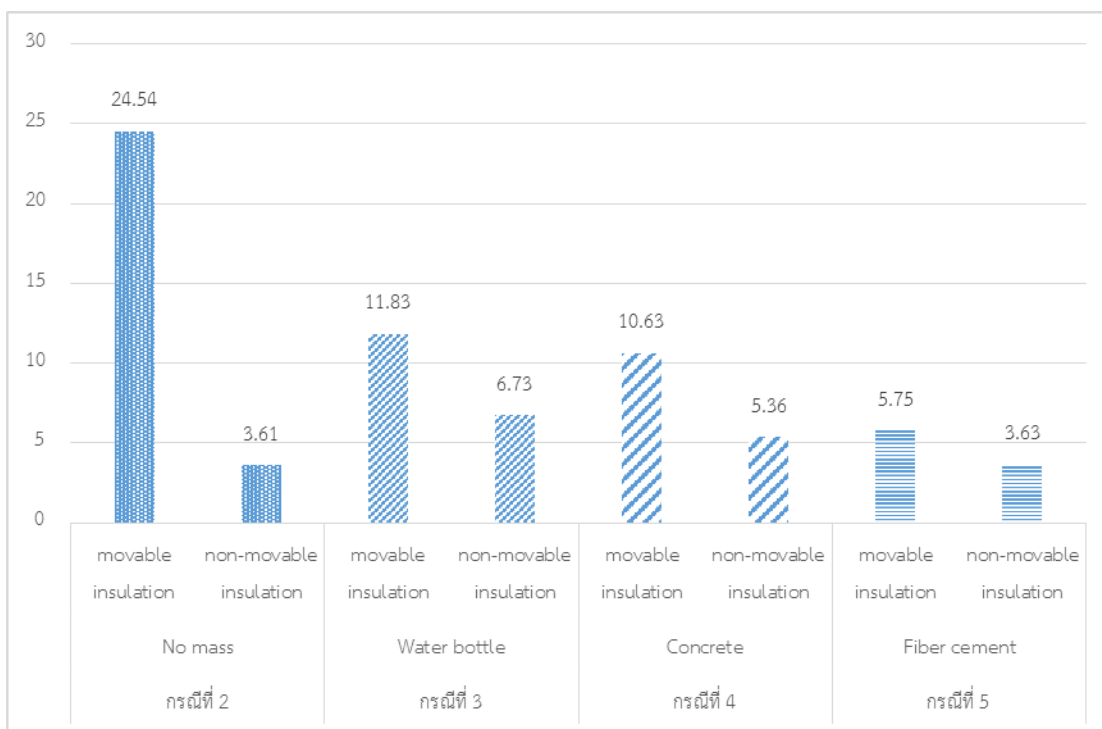


จากแผนภูมิที่ 12 อัตราการคืนทุนค่าก่อสร้างจากการใช้งานอาคารพักอาศัย พบว่ากรณีศึกษาที่ 2 ชนิดที่มีเปิด-ปิดฉนวน (No mass ; movable insulation) ไม่สามารถคืนทุนค่าก่อสร้างหลังคาได้เนื่องจากใช้พลังงานมากกว่ากรณีศึกษาที่ 1 (Base line) ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 ชนิดที่ไม่มีเปิด-ปิดฉนวน (No mass ; non-movable insulation) สามารถคืนทุนค่าก่อสร้างหลังคาได้เร็วสุดที่ 2 ปี 6 เดือน ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับการคืนทุนค่าก่อสร้างหลังคาจากเร็วสุดไปช้าสุดได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; non-movable insulation)
2. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; non-movable insulation)
3. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; non-movable insulation)
4. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; non-movable insulation)
5. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation)
6. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; movable insulation)
7. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; movable insulation)
8. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; movable insulation) \*ไม่สามารถคืนทุนได้

\*การคำนวณอัตราการคืนทุนค่าก่อสร้างใช้กรณีศึกษาที่ 1 (Base line) ในการเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาอื่นและใช้สูตรคำนวณ NPV จากโปรแกรม Excel ในการคำนวณอัตราคืนทุน

แผนภูมิที่ 13 อัตราการคืนทุนค่าก่อสร้าง(โดยประมาณ) กรณีอาคารสำนักงาน (year)



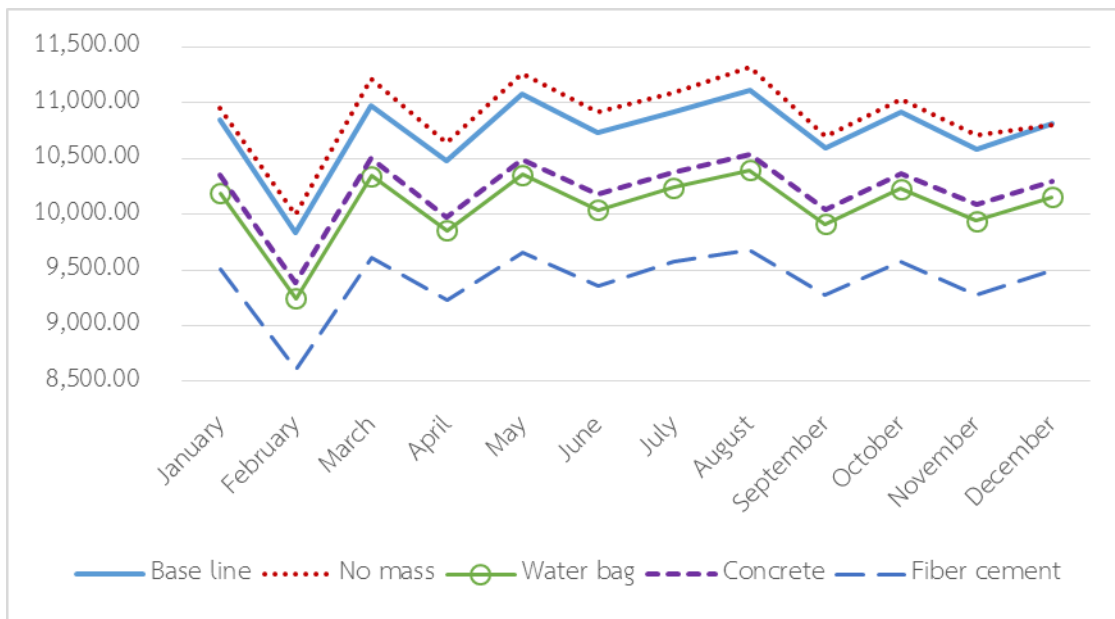
จากแผนภูมิที่ 13 อัตราการคืนทุนค่าก่อสร้างจากการใช้งานอาคารสำนักงาน พบว่ากรณีศึกษาที่ 2 ชนิดที่มีเปิด-ปิดฉนวน (No mass ; movable insulation) คืนทุนค่าก่อสร้างหลังคาได้ช้าสุดที่ 24 ปี 6 เดือน ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 ชนิดที่ไม่มีเปิด-ปิดฉนวน (No mass ; non-movable insulation) สามารถคืนทุนค่าก่อสร้างหลังคาได้เร็วสุดที่ 3 ปี 7 เดือน ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสามารถลำดับการคืนทุนค่าก่อสร้างหลังคาจากเร็วสุดไปช้าสุดได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; non-movable insulation)
2. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; non-movable insulation)
3. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; non-movable insulation)
4. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement ; movable insulation)
5. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; non-movable insulation)
6. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete ; movable insulation)
7. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle ; movable insulation)
8. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass ; movable insulation)

\*การคำนวณอัตราการคืนทุนค่าก่อสร้างใช้กรณีศึกษาที่ 1 (Base line) ในการเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาอื่นและใช้สูตรคำนวณ NPV จากโปรแกรม Excel ในการคำนวณอัตราคืนทุน

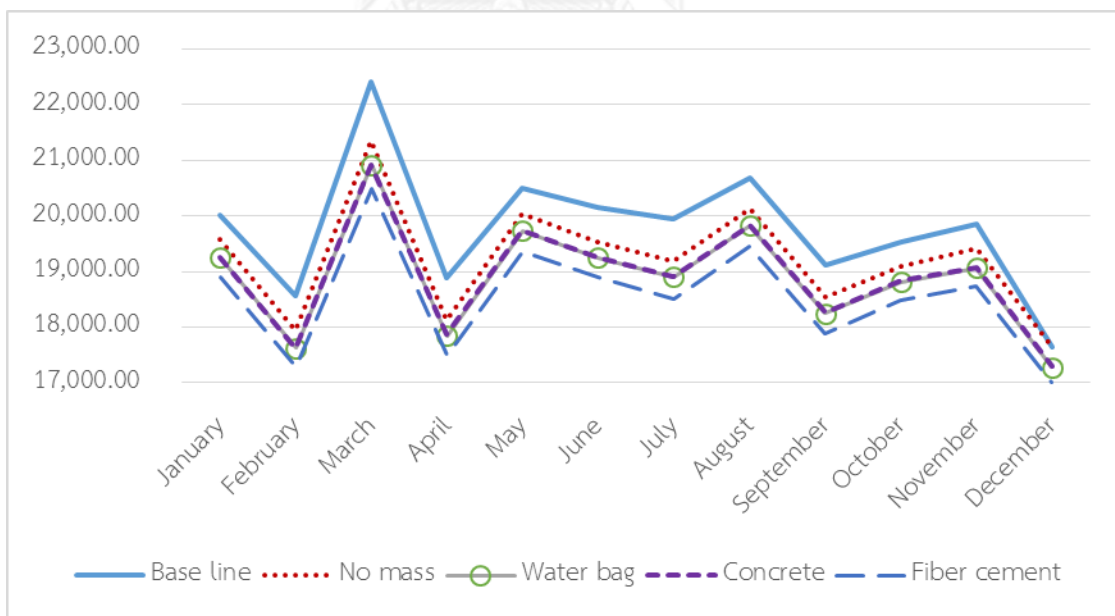


แผนภูมิที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย (kWh)



จากแผนภูมิที่ 14 อาคารพักอาศัยมีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเดือนสิงหาคมในทุกกรณีศึกษา และมีการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดเดือนกุมภาพันธ์ในทุกกรณีศึกษา

แผนภูมิที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน (kWh)

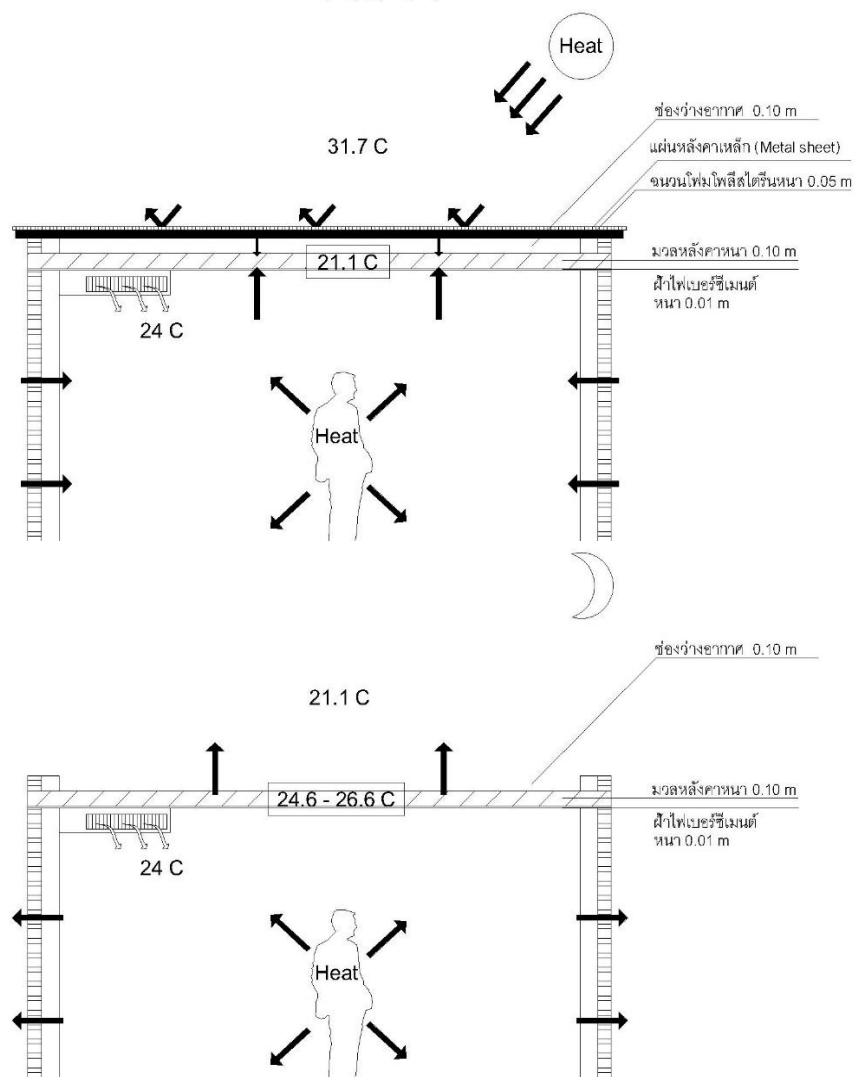


จากแผนภูมิที่ 15 อาคารสำนักงานมีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเดือนมีนาคมในทุกกรณีศึกษา และมีการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดเดือนธันวาคมในทุกกรณีศึกษา

## 4.2.2 วิเคราะห์และอภิปรายผลการจำลอง

### 4.2.2.1 วิเคราะห์การทำความเย็นของระบบหลังคา

จากผลการจำลองซึ่งได้ตั้งค่าอุณหภูมิการปรับอากาศของอาคารที่ 24 °C พบว่ากรณีที่มีการเปิด-ปิดฉนวนหลังคาจะใช้พลังงานสูงกว่ากรณีที่ไม่มีการเปิด-ปิดฉนวนหลังคา สำหรับการใช้งานแบบอาคารพักอาศัย ซึ่งตามทฤษฎีที่มีมวลอุณหภาพควรสะสมอุณหภูมิที่เย็นจากช่วงเวลากลางคืนด้วยการเปิดฉนวนออก เพื่อช่วยในการทำความเย็นให้กับอาคารในช่วงเวลาใช้งาน



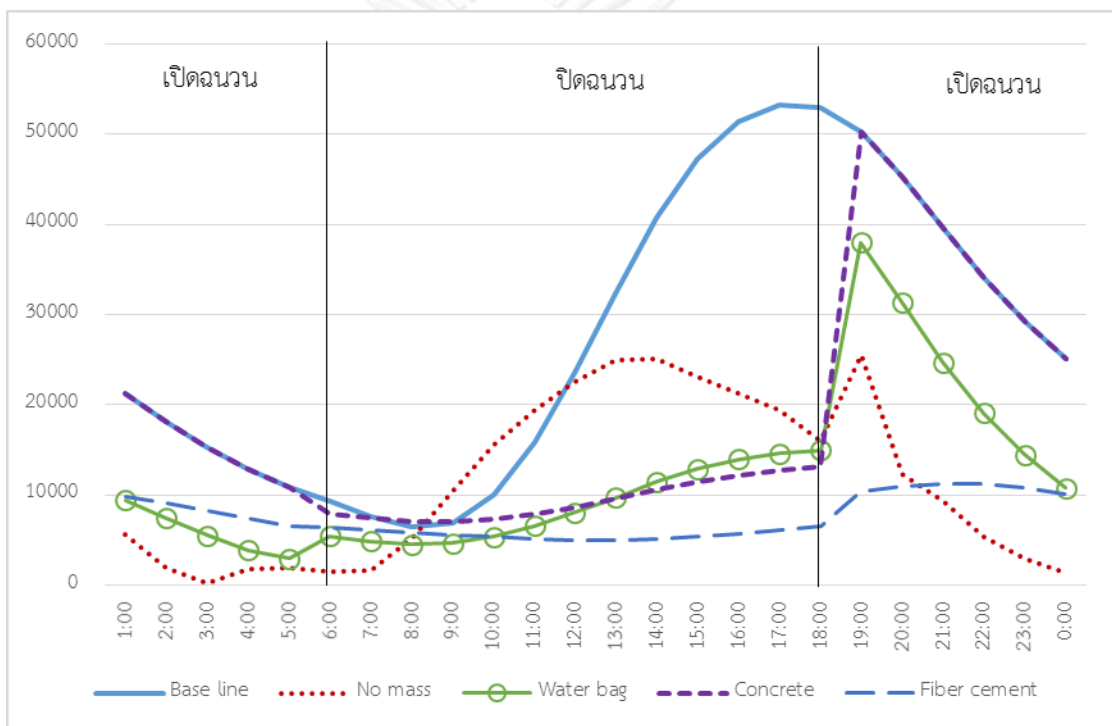
ภาพที่ 35 แสดงการถ่ายเทความร้อนกรณีอากาศภายนอกต่ำกว่าภายในอาคาร

จากภาพที่ 35 ในกรณีที่อากาศภายนอกอาคารช่วงเวลากลางคืนต่ำกว่าภายในอาคาร เมื่อมีการเปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลากลางวัน มวลอุณหภาพจะช่วยในการดูดกลืนความร้อนที่เกิดจากภายในอาคารและรังสีความร้อนที่ผ่านฉนวนกันความร้อนจากหลังคาลงมา ขณะที่ช่วงเวลากลางคืนที่มีการเปิดฉนวนออก มวลที่ร้อนขึ้นเนื่องจากการสะสมความร้อนจะถ่ายเทคืนสู่อากาศ

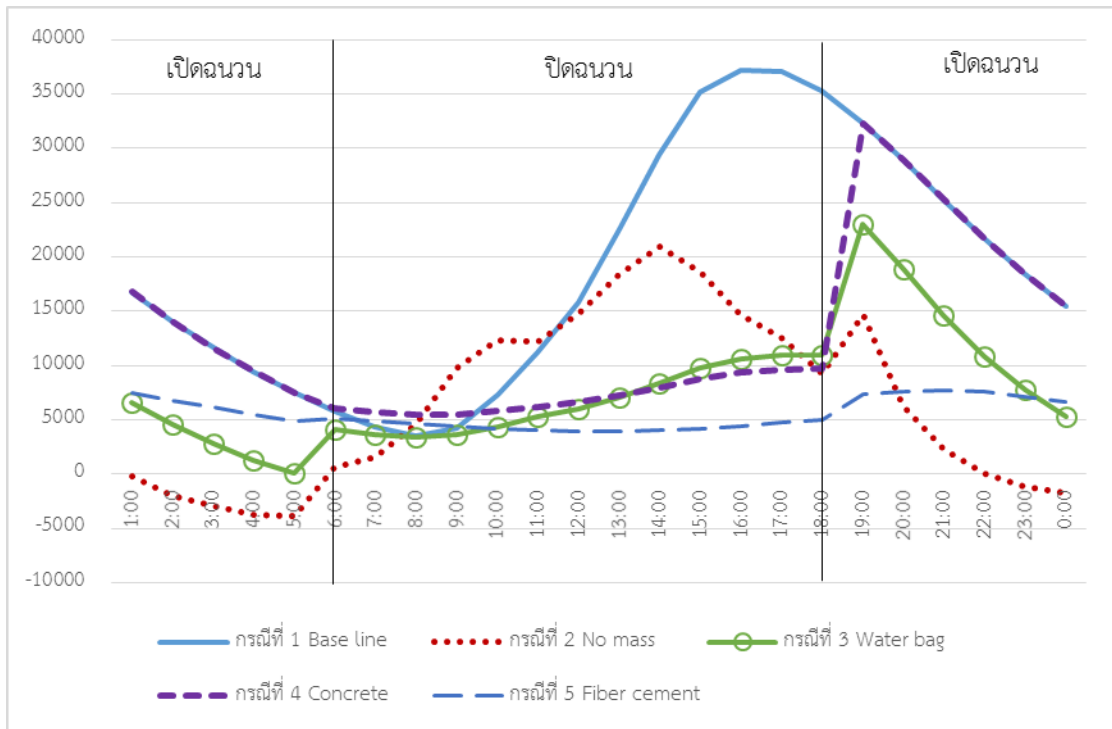
ภายนอกที่เย็นกว่าภายในอาคาร ซึ่งจากกรณีนี้จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานของอาคารได้ แต่การปิดฉนวนตลอดเวลา กลับสามารถช่วยให้เครื่องปรับอากาศทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าและประหยัดการใช้พลังงานมากกว่า

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศภายนอกของของไทย และอุณหภูมิการปรับอากาศภายในห้องพบว่าอุณหภูมิห้องขณะใช้งาน มีความต้องการปรับอากาศอยู่ที่ 24 - 25 °C ตามมาตรฐานการปรับอากาศ ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าอากาศภายนอกในช่วงเวลากลางคืนของฤดูร้อน และมีค่าสูงกว่าอากาศภายนอกในช่วงเวลากลางคืนของฤดูหนาว

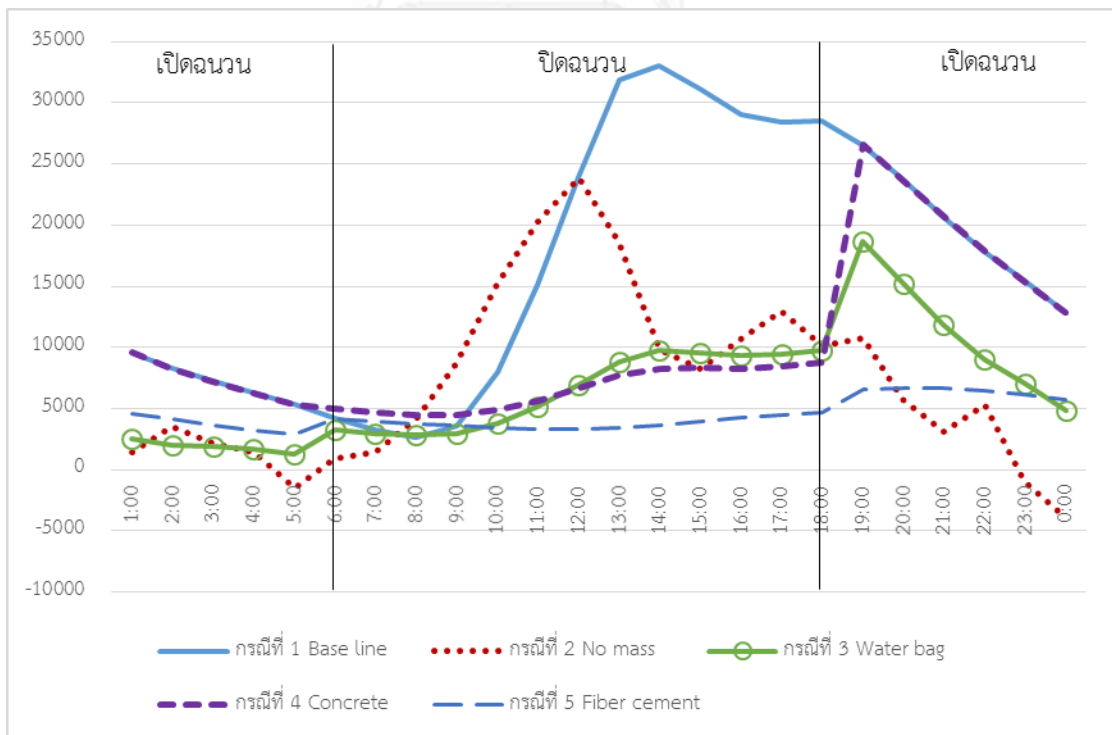
แผนภูมิที่ 16 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 20 มีนาคม (W)



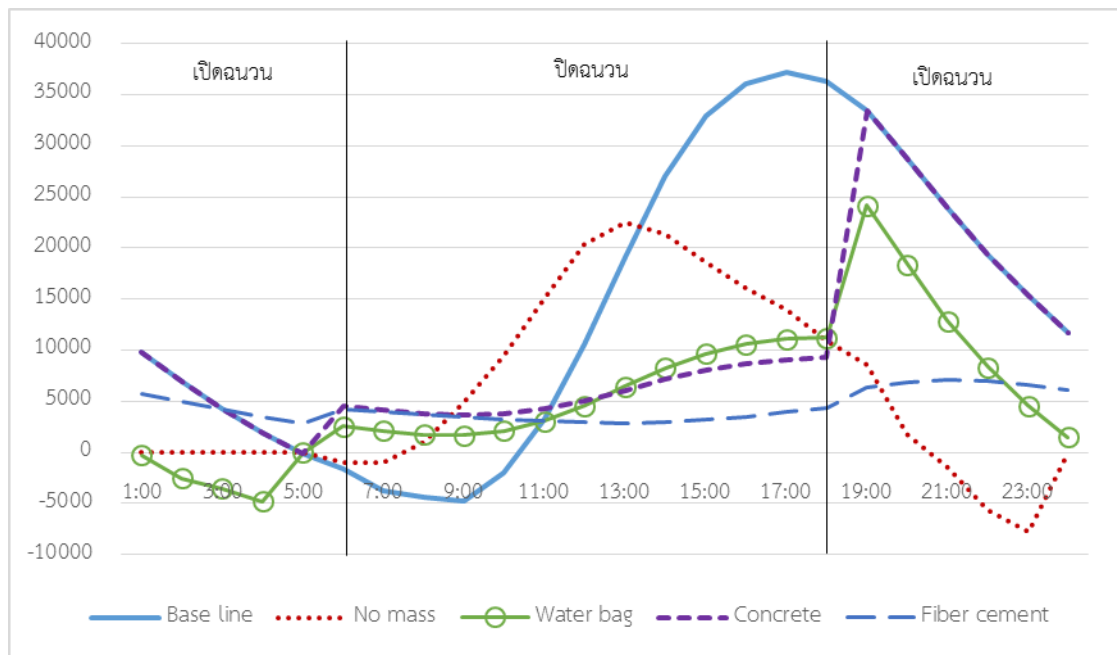
แผนภูมิที่ 17 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 21 มิถุนายน (W)



แผนภูมิที่ 18 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 23 กันยายน (W)

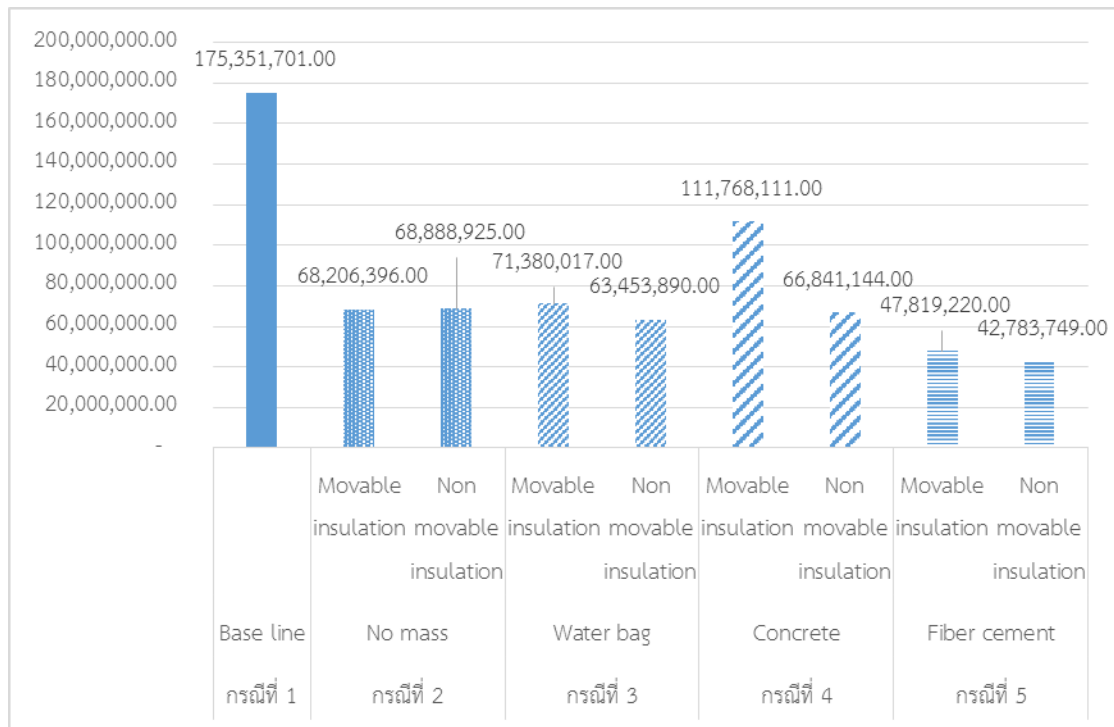


แผนภูมิที่ 19 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 21 ธันวาคม (W)



จากแผนภูมิที่ 16 - 19 เป็นการแสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารของกรณีศึกษาทั้งหมด หากพิจารณาในช่วงฤดูหนาวจะพบว่าในช่วงที่มีการเปิดฉนวนพลังงานช่วงเวลากลางคืน ความร้อนมีการถ่ายเทออกสู่ภายนอกอาคารตามทฤษฎีของ Givoni ยกเว้นกรณีศึกษาที่ 5 ซึ่งเป็นหลังคามวลอุณหภาพไฟเบอร์ซีเมนต์ที่สามารถหน่วงความร้อนได้นานที่สุด จากแผนภูมินี้แสดงให้เห็นว่าหลังคาที่มีการเปิดฉนวนช่วงเวลากลางคืนในฤดูหนาว สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะการปรับอากาศให้แก่อาคารได้อย่างไรก็ตามในช่วงเวลา 6:00 น. และ 18:00 - 19:00 น. ของกรณีศึกษาที่ 2 - 5 เห็นได้ว่ามีพลังงานความร้อนถ่ายเทผ่านหลังคาขึ้นสูงผิดปกติ โดยเฉพาะกรณีศึกษาที่ 4 และ 5 เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของโปรแกรม Visual DOE 4.1 ที่ไม่สามารถคำนวณช่วงรอยต่อของพลังงานระหว่างการเปิด-ปิดฉนวนได้ ทำให้พลังงานเฉพาะเวลาดังกล่าวขึ้นสูงผิดปกติ

แผนภูมิที่ 20 แสดงผลรวมพลังงานที่ไหลผ่านหลังคาตลอดทั้งปีในอาคารที่ปรับอากาศ (W)



จากแผนภูมิที่ 20 แสดงให้เห็นว่าอาคารที่ไม่มีเปิดฉนวนหลังคาจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมต่ำกว่าการที่มีการเปิดฉนวนในช่วงเวลากลางคืนในทุกกรณีศึกษา ยกเว้นเพียงกรณีศึกษาที่ 2 เพราะเนื่องจากเป็นหลังคาที่ไม่มีมวลอุณหภูมามีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดทำให้ระบายความร้อนได้เร็ว ส่งผลให้การเปิดฉนวนเวลากลางคืนในช่วงฤดูหนาวช่วยระบายความร้อนออกสู่ภายนอกอาคารได้ ในขณะที่กรณีศึกษาอื่นที่มีความเป็นมวลอุณหภูมามากกว่า มีค่าการการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่า ทำให้ระบายความร้อนได้ช้า ส่งผลให้การเปิดฉนวนเวลากลางคืนในช่วงฤดูหนาวช่วยระบายความร้อนออกสู่ภายนอกอาคารได้น้อย

ตารางที่ 12 สรุปผลการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากหลังคา (W)

	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5
	Base line	No mass	Water bag	Concrete	Fiber cement
คือผลรวมพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารตลอดทั้งปี (W)	175,948,578.00	74,731,386.00	72,430,474.00	111,832,318.00	47,819,220.00
คือผลรวมพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทออกสู่ภายนอกตลอดทั้งปี (W)	596,877.00	6,524,990.00	1,050,457.00	64,207.00	0.00
คือจำนวนชั่วโมงที่พลังงานความร้อนถ่ายเทออกสู่ภายนอกเมื่อเปิดฉนวนเวลากลางคืน	300.00	1,984.00	564.00	44.00	0.00
คือจำนวนวันที่พลังงานความร้อนถ่ายเทออกสู่ภายนอกเมื่อเปิดฉนวนเวลากลางคืน	25.00	165.00	47.00	4.00	0.00
*คือปริมาณพลังงานความร้อนถ่ายเทออกสู่ภายนอกต่อตารางเมตรเฉลี่ยในรอบปี (W/m <sup>2</sup> )	2.55	27.93	4.49	0.27	0.00

หมายเหตุ \* คำนวณจาก ((ผลรวมพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทออกสู่ภายนอกตลอดทั้งปี) / [365 x พื้นที่หลังคาอาคาร])

จากตารางที่ 12 ค่าผลรวมพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารตลอดทั้งปีโดยกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าสูงสุดที่ 175,948,578 W กรณีศึกษาที่ 5 มีค่าน้อยสุดที่ 47,819,220 W

ผลรวมพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทออกสู่ภายนอกตลอดทั้งปีโดยกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าสูงสุดที่ 6,524,990 W กรณีศึกษาที่ 5 มีค่าน้อยสุดที่ 0 W

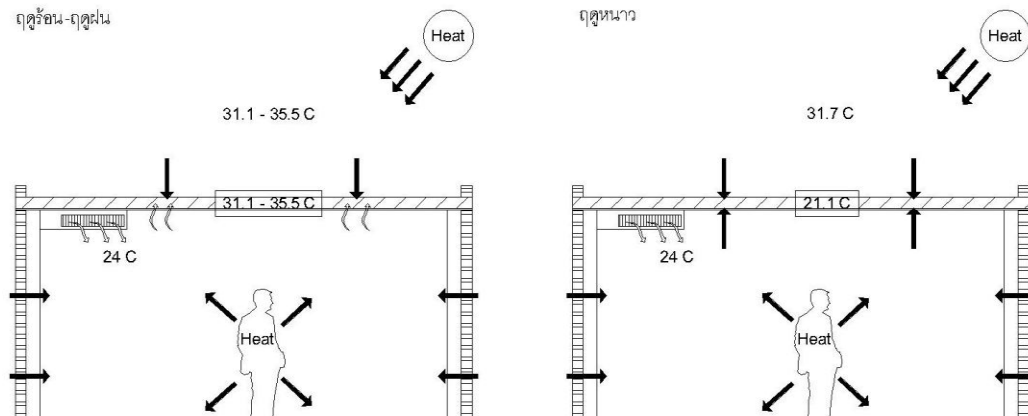
เมื่อนำมาคิดเป็นจำนวนวันที่พลังงานความร้อนถ่ายเทออกสู่ภายนอก พบว่ากรณีศึกษาที่ 2 มีจำนวนวันสูงสุดที่ 165 วันที่เปิดฉนวนเวลากลางคืนสามารถถ่ายเทพลังงานความร้อนออกสู่ภายนอกได้ ส่วนกรณีศึกษาที่ 5 มีจำนวนวันน้อยสุดที่ 0 วัน

ทั้งนี้หากพิจารณาถึงสมรรถนะ

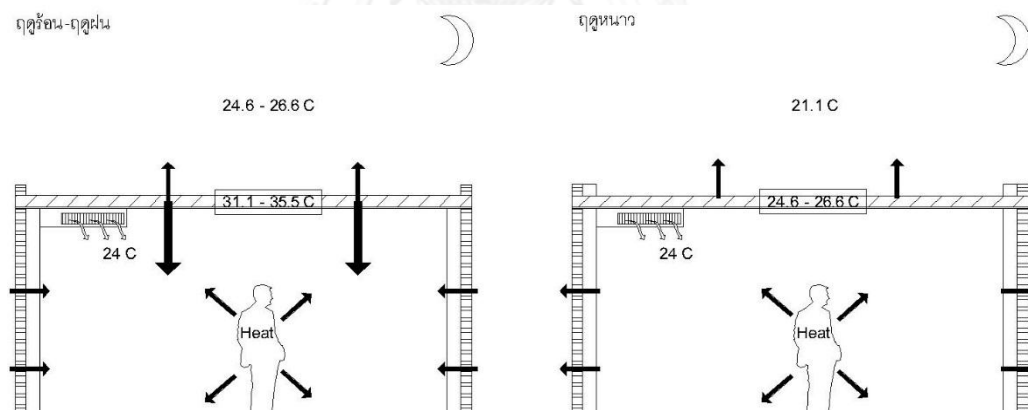
หลังคามวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด การเปิดฉนวนเพื่อลดการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืน ต้องเลือกเปิดในช่วงของวันที่พลังงานความร้อนถ่ายเทออกสู่ภายนอกเท่านั้น ตามทฤษฎีของ Givoni, (1994) จากตารางที่ 12 และแผนภูมิที่ 16-19 แสดงให้เห็นว่าหากใช้ระบบดังกล่าวในภูมิอากาศร้อนชื้นของไทย ควรเลือกใช้หลังคากรณีศึกษาที่ 2 ในการเปิดฉนวนเวลา

กลางวัน เพราะจะมีจำนวนวันที่สามารถใช้งานได้สูงที่สุด และมีปริมาณพลังงานความร้อนถ่ายเทออกสู่ภายนอกต่อตารางเมตรเฉลี่ยในรอบปีสูงที่สุดที่  $27.93 \text{ W/m}^2$  อย่างไรก็ตามข้อมูลสรุปของตารางที่ 12 นี้นำมาพิจารณาเฉพาะช่วงเวลาการเปิดฉนวนเท่านั้น

จากการวิเคราะห์สามารถสรุปเป็นพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนของอาคารได้ดังนี้



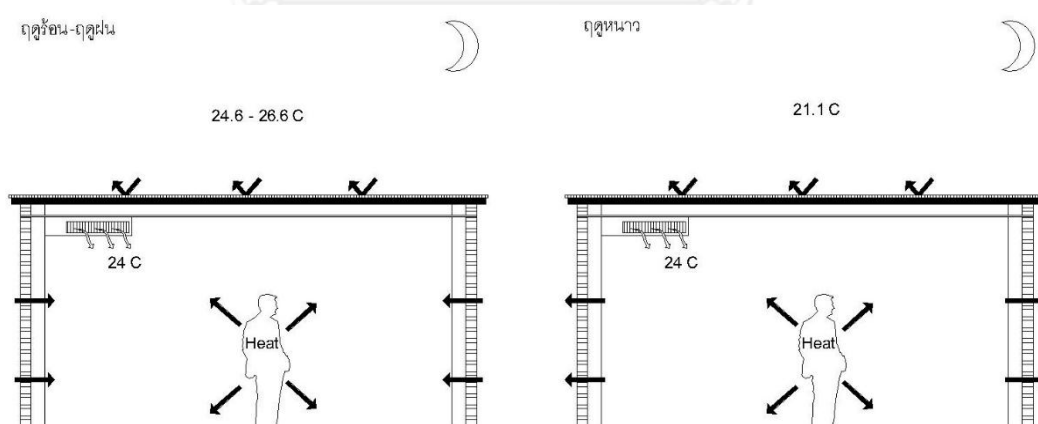
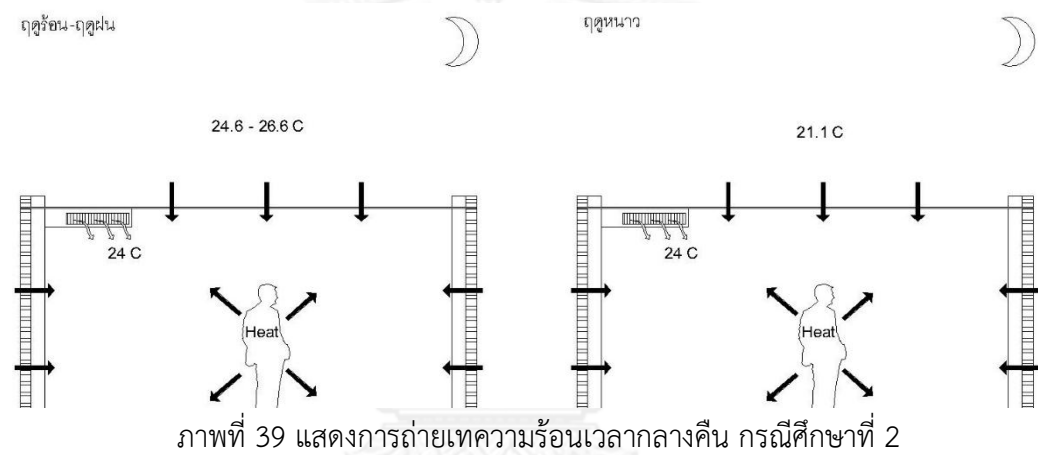
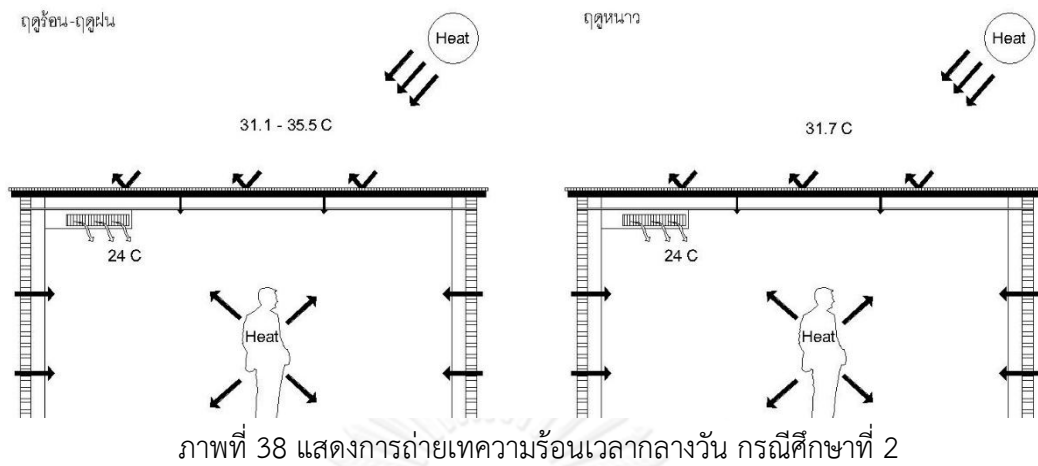
ภาพที่ 36 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางวัน ทัศนศึกษาที่ 1



ภาพที่ 37 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางคืน ทัศนศึกษาที่ 1

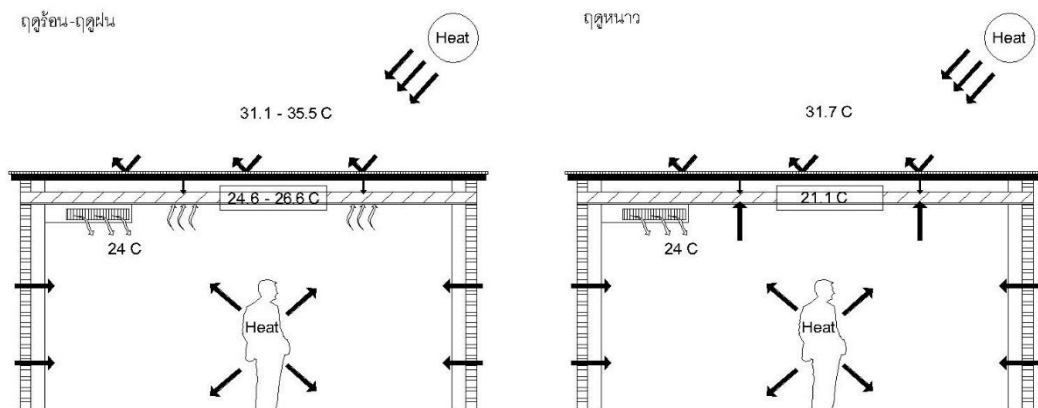
จากภาพที่ 36 และ 37 แสดงการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในอาคารที่มีการปรับอากาศกับภายนอกอาคารของทัศนศึกษาที่ 1 หลังคาคอนกรีตไม่มีฉนวนปิดหลังคา (Base line) แนวโน้มในช่วงเวลากลางวันหลังคาคอนกรีตจะรับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ทำให้อุณหภูมิผิวเพิ่มขึ้นสูงและเกิดการถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารที่มีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่า ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนเวลากลางคืนความร้อนที่สะสมในหลังคาคอนกรีตจะถ่ายเทเข้าสู่อาคารซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายนอก ในส่วนของฤดูหนาวการถ่ายเทความร้อนจะถ่ายเทสู่อากาศภายนอกเนื่องจากมีอุณหภูมิต่ำกว่า



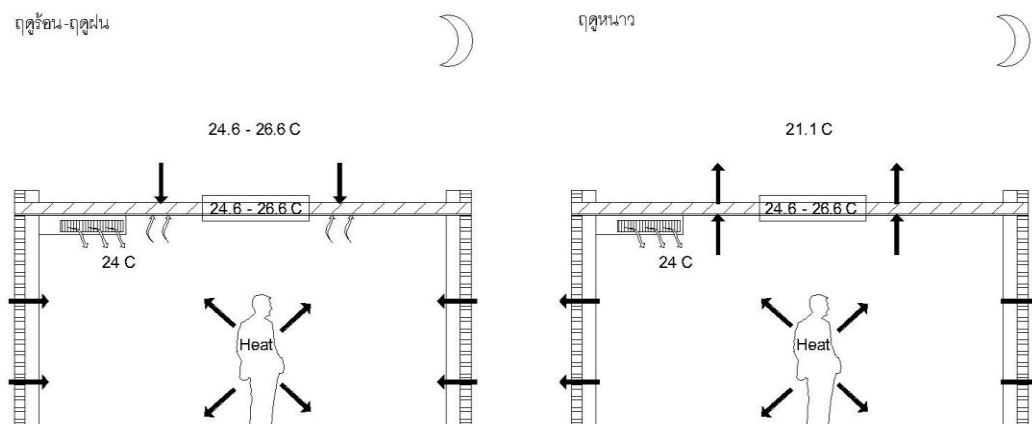


จากภาพที่ 38 ในช่วงเวลากลางวันฉนวนกันความร้อนจะช่วยป้องกันไม่ให้รังสีความร้อนเข้าสู่อาคารโดยตรง แต่เนื่องจากไม่มีมวลอุณหภูมิกอห้วงความร้อน ความพลังงานความร้อนสามารถถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้มากกว่ากรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5 ซึ่งมีมวลอุณหภูมิกอห้วงความร้อนไว้ ในช่วงฤดูร้อนเวลากลางคืนความร้อนจะถ่ายเทเข้าสู่อาคารโดยตรงเนื่องจากมีอุณหภูมิภายในต่ำกว่า

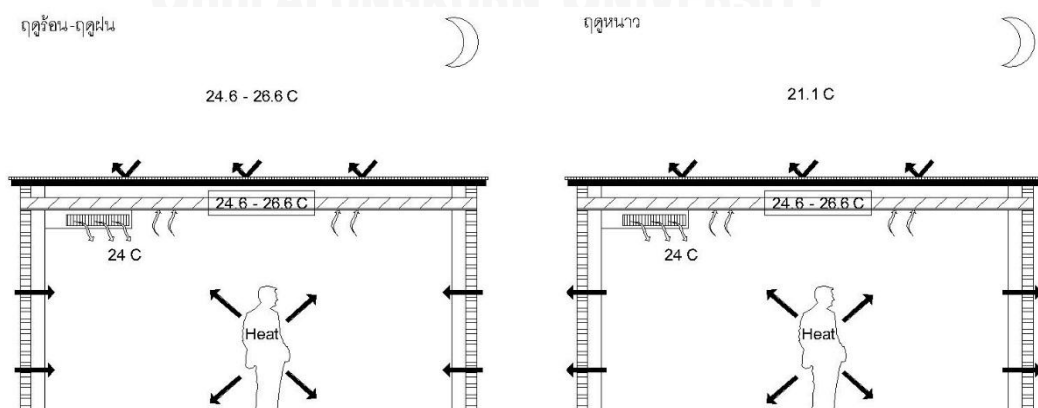
ส่วนฤดูหนาวช่วงเวลากลางคืนความร้อนจะถ่ายเทออกสู่ภายนอกโดยตรงเนื่องจากมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าตามภาพที่ 39 หากมีการปิดฉนวนในเวลากลางคืนตามภาพที่ 40 ฉนวนจะช่วยป้องกันไม่ให้ความร้อนจากภายนอกถ่ายเทเข้าสู่อาคารในทางกลับกันอุณหภูมิภายในจะไม่สามารถระบายความร้อนสู่อากาศภายนอกผ่านหลังคาในช่วงฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำกว่าได้



ภาพที่ 41 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางวัน กรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5



ภาพที่ 42 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางคืน กรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5



ภาพที่ 43 แสดงการถ่ายเทความร้อนเวลากลางคืนหากปิดฉนวน กรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5

เมื่อพิจารณาในกรณีที่ 3, 4 และ 5 ซึ่งมีฉนวนหลังคาปิดมวลดอุณหภูมิในเวลากลางวัน และเปิดออกในเวลากลางคืน ช่วงเวลากลางวันฉนวนจะช่วยป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และกักเก็บความเย็นไว้ภายในอาคาร ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนเวลากลางคืนที่มีการเปิดฉนวน ความร้อนจากภายนอกอาคารจะถ่ายเทเข้าสู่อาคารเนื่องจากมีอุณหภูมิสูงกว่า ในส่วนของฤดูหนาวช่วงเวลากลางคืน การถ่ายเทความร้อนจะถ่ายเทสู่อากาศภายนอกที่มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าตามภาพที่ 41 และ 42 หากมีการปิดฉนวนในเวลากลางคืนตามภาพที่ 43 ฉนวนจะช่วยป้องกันไม่ให้ความร้อนจากภายนอกถ่ายเทเข้าสู่อาคารในทางกลับกันมวลดจะไม่สามารถระบายความร้อนสู่อากาศภายนอกในช่วงฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำกว่าได้

#### 4.2.2.2 วิเคราะห์ผลการจำลอง

เมื่อวิเคราะห์ถึงการใช้พลังงานในแต่ละเดือนพบว่ามีการใช้พลังงานสูงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนสิงหาคม เพราะเป็นช่วงฤดูร้อนที่มีอากาศภายนอกสูงในขณะที่ช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์จะมีความต้องการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าเนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำ

ตารางที่ 13 แสดงการใช้พลังงานสูงสุด (Peak load) ในรอบปีของกรณีศึกษา (kWh)

Month	กรณีที่ 1 Base line	กรณีที่ 2 No mass		กรณีที่ 3 Water bottle	
		movable insulation	non-movable insulation	movable insulation	non-movable insulation
peak load (Resident)	64.917	73.489	58.528	62.562	55.304
peak load (Office)	108.656	102.295	102.295	98.535	98.535

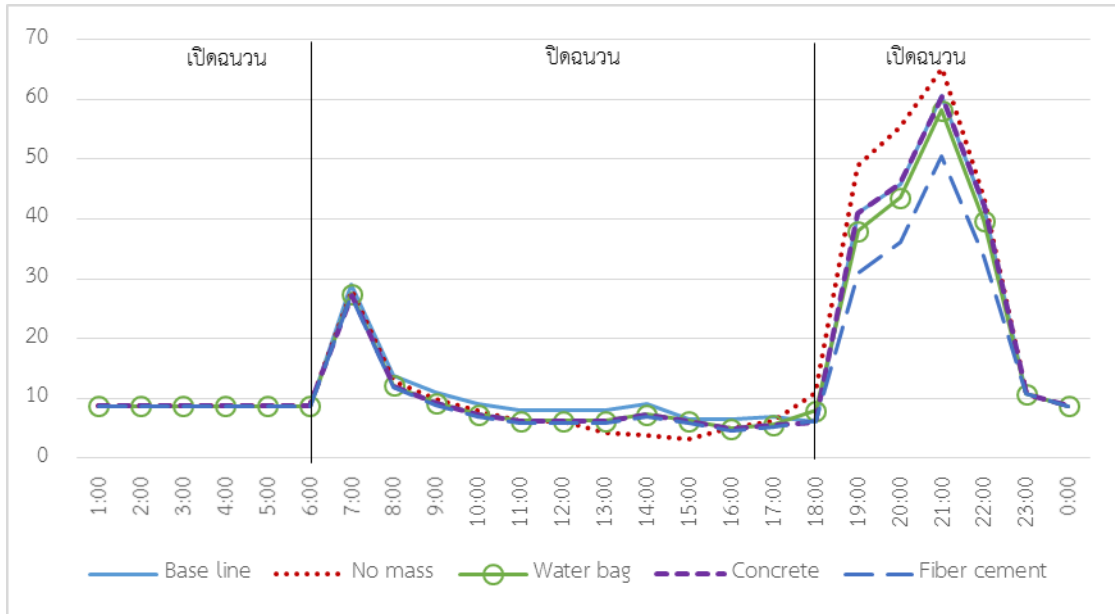
  

Month	กรณีที่ 4 Concrete		กรณีที่ 5 Fiber cement	
	movable insulation	non-movable insulation	movable insulation	non-movable insulation
peak load (Resident)	64.917	54.754	54.404	53.355
peak load (Office)	97.866	97.866	96.358	96.358

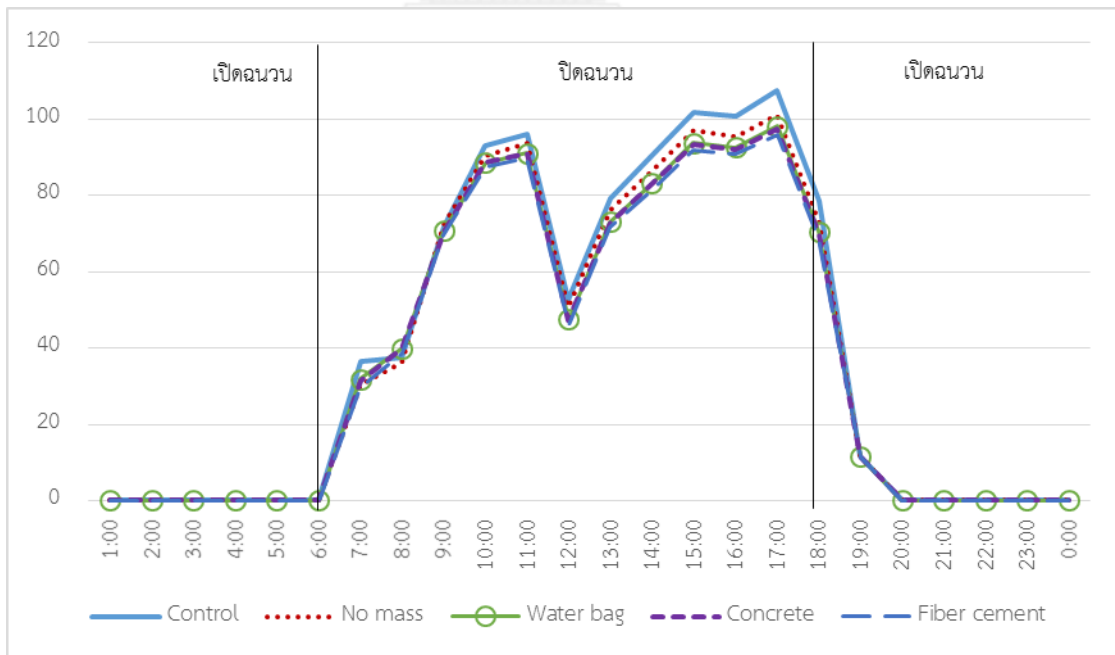
จากตารางที่ 13 แสดงการใช้พลังงานสูงสุดในรอบปี พบว่ามีการใช้สูงสุดที่กรณีศึกษาที่ 2 ชนิดเปิด-ปิดฉนวนได้ ส่วนกรณีที่ใช้ต่ำสุดคือกรณีศึกษาที่ 5 ชนิดไม่เปิดฉนวนเวลากลางคืน

อย่างไรก็ตามหากวิเคราะห์เฉพาะกรณีที่มีการเปิดฉนวนในช่วงเวลากลางคืน (movable insulation) สามารถนำมาสรุปเป็นแผนภูมิการใช้พลังงานได้ต่อไปนี้

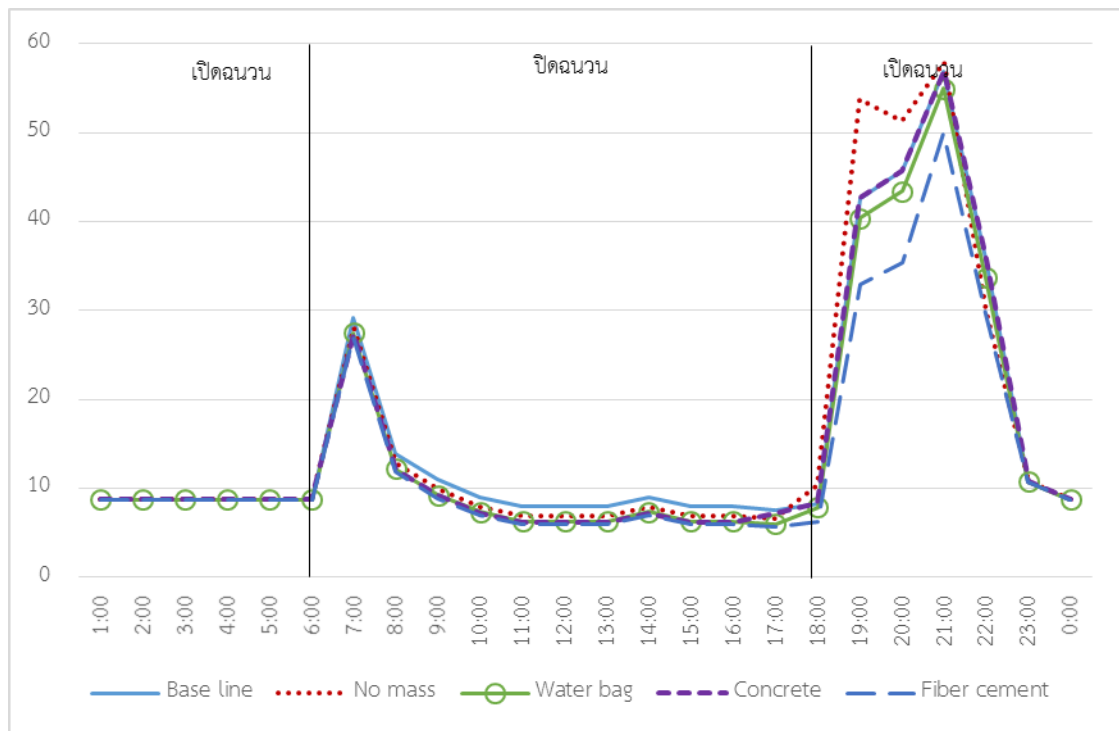
แผนภูมิที่ 21 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัย ในวันที่ 20 มีนาคม (kWh)



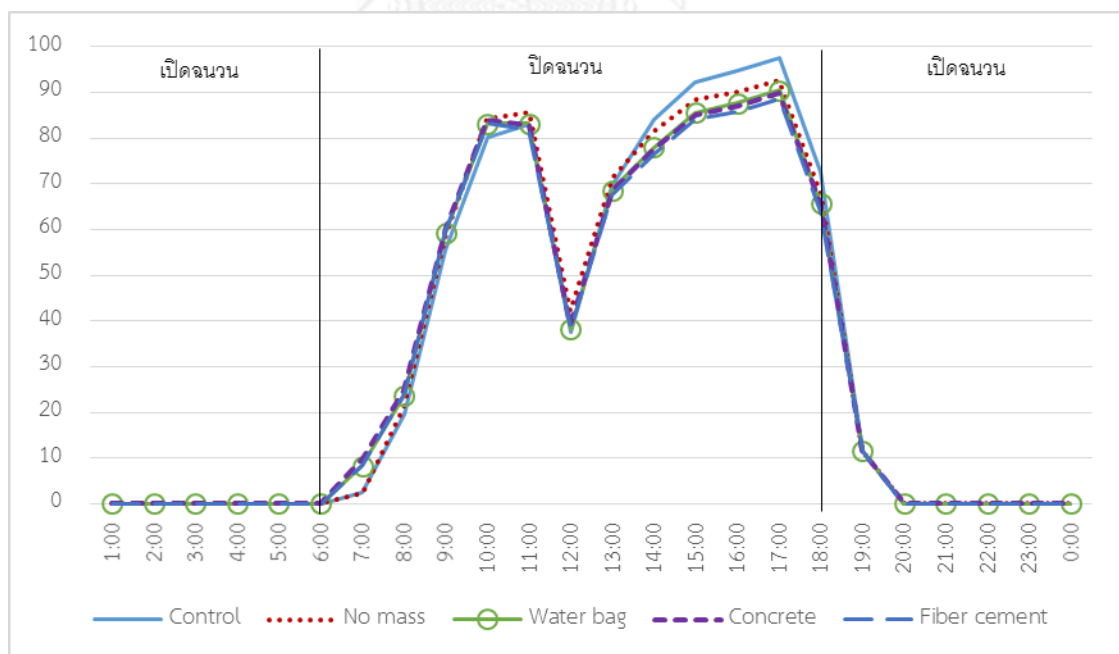
แผนภูมิที่ 22 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ในวันที่ 20 มีนาคม (kWh)



แผนภูมิที่ 23 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัย ในวันที่ 21 ธันวาคม (kWh)



แผนภูมิที่ 24 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ในวันที่ 21 ธันวาคม (kWh)



เมื่อพิจารณาเฉพาะกรณีหลังคาเปิด-ปิดฉนวนได้ จากแผนภูมิที่ 21 - 24 เป็นการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัยและสำนักงานในช่วงฤดูร้อน (20 มีนาคม) และฤดูหนาว (21 ธันวาคม) การใช้พลังงานของอาคารพักอาศัยในช่วงฤดูร้อน (20 มีนาคม) และฤดูหนาว (21 ธันวาคม) ของช่วงเวลา 18:00 – 24:00 เป็นการพิสูจน์ว่าในช่วงฤดูร้อนนั้นมีค่าการใช้พลังงานสูงสุดสูงกว่าในช่วงฤดูหนาว โดยในฤดูหนาวช่วงใช้งานกลางคืนเวลา 21:00 – 24:00 น. มีการใช้พลังงานที่ลดลง โดยเฉพาะการใช้พลังงานของกรณีศึกษาที่ 2 ในช่วงเวลา 22:00 น. ในวันที่ 21 ธันวาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว มีค่าความชันแผนภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อพิจารณาพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 21 ธันวาคมจาก พบว่ากรณีศึกษาที่ 2 มีการถ่ายเทความร้อนคืนสู่ภายนอกสูงที่สุดในช่วงเวลาดังกล่าว จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การใช้พลังงานในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ต่ำสุด

จากข้อมูลการใช้พลังงานสูงสุด ทำให้สามารถวิเคราะห์ในภาพรวมได้ว่าการเปิดฉนวนเวลากลางคืนในฤดูหนาวจะสามารถช่วยเสริมสมรรถนะการใช้พลังงานของอาคารตามการออกแบบของ Givoni แต่การเปิดฉนวนเวลากลางคืนในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน จะทำให้พลังงานความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคารเป็นส่วนใหญ่ทำให้การใช้พลังงานสูงขึ้น ดังนั้นการเปิด-ปิดฉนวนอาคารควรเป็นไปตามสภาพและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

ตารางที่ 14 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 20 มีนาคม (W)

time	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	Base line	No mass		Water bottle		Concrete		Fiber cement	
		movable insulation	non-movable insulation	movable insulation	non-movable insulation	movable insulation	non-movable insulation	movable insulation	non-movable insulation
1:00	21,195.00	5,618.00	2,665.00	9,412.00	9,012.00	21,195.00	10,347.00	9,863.00	7,642.00
2:00	18,081.00	1,923.00	2,068.00	7,406.00	8,162.00	18,081.00	9,816.00	9,014.00	7,450.00
3:00	15,303.00	191.00	1,523.00	5,488.00	7,353.00	15,303.00	9,282.00	8,172.00	7,219.00
4:00	12,886.00	1,804.00	1,646.00	3,889.00	6,598.00	12,886.00	8,760.00	7,363.00	6,963.00
5:00	10,929.00	1,850.00	1,831.00	2,940.00	5,956.00	10,929.00	8,283.00	6,591.00	6,692.00
6:00	9,231.00	1,459.00	1,459.00	5,406.00	5,406.00	7,843.00	7,843.00	6,412.00	6,412.00
7:00	7,628.00	1,666.00	1,666.00	4,887.00	4,887.00	7,409.00	7,409.00	6,130.00	6,130.00
8:00	6,490.00	5,105.00	5,105.00	4,504.00	4,504.00	7,052.00	7,052.00	5,853.00	5,853.00
9:00	6,884.00	10,465.00	10,465.00	4,609.00	4,609.00	6,977.00	6,977.00	5,583.00	5,583.00
10:00	10,045.00	15,536.00	15,536.00	5,332.00	5,332.00	7,265.00	7,265.00	5,332.00	5,332.00
11:00	15,835.00	19,338.00	19,338.00	6,557.00	6,557.00	7,861.00	7,861.00	5,131.00	5,131.00
12:00	23,536.00	22,469.00	22,469.00	8,051.00	8,051.00	8,645.00	8,645.00	5,017.00	5,017.00
13:00	32,281.00	24,942.00	24,942.00	9,721.00	9,721.00	9,578.00	9,578.00	5,016.00	5,016.00
14:00	40,679.00	25,139.00	25,139.00	11,430.00	11,430.00	10,581.00	10,581.00	5,135.00	5,135.00
15:00	47,303.00	23,020.00	23,020.00	12,900.00	12,900.00	11,491.00	11,491.00	5,367.00	5,367.00
16:00	51,396.00	21,210.00	21,210.00	13,916.00	13,916.00	12,183.00	12,183.00	5,694.00	5,694.00
17:00	53,241.00	19,341.00	19,341.00	14,600.00	14,600.00	12,721.00	12,721.00	6,080.00	6,080.00
18:00	52,917.00	15,929.00	15,929.00	14,943.00	14,943.00	13,076.00	13,076.00	6,483.00	6,483.00
19:00	50,255.00	25,506.00	10,731.00	37,952.00	14,815.00	50,255.00	13,162.00	10,328.00	6,871.00
20:00	45,210.00	12,232.00	5,777.00	31,347.00	14,082.00	45,210.00	12,886.00	10,973.00	7,215.00
21:00	39,509.00	9,246.00	3,817.00	24,659.00	12,949.00	39,509.00	12,360.00	11,271.00	7,485.00
22:00	34,053.00	5,314.00	3,055.00	19,047.00	11,764.00	34,053.00	11,774.00	11,184.00	7,652.00
23:00	29,252.00	2,854.00	2,323.00	14,462.00	10,621.00	29,252.00	11,174.00	10,765.00	7,704.00
0:00	25,060.00	1,336.00	1,932.00	10,784.00	9,546.00	25,060.00	10,574.00	10,118.00	7,653.00
ผลรวมพลังงานความร้อน	659,199.00	273,493.00	242,987.00	284,242.00	227,714.00	424,415.00	241,100.00	178,875.00	153,779.00

ตารางที่ 15 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 21 มิถุนายน (W)

time	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	Base line	No mass		Water bag		Concrete		Fiber cement	
		movable insulation	non- movable insulation	movable insulation	non- movable insulation	movable insulation	non- movable insulation	movable insulation	non- movable insulation
1:00	16,804.00	-244.00	1,579.00	6,603.00	7,192.00	16,804.00	8,201.00	7,428.00	6,077.00
2:00	14,092.00	-1,998.00	1,111.00	4,539.00	6,456.00	14,092.00	7,748.00	6,786.00	5,932.00
3:00	11,637.00	-2,900.00	894.00	2,755.00	5,765.00	11,637.00	7,300.00	6,128.00	5,752.00
4:00	9,450.00	-3,799.00	719.00	1,288.00	5,139.00	9,450.00	6,870.00	5,474.00	5,548.00
5:00	7,504.00	-3,864.00	634.00	85.00	4,571.00	7,504.00	6,457.00	4,836.00	5,328.00
6:00	5,820.00	593.00	593.00	4,068.00	4,068.00	6,068.00	6,068.00	5,099.00	5,099.00
7:00	4,357.00	1,563.00	1,563.00	3,633.00	3,633.00	5,709.00	5,709.00	4,866.00	4,866.00
8:00	3,534.00	4,605.00	4,605.00	3,402.00	3,402.00	5,466.00	5,466.00	4,633.00	4,633.00
9:00	4,247.00	9,697.00	9,697.00	3,589.00	3,589.00	5,465.00	5,465.00	4,407.00	4,407.00
10:00	7,299.00	12,367.00	12,367.00	4,342.00	4,342.00	5,797.00	5,797.00	4,204.00	4,204.00
11:00	11,253.00	12,219.00	12,219.00	5,246.00	5,246.00	6,222.00	6,222.00	4,051.00	4,051.00
12:00	15,847.00	14,770.00	14,770.00	6,044.00	6,044.00	6,620.00	6,620.00	3,977.00	3,977.00
13:00	22,520.00	18,368.00	18,368.00	7,079.00	7,079.00	7,198.00	7,198.00	3,982.00	3,982.00
14:00	29,439.00	21,008.00	21,008.00	8,382.00	8,382.00	7,956.00	7,956.00	4,056.00	4,056.00
15:00	35,135.00	18,550.00	18,550.00	9,780.00	9,780.00	8,800.00	8,800.00	4,200.00	4,200.00
16:00	37,198.00	14,644.00	14,644.00	10,626.00	10,626.00	9,345.00	9,345.00	4,420.00	4,420.00
17:00	37,080.00	12,591.00	12,591.00	10,957.00	10,957.00	9,638.00	9,638.00	4,705.00	4,705.00
18:00	35,365.00	9,252.00	9,252.00	10,974.00	10,974.00	9,759.00	9,759.00	5,008.00	5,008.00
19:00	32,326.00	14,641.00	7,014.00	23,060.00	10,602.00	32,326.00	9,654.00	7,307.00	5,289.00
20:00	28,944.00	6,267.00	5,169.00	18,857.00	10,039.00	28,944.00	9,432.00	7,650.00	5,520.00
21:00	25,271.00	2,306.00	3,077.00	14,645.00	9,321.00	25,271.00	9,097.00	7,714.00	5,681.00
22:00	21,714.00	25.00	1,997.00	10,877.00	8,474.00	21,714.00	8,664.00	7,539.00	5,766.00
23:00	18,441.00	-1,109.00	1,531.00	7,736.00	7,625.00	18,441.00	8,205.00	7,170.00	5,776.00
0:00	15,506.00	-1,729.00	1,289.00	5,248.00	6,835.00	15,506.00	7,752.00	6,662.00	5,719.00
ผลรวม พลังงาน ความร้อน	450,783.00	157,823.00	175,241.00	183,815.00	170,141.00	295,732.00	183,423.00	132,302.00	119,996.00



ตารางที่ 16 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 23 กันยายน (W)

time	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	Base line	No mass		Water bag		Concrete		Fiber cement	
		movable insulation	non- movable insulation	movable insulation	non- movable insulation	movable insulation	non- movable insulation	movable insulation	non- movable insulation
1:00	9,594.00	1,439.00	1,533.00	2,477.00	5,018.00	9,594.00	6,358.00	4,592.00	4,990.00
2:00	8,238.00	3,470.00	1,872.00	1,981.00	4,567.00	8,238.00	6,037.00	4,105.00	4,821.00
3:00	7,241.00	2,176.00	1,891.00	1,915.00	4,206.00	7,241.00	5,754.00	3,654.00	4,641.00
4:00	6,272.00	1,417.00	1,761.00	1,679.00	3,887.00	6,272.00	5,487.00	3,252.00	4,458.00
5:00	5,321.00	-1,548.00	1,302.00	1,283.00	3,592.00	5,321.00	5,228.00	2,904.00	4,276.00
6:00	4,251.00	859.00	859.00	3,278.00	3,278.00	4,953.00	4,953.00	4,099.00	4,099.00
7:00	3,250.00	1,473.00	1,473.00	2,968.00	2,968.00	4,679.00	4,679.00	3,926.00	3,926.00
8:00	2,663.00	4,113.00	4,113.00	2,800.00	2,800.00	4,489.00	4,489.00	3,756.00	3,756.00
9:00	3,532.00	8,685.00	8,685.00	2,994.00	2,994.00	4,511.00	4,511.00	3,590.00	3,590.00
10:00	7,987.00	15,151.00	15,151.00	3,733.00	3,733.00	4,859.00	4,859.00	3,439.00	3,439.00
11:00	15,107.00	20,291.00	20,291.00	5,149.00	5,149.00	5,620.00	5,620.00	3,328.00	3,328.00
12:00	23,906.00	23,882.00	23,882.00	6,946.00	6,946.00	6,628.00	6,628.00	3,294.00	3,294.00
13:00	31,837.00	18,577.00	18,577.00	8,853.00	8,853.00	7,744.00	7,744.00	3,374.00	3,374.00
14:00	33,019.00	9,852.00	9,852.00	9,731.00	9,731.00	8,283.00	8,283.00	3,583.00	3,583.00
15:00	31,103.00	8,240.00	8,240.00	9,593.00	9,593.00	8,305.00	8,305.00	3,895.00	3,895.00
16:00	29,032.00	10,612.00	10,612.00	9,349.00	9,349.00	8,289.00	8,289.00	4,226.00	4,226.00
17:00	28,425.00	12,935.00	12,935.00	9,440.00	9,440.00	8,461.00	8,461.00	4,506.00	4,506.00
18:00	28,521.00	10,125.00	10,125.00	9,729.00	9,729.00	8,726.00	8,726.00	4,720.00	4,720.00
19:00	26,583.00	10,773.00	5,649.00	18,687.00	9,586.00	26,583.00	8,724.00	6,574.00	4,896.00
20:00	23,674.00	5,710.00	3,589.00	15,173.00	8,984.00	23,674.00	8,461.00	6,694.00	5,050.00
21:00	20,670.00	3,067.00	2,565.00	11,804.00	8,239.00	20,670.00	8,104.00	6,682.00	5,166.00
22:00	17,885.00	5,259.00	2,357.00	9,027.00	7,484.00	17,885.00	7,718.00	6,495.00	5,220.00
23:00	15,412.00	-1,020.00	1,912.00	7,065.00	6,804.00	15,412.00	7,351.00	6,158.00	5,210.00
0:00	12,832.00	-3,879.00	1,071.00	4,777.00	6,147.00	12,832.00	6,969.00	5,726.00	5,143.00
ผลรวม พลังงาน ความร้อน	396,355.00	171,659.00	170,297.00	160,431.00	153,077.00	239,269.00	161,738.00	106,572.00	103,607.00

ตารางที่ 17 แสดงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาของวันที่ 21 ธันวาคม (W)

time	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	Base line	No mass		Water bottle		Concrete		Fiber cement	
		movable insulation	non- movable insulation	movable insulation	non- movable insulation	movable insulation	non- movable insulation	movable insulation	non- movable insulation
1:00	9,793.00	0.00	-345.00	-306.00	5,790.00	9,793.00	6,705.00	5,690.00	5,169.00
2:00	6,904.00	0.00	-601.00	-2,544.00	5,020.00	6,904.00	6,236.00	4,971.00	5,025.00
3:00	4,286.00	0.00	-827.00	-3,533.00	4,314.00	4,286.00	5,780.00	4,228.00	4,842.00
4:00	1,939.00	0.00	-985.00	-4,786.00	3,673.00	1,939.00	5,341.00	3,492.00	4,633.00
5:00	-124.00	0.00	-933.00	0.00	3,093.00	-124.00	4,921.00	2,778.00	4,406.00
6:00	-1,617.00	-1,041.00	-1,041.00	2,565.00	2,565.00	4,517.00	4,517.00	4,170.00	4,170.00
7:00	-3,716.00	-1,040.00	-1,040.00	2,092.00	2,092.00	4,134.00	4,134.00	3,929.00	3,929.00
8:00	-4,385.00	973.00	973.00	1,730.00	1,730.00	3,808.00	3,808.00	3,688.00	3,688.00
9:00	-4,705.00	4,908.00	4,908.00	1,686.00	1,686.00	3,667.00	3,667.00	3,450.00	3,450.00
10:00	-1,972.00	9,412.00	9,412.00	2,127.00	2,127.00	3,809.00	3,809.00	3,225.00	3,225.00
11:00	3,257.00	15,144.00	15,144.00	3,058.00	3,058.00	4,247.00	4,247.00	3,034.00	3,034.00
12:00	10,533.00	20,357.00	20,357.00	4,558.00	4,558.00	5,046.00	5,046.00	2,907.00	2,907.00
13:00	19,054.00	22,452.00	22,452.00	6,429.00	6,429.00	6,091.00	6,091.00	2,877.00	2,877.00
14:00	27,045.00	21,352.00	21,352.00	8,253.00	8,253.00	7,155.00	7,155.00	2,970.00	2,970.00
15:00	32,951.00	18,562.00	18,562.00	9,670.00	9,670.00	8,033.00	8,033.00	3,193.00	3,193.00
16:00	36,096.00	16,095.00	16,095.00	10,570.00	10,570.00	8,662.00	8,662.00	3,521.00	3,521.00
17:00	37,146.00	13,965.00	13,965.00	11,069.00	11,069.00	9,093.00	9,093.00	3,908.00	3,908.00
18:00	36,331.00	10,901.00	10,901.00	11,240.00	11,240.00	9,347.00	9,347.00	4,304.00	4,304.00
19:00	33,431.00	8,589.00	6,624.00	24,192.00	11,006.00	33,431.00	9,364.00	6,351.00	4,671.00
20:00	28,840.00	1,731.00	3,470.00	18,359.00	10,306.00	28,840.00	9,100.00	6,913.00	4,984.00
21:00	23,852.00	-1,557.00	2,179.00	12,829.00	9,361.00	23,852.00	8,681.00	7,140.00	5,220.00
22:00	19,310.00	-5,640.00	1,179.00	8,304.00	8,396.00	19,310.00	8,219.00	7,029.00	5,361.00
23:00	15,341.00	-7,742.00	503.00	4,555.00	7,449.00	15,341.00	7,730.00	6,648.00	5,403.00
0:00	11,736.00	0.00	-2.00	1,456.00	6,555.00	11,736.00	7,239.00	6,086.00	5,359.00
ผลรวม พลังงาน ความร้อน	341,326.00	147,421.00	162,302.00	133,573.00	150,010.00	232,917.00	156,925.00	106,502.00	100,249.00

จากตารางที่ 14 - 17 พบว่าหากเปรียบเทียบระหว่างการเปิดฉนวนและปิดฉนวนช่วงเวลา กลางคืน ผลรวมของการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากหลังคาของวันที่ 20 มีนาคม 21 มิถุนายน 23 กันยายน (ฤดูร้อน-ฤดูฝน) และวันที่ 21 ธันวาคม (ฤดูหนาว) มีความแตกต่างกัน โดยข้อมูลของวันที่ 20 มีนาคม และ 23 กันยายน กรณีศึกษาที่ 2, 3, 4 และ 5 การปิดฉนวนมีค่าพลังงานความร้อน ถ่ายเทเข้าอาคารต่ำกว่าการเปิดฉนวนในช่วงเวลากลางคืน ส่วนวันที่ 21 มิถุนายน จะมีเฉพาะ กรณีศึกษาที่ 2 การเปิดฉนวนจะมีค่าพลังงานความร้อนถ่ายเทเข้าอาคารต่ำกว่าการปิดฉนวนใน ช่วงเวลากลางคืน ส่วนวันที่ 21 ธันวาคม กรณีศึกษาที่ 2 และ 3 การเปิดฉนวนมีค่าพลังงานความร้อนถ่ายเทเข้าอาคารต่ำกว่าการปิดฉนวน ส่วนกรณีศึกษาที่ 4 และ 5 เนื่องจากการสะสมความร้อน และมีอัตราการถ่ายเทความร้อนไม่เท่ากับกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 จึงทำให้ผลรวมของการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากหลังคามีค่าสูงกว่า

ตารางที่ 18 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของมวลอุณหภาพ

วัสดุ	R (m <sup>2</sup> .C/W)	k (W/(m.C))	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C <sub>p</sub> (kJ/(kg.C))	ความหนาวัสดุ (m)
คอนกรีต	0.069	1.442	2400	0.92	0.10
โฟเบอร์ซีเมนต์	1.190	0.084	1260	1.03	0.10
น้ำ	0.172	0.58	1000	1	0.10

\* ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R) ของตารางที่ 10 คำนวณที่ความหนา 0.10 m

พบว่ากรณีศึกษาที่ 5 ซึ่งเป็นอาคารที่ใช้หลังคามวลโฟเบอร์ซีเมนต์มีสมรรถนะในการ ประหยัดพลังงานมากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นกรณีใช้งานอาคารสำนักงานหรือใช้งานอาคารพักอาศัย เมื่อ พิจารณาจากตารางที่ 18 พบว่าในความหนาที่เท่ากันนั้น มวลโฟเบอร์ซีเมนต์มีค่าความเป็นฉนวนมาก สุดหรือมีค่าความต้านทานความร้อนรวมมากที่สุด ทำให้สมรรถนะของหลังคามวลโฟเบอร์ซีเมนต์มี สมรรถนะในการลดอุณหภูมิสูงที่สุด เพราะโฟเบอร์ซีเมนต์มีค่าความเป็นฉนวนกันความร้อนดีที่สุดในเมื่อ เทียบกับมวลคอนกรีตและน้ำ เมื่อนำมาใช้ในอาคารที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศจึงส่งผลให้การใช้ พลังงานมีค่าน้อยที่สุดจากกรณีศึกษาทั้งหมด ในขณะที่มวลคอนกรีตแม้จะมีมวลสารมากแต่มีค่าการ ส่งถ่ายความร้อนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำซึ่งมีค่าต่ำกว่า จึงทำให้มวลคอนกรีตมีการสะสมพลังงานความ ร้อนสูงกว่าและกันความร้อนได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 3 และ 5 ส่งผลให้มีการใช้พลังงาน จากเครื่องปรับอากาศมากที่สุดเมื่อเทียบระหว่างกรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5 ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งไม่มีมวลสารหน่วงความร้อน จึงมีสมรรถนะการประหยัดพลังงานแย่ที่สุดจากกรณีศึกษาทั้งหมด

แม้ระบบหลังคามวลอุณหภูมามีการเปิด-ปิดฉนวนจะช่วยให้อุณหภูมิกลองต่ำกว่าจากกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลองของอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ แต่สำหรับอาคารที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศการเปิดฉนวนในช่วงเวลากลางคืน จะทำให้อากาศภายในอาคารต่ำกว่าอากาศภายนอกอาคารโดยเฉพาะช่วงฤดูร้อน ซึ่งทำให้ภาพรวมของการใช้พลังงานมีค่าที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเปิดฉนวนในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นการเปิดหรือปิดฉนวนของระบบหลังคาควรเป็นไปตามสภาพและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

#### 4.2.2.3 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการก่อสร้าง

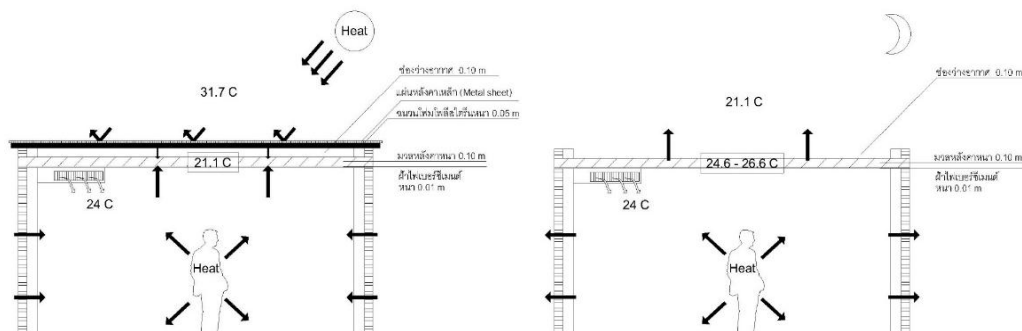
เมื่อพิจารณาจากค่าก่อสร้างและสมรรถนะในการประหยัดพลังงานของหลังคากรณีศึกษาทั้งหมดแล้ว กรณีศึกษาที่ 5 หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ชนิดไม่มีการเปิด-ปิดฉนวนมีความเหมาะสมในการเลือกใช้มากที่สุดเพราะมีสมรรถนะในการลดพลังงานได้มากกว่ามีการเปิด-ปิดฉนวน และสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุดเป็นอันดับที่สอง 3 ปีกับ 7 เดือน

กรณีศึกษาที่ 2 ไม่มีมวลอุณหภูมแต่มีฉนวนเปิด-ปิด เป็นการออกแบบหลังคาที่มีต้นทุนการก่อสร้างถูกกว่ากรณีศึกษาที่ 3, 4 และ 5 ทำให้สามารถคืนทุนได้เร็วที่สุด แต่หากพิจารณาถึงสมรรถนะการลดพลังงานกรณีศึกษาที่ 5 หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ชนิดไม่มีการเปิด-ปิดฉนวน ด้วยความที่ไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมสูงที่สุดที่ความหนาเท่ากันเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 2, 3, 4 และ 5 ทำให้สามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกได้ดีที่สุดและมีการใช้พลังงานน้อยที่สุด จึงถือว่ามีสมรรถนะมากที่สุด และหากพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการก่อสร้างที่สามารถคืนทุนได้ภายใน 3 ปีกับอีก 7 เดือน หลังคากรณีศึกษาที่ 5 จึงมีความน่าสนใจในการลงทุนก่อสร้างมากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาอื่น

## บทที่ 5

## สรุปผลการทดลอง

หลังคามวลอุณหภูมามีฉนวนเปิด-ปิดจากงานวิจัยของ Givoni ตามทฤษฎีแล้วมวลจะกักเก็บอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันแล้วถ่ายเทพลังงานความร้อนนั้นกลับสู่อากาศภายนอกในเวลา กลางคืนตามภาพที่ 44 โดยใช้หลักการอุณหภูมิระหว่างภายในอาคารกับภายนอกอาคารที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 44 การถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในอาคารและภายนอกอาคารตามทฤษฎี

จุดประสงค์งานวิจัยชิ้นนี้มีอยู่ด้วยกัน 3 ประเด็นคือ

1. ศึกษาสมรรถนะและความเหมาะสมของการใช้มวลอุณหภูมในหลังคาอาคาร
2. ศึกษาสมรรถนะการลดอุณหภูมิด้วยการออกแบบหลังคามวลอุณหภูมามีฉนวนหลังคา ชนิดเปิด-ปิดในภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย
3. ศึกษาสมรรถนะในการประหยัดพลังงานของหลังคามวลอุณหภูมในอาคารที่ติดตั้ง เครื่องปรับอากาศ

โดยการวิจัยนี้ได้แบ่งการวิจัยออกเป็นสองช่วงคือสมรรถนะของสภาวะอาคารที่ไม่ปรับอากาศ กับสมรรถนะของสภาวะอาคารที่มีการปรับอากาศ

สมรรถนะของสภาวะอาคารที่ไม่ปรับอากาศ ศึกษาจากกล่องทดลองขนาด  $1 \times 1 \times 1$  m ใช้หลอดไฟแทนแหล่งพลังงานภายในกล่องทดลองโดยมีช่วงเวลาเปิดตามการใช้งานของประเภทอาคาร คือ ประเภทอาคารสำนักงานเปิดไฟเวลากลางวัน 8:00 – 18:00 น. และประเภทอาคารพักอาศัยเปิดไฟเวลากลางคืน 18:01 – 24:00 น. ในส่วนของการเปิด-ปิดฉนวนจะปิดฉนวนเวลากลางวัน 8:00 – 18:00 น. เปิดฉนวนเวลากลางคืน 18:01 – 8:00 น. การแบ่งกรณีศึกษาจะแบ่งออกเป็น 5 กรณีศึกษา ดังนี้

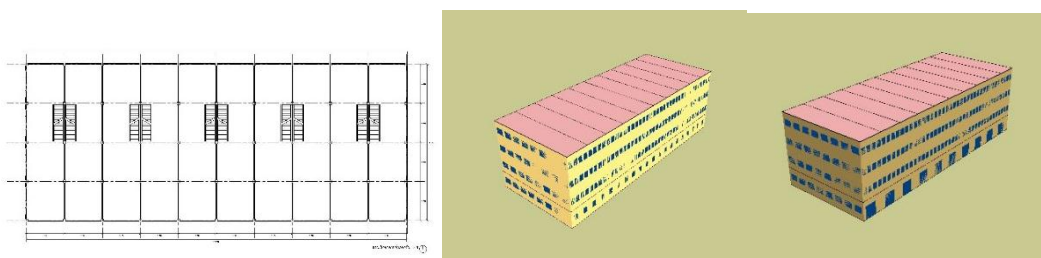
1. กรณีศึกษาที่ 1 กรณีเปรียบเทียบ (Base line)  
(หลังคาคอนกรีตหนา 10 cm ปริมาตร  $0.10 \text{ m}^3$ )
2. กรณีศึกษาที่ 2 ไม่มีมวลอุณหภูมามีฉนวนเปิด-ปิด (No mass)

3. กรณีศึกษาที่ 3 มีมวลน้ำเป็นมวลอุณหภูมิมิถุนเปิด-ปิด (Water bottle)  
(หลังคาขวดน้ำขวด Pet ขนาด 900 ml วางเรียงกันหนาประมาณ 10 cm  
ทั้งหมด 111 ขวด รวมได้ปริมาตร 0.09 m<sup>3</sup>)
4. กรณีศึกษาที่ 4 มีมวลคอนกรีตเป็นมวลอุณหภูมิมิถุนเปิด-ปิด (Concrete)  
(หลังคาคอนกรีตหนา 10 cm ปริมาตร 0.10 m<sup>3</sup>)
5. กรณีศึกษาที่ 5 มีมวลไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นมวลอุณหภูมิมิถุนเปิด-ปิด  
(Fiber cement)  
(หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์หนา 10 cm ปริมาตร 0.10 m<sup>3</sup>)

โดยกลุ่มทดลองได้เก็บข้อมูลในช่วงวันที่ 28 – 31 ธันวาคม 2556 ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตาดฟ้าอาคารสถาบัน 2-3 ซอย จุฬาฯ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานครเท่านั้น โดยวันที่ 28 – 29 ธันวาคมเป็นการทดลอง ในกรณีใช้งานแบบอาคารสำนักงาน(เปิดไฟกลางวัน) ส่วนวันที่ 30 – 31 เป็นการทดลองการใช้งาน แบบอาคารพักอาศัย(เปิดไฟกลางคืน)

การศึกษาสมรรถนะของสภาวะอาคารที่ปรับอากาศ เป็นการจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 ซึ่งสามารถจำลองสภาพอาคารและวิเคราะห์และคำนวณการใช้พลังงานของอาคารได้ ในการจำลองโมเดลอาคารเลือกใช้แผนผังของอาคารประเภทตึกแถวขนาด 16 x 40 เมตร สูง 12 เมตร ทั้งหมด 4 ชั้นตามภาพที่ 45 ในการจำลองจะจำลองสภาพการใช้งานสองประเภทคือการใช้งานแบบ อาคารพักอาศัยและการใช้งานแบบอาคารสำนักงาน การแบ่งกรณีศึกษาจะแบ่งออกเป็น 5 กรณีศึกษาดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 1 กรณีเปรียบเทียบ (Base line)
2. กรณีศึกษาที่ 2 ไม่มีมวลอุณหภูมิมิถุนเปิด-ปิด (No mass)
3. กรณีศึกษาที่ 3 มีมวลน้ำเป็นมวลอุณหภูมิมิถุนเปิด-ปิด (Water bottle)
4. กรณีศึกษาที่ 4 มีมวลคอนกรีตเป็นมวลอุณหภูมิมิถุนเปิด-ปิด (Concrete)
5. กรณีศึกษาที่ 5 มีมวลไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นมวลอุณหภูมิมิถุนเปิด-ปิด  
(Fiber cement)



ภาพที่ 45 แผนผังอาคารและโมเดลจำลองอาคาร

เพื่อศึกษาสมรรถนะและความคุ้มค่าการลงทุนก่อสร้างหลังคามวลอุณหภูมิมิฉนวนเปิด-ปิด สำหรับอาคารที่ปรับอากาศ จึงจำลองการเปิด-ปิดฉนวนหลังคากรณีศึกษาที่ 2, 3, 4 และ 5 ดังนี้

1. ปิดฉนวนช่วงเวลา 8:01 น. – 18:00 น. เปิดฉนวนช่วงเวลา 18:01 น. – 8:00 น. (movable insulation)
2. ปิดฉนวนตลอดทั้งวัน (non-movable insulation)

ซึ่งจะสามารถเอาผลการจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับอัตราการคืนทุนว่ามีความคุ้มค่าหรือไม่สำหรับการออกแบบให้มีการเปิด-ปิดฉนวนของหลังคา

จากผลการทดลองในบทที่ 4.1 เป็นการทดลองด้วยกล่องจำลองสภาพการใช้งานของอาคารชนิดไม่ปรับอากาศ ช่วงวันที่ 28 – 29 ธันวาคม 2556 ซึ่งเป็นการทดลองการใช้งานแบบอาคารสำนักงานที่มีการเปิดไฟกลางวัน พบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิกล่องเฉลี่ยของกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30.58 และกรณีศึกษาที่ 4 อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยมีค่าต่ำสุดที่ 27.20 °C ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยของกรณีศึกษาที่ 3 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 22.94 °C และกรณีศึกษาที่ 2 อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 21.49 °C ซึ่งจากข้อมูลสามารถลำดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

ช่วงเวลากลางวัน	ช่วงเวลากลางคืน
1. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass)	1. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle)
2. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)	2. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement)
3. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle)	3. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete)
4. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement)	4. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)
5. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete)	5. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass)

ช่วงวันที่ 30 – 31 ธันวาคม 2556 เป็นการทดลองการใช้งานแบบอาคารพักอาศัย(เปิดไฟกลางคืน) พบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิกล่องเฉลี่ยของกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 29.78 °C และกรณีศึกษาที่ 4 อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยมีค่าต่ำสุดที่ 26.60 °C ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิกล่องเฉลี่ยของกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 24.96 °C และกรณีศึกษาที่ 2 อุณหภูมิกล่องเฉลี่ยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 23.64 °C ซึ่งจากข้อมูลสามารถลำดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

ช่วงเวลากลางวัน	ช่วงเวลากลางคืน
1. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)	1. กรณีศึกษาที่ 1 (Base line)
2. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass)	2. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle)
3. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement)	3. กรณีศึกษาที่ 5 (Fiber cement)
4. กรณีศึกษาที่ 3 (Water bottle)	4. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete)
5. กรณีศึกษาที่ 4 (Concrete)	5. กรณีศึกษาที่ 2 (No mass)

ผลการทดลองช่วงกลางวันและกลางคืนของกล่องทดลอง สามารถสรุปเป็นความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะกับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องได้ว่า ในช่วงเวลากลางวันมวลอุณหภูมิที่มีค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะสูง จะมีแนวโน้มลดอุณหภูมิได้มากกว่า ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนมวลอุณหภูมิที่มีค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะต่ำ จะมีแนวโน้มที่ลดอุณหภูมิได้มากกว่า

ในส่วนของการสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องสามารถสรุปได้ว่า ในช่วงเวลากลางวันหลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ จะมีแนวโน้มที่ลดอุณหภูมิได้มากกว่า ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนหลังคาที่มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงในช่วงเวลากลางคืน จะมีแนวโน้มที่ลดอุณหภูมิได้มากกว่า

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ากรณีนี้อาคารไม่มีการปรับอากาศ การออกแบบหลังคามีมวลอุณหภูมิชนิดมีฉนวนเปิด-ปิด สามารถช่วยลดอุณหภูมิได้ดียิ่งขึ้นกว่ากรณีศึกษาควบคุมภายใต้สภาพภูมิอากาศของไทย เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเป็นไปตามทฤษฎีของ Givoni ซึ่งมีประเด็นสำคัญคืออุณหภูมิภายนอกอาคารต้องต่ำกว่าภายในอาคาร

จากผลการทดลองในบทที่ 4.2 เป็นการจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 สามารถสรุปข้อมูลการใช้พลังงาน, การประมาณค่าก่อสร้าง และการประมาณอัตราคืนทุน ดังนี้

ตารางที่ 19 สรุปผลการจำลองกรณีใช้งานแบบอาคารพักอาศัย กรณีที่ 1 - 3

Month	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		กรณีที่ 3	
	Base line	No mass		Water bottle	
		movable	non-movable	movable	non-movable
		insulation	insulation	insulation	insulation
kWh/ปี	128,878.98	130,637.33	119,321.77	120,897.71	115,482.52
kWh/m <sup>2</sup> .yr	50.34	51.03	46.61	47.23	45.11
ค่าไฟต่อปี (บาท)	386,636.93	391,911.99	357,965.32	362,693.14	346,447.56
ประหยัด (บาท)	N/A	-5,275.06	28,671.61	23,943.80	40,189.37
ประหยัด (%)	N/A	-1.36	7.42	6.19	10.39
ค่าลงทุนก่อสร้าง	573,004.80	1,318,286.56	868,286.56	2,028,398.08	1,578,398.08
ค่าลงทุนเพิ่ม	N/A	745,281.76	295,281.76	1,455,393.28	1,005,393.28
การคืนทุน (ปี)	N/A	N/A	2.57	15.20	6.25



ตารางที่ 20 สรุปผลการจำลองกรณีใช้งานแบบอาคารพักอาศัย กรณีที่ 4, 5

Month	กรณีที่ 4 Concrete		กรณีที่ 5 Fiber cement	
	movable	non-movable	movable	non-movable
	insulation	insulation	insulation	insulation
kWh/ปี	122,604.43	114,600.83	112,842.05	112,169.00
kWh/m <sup>2</sup> .yr	47.89	44.77	44.08	43.82
ค่าไฟต่อปี (บาท)	367,813.29	343,802.49	338,526.16	336,507.00
ประหยัด (บาท)	18,823.64	42,834.45	48,110.77	50,129.94
ประหยัด (%)	4.87	11.08	12.44	12.97
ค่าลงทุนก่อสร้าง	1,856,091.36	1,406,091.36	1,799,018.56	1,349,018.56
ค่าลงทุนเพิ่ม	1,283,086.56	833,086.56	1,226,013.76	776,013.76
การคืนทุน (ปี)	17.04	4.86	6.37	3.87

ตารางที่ 21 สรุปผลการจำลองกรณีใช้งานแบบอาคารสำนักงาน กรณีที่ 1 - 3

Month	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		กรณีที่ 3	
	Base line	No mass		Water bottle	
		movable	non-movable	movable	non-movable
		insulation	insulation	insulation	insulation
kWh/ปี	259,159.20	230,582.82	230,582.82	226,750.91	226,750.91
kWh/m <sup>2</sup> .yr	101.23	90.07	90.07	88.57	88.57
ค่าไฟต่อปี (บาท)	777,477.61	691,748.46	691,748.46	680,252.72	680,252.72
ประหยัด (บาท)	N/A	85,729.14	85,729.14	97,224.88	97,224.88
ประหยัด (%)	N/A	11.03	11.03	12.51	12.51
ค่าลงทุนก่อสร้าง	573,004.80	1,318,286.56	868,286.56	2,028,398.08	1,578,398.08
ค่าลงทุนเพิ่ม	N/A	745,281.76	295,281.76	1,455,393.28	1,005,393.28
การคืนทุน (ปี)	N/A	24.54	3.61	11.83	6.73

ตารางที่ 22 สรุปผลการจำลองกรณีใช้งานแบบอาคารสำนักงาน กรณีที่ 4, 5

Month	กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	Concrete		Fiber cement	
	movable insulation	non-movable insulation	movable insulation	non-movable insulation
kWh/ปี	226,889.80	226,889.80	222,501.37	222,501.37
kWh/m <sup>2</sup> .yr	88.63	88.63	86.91	86.91
ค่าไฟต่อปี (บาท)	680,669.40	680,669.40	667,504.11	667,504.11
ประหยัด (บาท)	96,808.21	96,808.21	109,973.50	109,973.50
ประหยัด (%)	12.45	12.45	14.14	14.14
ค่าลงทุน ก่อสร้าง	1,856,091.36	1,406,091.36	1,799,018.56	1,349,018.56
ค่าลงทุนเพิ่ม	1,283,086.56	833,086.56	1,226,013.76	776,013.76
การคืนทุน (ปี)	10.63	5.36	5.75	3.63

จากตารางที่ 19 - 22 แสดงให้เห็นว่ากรณีศึกษาที่ 5 ชนิดไม่เปิดฉนวนในช่วงเวลากลางคืนสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้สูงสุดที่ 12.97 % สำหรับอาคารพักอาศัย และ 14.14 % สำหรับอาคารสำนักงาน

เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการลงทุนกับสมรรถนะการประหยัดพลังงานสำหรับกรณีอาคารที่มีการปรับอากาศ กรณีศึกษาที่สามารถคืนทุนได้เร็วที่สุดคือกรณีศึกษาที่ 2 ชนิดไม่มีการเปิด-ปิดฉนวน รองลงมาคือกรณีศึกษาที่ 5 ชนิดไม่มีการเปิด-ปิดฉนวน อย่างไรก็ตามหากคำนึงถึงสมรรถนะในการลดพลังงานแล้ว กรณีศึกษาที่ 5 ชนิดไม่มีการเปิด-ปิดฉนวนจะมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนในระยะยาวมากกว่ากรณีศึกษาที่ 2 ชนิดไม่มีการเปิด-ปิดฉนวน

ถึงแม้ว่าไม่มีการเปิดฉนวนจะชี้ให้เห็นว่ามีการลงทุนต่ำกว่าและคืนทุนได้รวดเร็วกว่า แต่สำหรับอาคารที่มีการใช้งานหลากหลาย คือมีทั้งส่วนที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศในอาคารเดียวกัน การออกแบบหลังคามวลอุณหภาพให้เปิด-ปิดฉนวนจะสามารถช่วยในส่วนของพื้นที่ไม่ปรับอากาศให้มีความน่าสบายได้ดีกว่าการปิดฉนวนตลอด เนื่องจากไม่สามารถระบายความร้อนออกไปได้

ตารางที่ 23 สรุปผลการเปิดฉนวนหลังคาในช่วงเวลากลางคืน

	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5
	Base line	No mass	Water bag	Concrete	Fiber cement
ปริมาณพลังงานความร้อน ถ่ายเทออกสู่ภายนอกต่อ ตารางเมตรเฉลี่ยในรอบปี ( $W/m^2$ )	2.55	27.93	4.49	0.27	0.00
จำนวนวันที่พลังงานความร้อน ถ่ายเทออกสู่ภายนอกเมื่อเปิด ฉนวนเวลากลางคืน	25.00	165.00	47.00	4.00	0.00

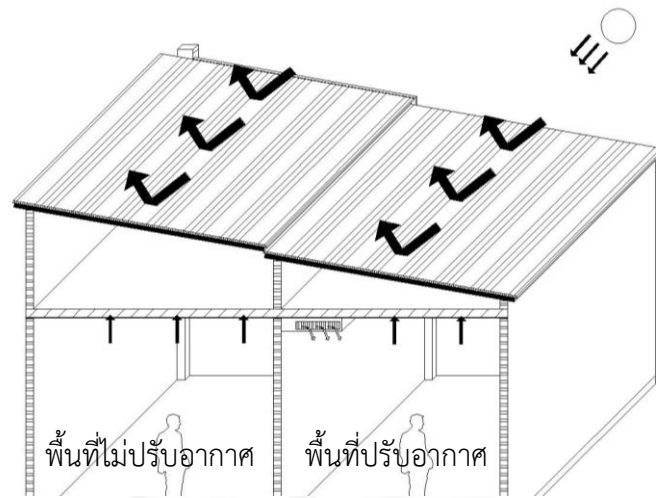
ตามตารางที่ 23 แสดงให้เห็นว่ากรณีที่มีการเปิดฉนวนในช่วงเวลากลางคืน หากเลือกใช้กรณีศึกษาที่ 2 จะมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกได้ดีที่สุด โดยมีปริมาณพลังงานความร้อนถ่ายเทออกสู่ภายนอกต่อตารางเมตรเฉลี่ยในรอบปีที่  $27.93 W/m^2$  (คำนวณจาก (ผลรวมพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทออกสู่ภายนอกตลอดทั้งปี) /  $[365 \times \text{พื้นที่หลังคาอาคาร}]$ ) และมีจำนวนวันที่พลังงานความร้อนถ่ายเทออกสู่ภายนอกเมื่อเปิดฉนวนเวลากลางคืนมากที่สุดที่ 165 วัน ดังนั้นหากต้องการให้การเปิดฉนวนมีสมรรถนะในการระบายความร้อนออกสู่ภายนอกได้ดีที่สุด ควรเลือกใช้วัสดุฉนวนหภาพที่มีความเป็นมวลน้อยที่สุด (มีค่า DSH น้อยและมีค่า U มาก)

การเลือกใช้วัสดุฉนวนหภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งานควรเลือกใช้ให้เหมาะสมต่อการใช้งานภายในอาคารและช่วงเวลาของการใช้งาน ซึ่งจากงานทดลองสามารถสรุปเป็นตารางที่ 24 คือการเลือกใช้วัสดุกับการใช้งานของอาคารได้ดังนี้

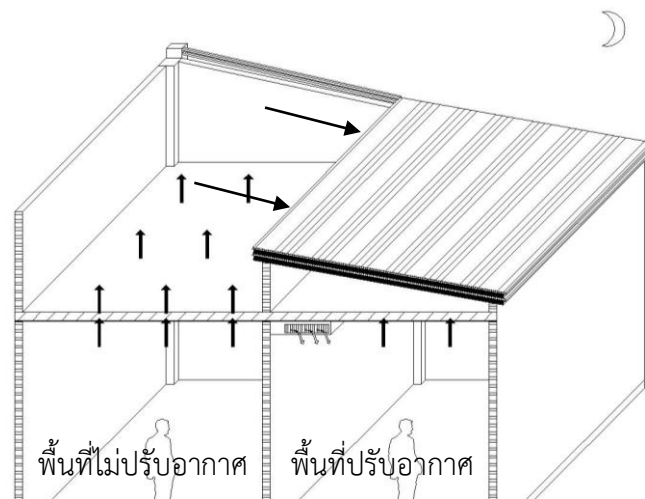
ตารางที่ 24 สรุปการใช้หลังคามวลฉนวนหภาพมีฉนวนเปิด-ปิดตามการใช้งานของอาคาร

ประเภทของพื้นที่ใช้งาน	ช่วงเวลาใช้งาน	ฤดู	การเปิด-ปิดฉนวน	การออกแบบค่า DSH หลังคาที่เหมาะสม (จากงานวิจัย)	การออกแบบค่า U หลังคาที่เหมาะสม (จากงานวิจัย)
พื้นที่ปรับอากาศ	กลางวัน	ร้อน-ฝน	ปิดฉนวน	DSH ต่ำ	U ต่ำ
		หนาว			
	กลางคืน	ร้อน-ฝน	ปิดฉนวน	DSH ต่ำ	U ต่ำ
		หนาว	เปิดฉนวน		
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	กลางวัน	ร้อน-ฝน	ปิดฉนวน	DSH สูง	U ต่ำ
		หนาว			
	กลางคืน	ร้อน-ฝน	เปิดฉนวน	DSH ต่ำ	U สูง
		หนาว			

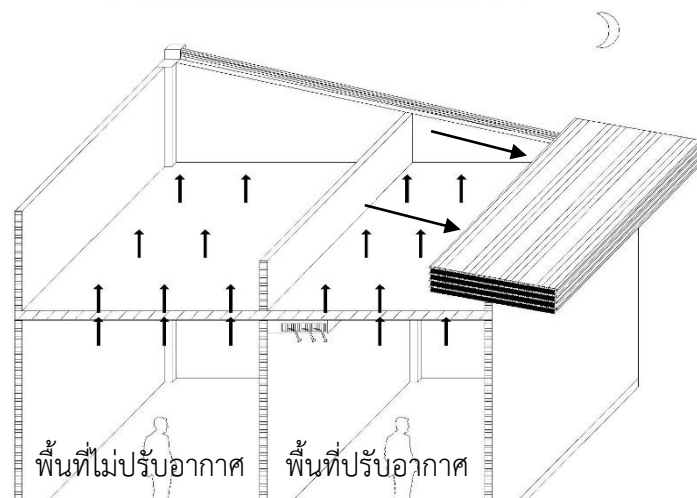
\*ช่วงเวลากลางวันคือ 6:00 น. – 18:00 น. ช่วงเวลากลางคืนคือ 18:00 – 6:00 น.



ภาพที่ 46 แสดงการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวันของฤดูร้อนและฤดูหนาว



ภาพที่ 47 แสดงการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางคืนของฤดูร้อน



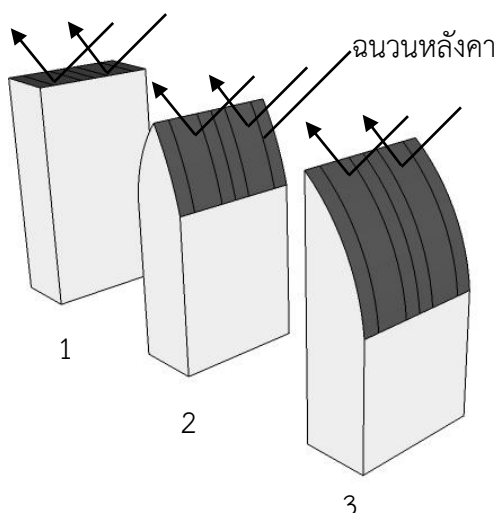
ภาพที่ 48 แสดงการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางคืนของฤดูหนาว

## บทที่ 6

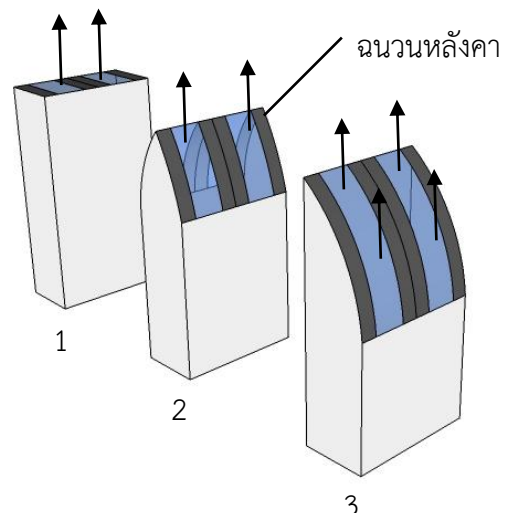
### ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับการพัฒนาแนวทางการออกแบบเพื่อประหยัดพลังงานด้วยมวลอุณหภาพ ยังมีวัสดุอีกเป็นจำนวนมากที่ยังไม่ได้ศึกษาและวิจัยว่าหากนำมาใช้งานแล้วจะมีสมรรถนะอย่างไร นอกจากนี้การเลือกใช้วัสดุมวลอุณหภาพ ต้องคำนึงถึงความทนทานจากการใช้งานจริง ตามสภาพแวดล้อมของไทย
2. การออกแบบหลังคามวลอุณหภาพมีฉนวนเปิด-ปิด ไม่จำเป็นต้องใช้ฉนวนในการป้องกันความร้อนเพียงอย่างเดียว การออกแบบสามารถใช้ได้หลายกระบวนการสำหรับการป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เช่น การสร้างหลังคาสองชั้น การใช้รูปทรงอาคารเพื่อช่วยในการบังรังสีดวงอาทิตย์ เป็นต้น
3. สำหรับการนำไปใช้ในอาคารขนาดใหญ่เช่น ห้างสรรพสินค้า คอนโดมิเนียม เนื่องจากวิธีการออกแบบด้วยการแผ่รังสีความร้อน ดูดกลืนรังสีความร้อนและประกอบฉนวนเปิด-ปิด อาจใช้วิธีออกแบบโดยการลดหลั่นแนวอาคาร เพื่อให้เกิดพื้นที่หลังคามากที่สุดสำหรับการแผ่รังสีคืนสู่ท้องฟ้าตามภาพที่ 49 โดยอาคารหลังที่ 1 เป็นอาคารหลังคา Flat slab ที่มีพื้นที่หลังคาน้อยที่สุด ในขณะที่การออกแบบกรณีที่ 2 และ 3 จะช่วยให้มีพื้นที่หลังคาเพิ่มขึ้นได้

ปิดฉนวนเพื่อป้องกันรังสีความร้อน

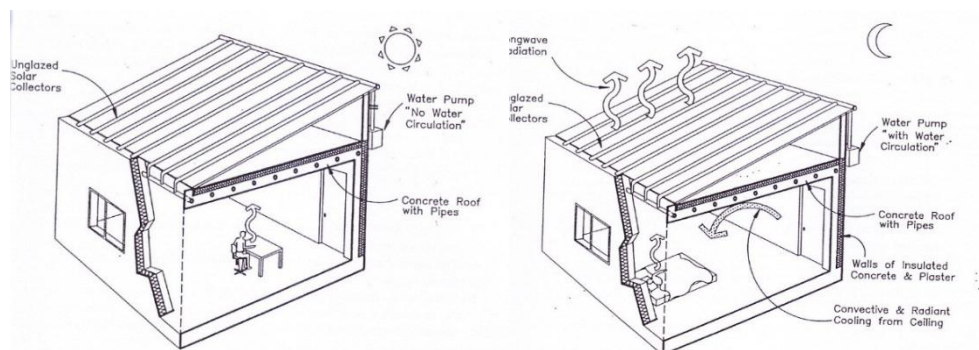


เปิดฉนวนเพื่อระบาย



ภาพที่ 49 แนวทางการเพิ่มพื้นที่หลังคาในอาคารสูง

4. การออกแบบให้มวลอุณหภูมิล้นค่าเพิ่ม-ลดตามการใช้งานภายในอาคารตามตารางที่ 24 สามารถใช้วิธีการออกแบบที่น้ำเดินใต้หลังคาได้ โดยมีหลังการดูปริมาณน้ำออกจากท่อคือการลดมวลอุณหภูมิล้นค่า และการปล่อยน้ำเข้าไปในท่อเป็นการเพิ่มมวลอุณหภูมิล้นค่า ด้วยวิธีการนี้หลังคาจะสามารถปรับเปลี่ยนมวลอุณหภูมิล้นค่า และการเปิด-ปิดฉนวน เพื่อให้เข้ากับการใช้งานอาคารที่ความหลากหลายได้



ภาพที่ 50 แสดงการออกแบบหลังคามวลอุณหภูมิล้นค่าด้วยการใช้ท่อน้ำไหลผ่านหลังคา

(ที่มา : Givoni, (1994))

5. การออกแบบให้รูปทรงอาคารป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้แก่มวลอุณหภูมิล้นค่า เป็นวิธีที่สามารถลดค่าใช้จ่ายการก่อสร้างในส่วนของฉนวนและมอเตอร์ สำหรับหลังคาฉนวนเปิด-ปิด ซึ่งมีความน่าสนใจในการนำไปพัฒนาการออกแบบหลังคาเพื่อการลดอุณหภูมิและประหยัดพลังงานได้
6. งานวิจัยนี้ศึกษาด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 ในการคาดคะเนผลที่เกิดขึ้นตลอดทั้งปี โดยยังไม่มี การนำไปศึกษาในอาคารจริงใดๆทั้งสิ้น

## รายการอ้างอิง

- Chandra, S., Kaushik, D. D., & Kaushik, S. C. (1984). Passive Solar Heating of a Non-Airconditioned Building with Movable Insulation Over the Roof Pond. *Applied Energy*, 17, 235-249.
- Don A. York, Eva F. Tucker, & Cappiello, C. C. (1980 ). DOE-2 REFERENCE MANUAL (Version 2.1A). Solar Energy Group
- Givoni, B. (1994). *Passive and low energy cooling of building*. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- Givoni, B. (2011). Indoor temperature reduction by passive cooling systems. *Solar Energy*, 85, 1692-1726.
- Hay, H. R., & Yellott, J. I. (1969). International aspects of air conditioning with movable insulation. *Solar Energy*, 12, 427-438.
- Niles, P. W. B. (1976). Thermal evaluation of a house using a movable-insulation heating and cooling systemM. *Solar Energy*, 18, 413-419.
- Tanga, R., & Etzion, Y. (2005). Cooling performance of roof ponds with gunny bags floating on water surface as compared with a movable insulation. *Renewable Energy*, 30, 1373-1385.
- Tiwari, G. N., Kumar, A., & Sodha, M. S. (1982). A review cooling by water evaporation over roof. *Energly Concens. Mgmt*, 22, 143-153.
- กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สำนักอำนวยการ สำนักงานคณะกรรมการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ. (2556). รายงานประมาณราคา ปิงบประมาณ 2556 สำหรับงานก่อสร้าง ปรับปรุง ซ่อมแซม สถานศึกษาในสังกัด สพฐ. เท่านั้น.
- คำรน สุทธิ. (2554). ผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเรือนไทย และบ้านร่วมสมัย. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิตศึกษา), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐพล จีรกาลวสาน. (2547). อุณหพลศาสตร์ : *Thermodynamics*. กรุงเทพฯ.
- ดลยา ศิริปฐ. (2554). แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษา อาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิตศึกษา), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทวี ฉิมอ้อย และ มนู เพ็ญพุ่ม. (2541). ฟิสิกส์พื้นฐาน ระดับมหาวิทยาลัย 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- บัวจจร, ด. (2554). การพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวม และการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิตศึกษา), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ไพฑูรย์ พีรานนท์. (2523). พลังงาน. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร (2552 ,20 กุมภาพันธ์).

สมพงษ์ใจดี. (2551). พิสิกข์มหาวิทยาลัย 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.  
อุไรชา เจียรนัยพานิชย์. (2555). ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อประสิทธิภาพการ  
ประหยัดพลังงาน ตามมาตรฐาน *ASHRAE* 90.1 2007. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิตศึกษา),  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.







ภาคผนวก

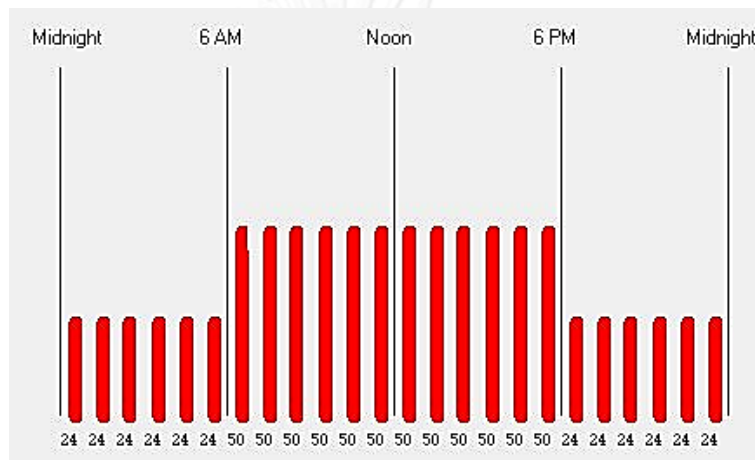
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

ก. การตั้งค่าเวลางานระบบอาคาร (Time Schedule)

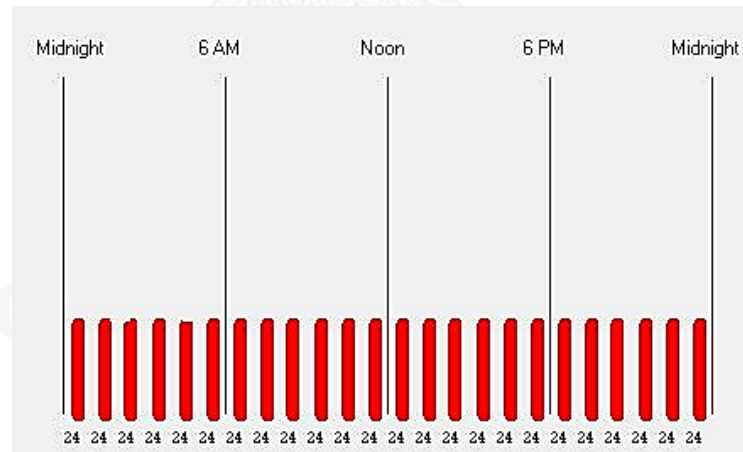
การตั้งค่าเวลางานระบบของอาคารกรณีศึกษาการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 ซึ่งทางผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลอ้างอิงการตั้งค่าต่างๆตามงานวิจัยของ คำรน สุทธิ, (2554), ดลยา ศิริปรุ, (2554), บัวขจร, (2554) และ อุไรชา เจียรนัยพานิชย์, (2555) ซึ่งมีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

a. กรณีอาคารพักอาศัย

i. การตั้งค่าระบบปรับอากาศ (พื้นที่ห้องนอนและห้องนั่งเล่น)

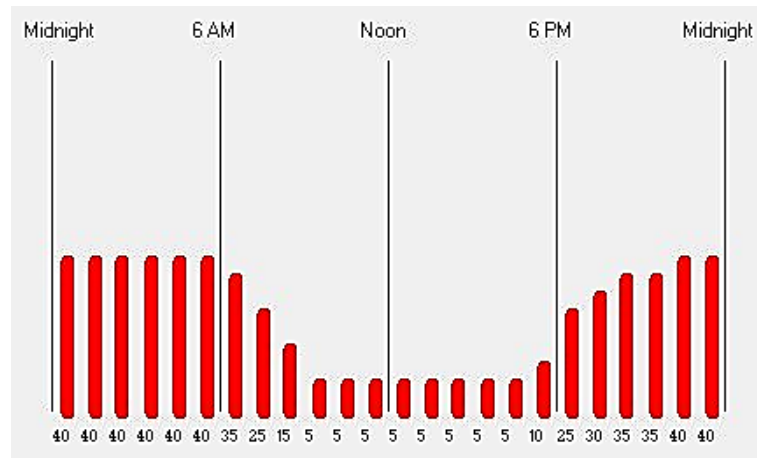


แผนภูมิที่ 25 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบปรับอากาศวันจันทร์ – เสาร์

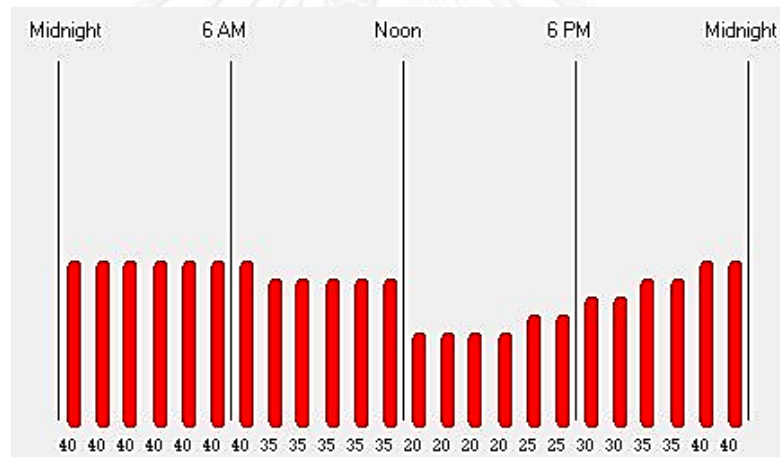


แผนภูมิที่ 26 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบปรับอากาศวันอาทิตย์

ii. การตั้งค่าระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (พื้นที่ห้องนอนและห้องนั่งเล่น)

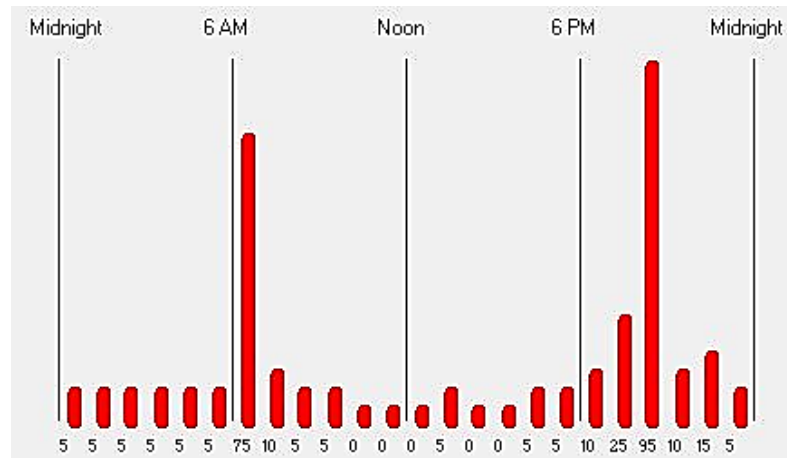


แผนภูมิที่ 27 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างวันจันทร์ - ศุกร์

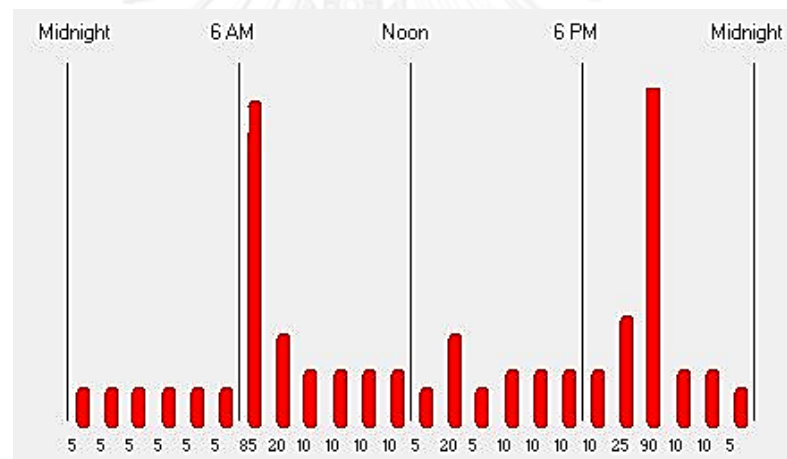


แผนภูมิที่ 28 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างวันเสาร์ - อาทิตย์

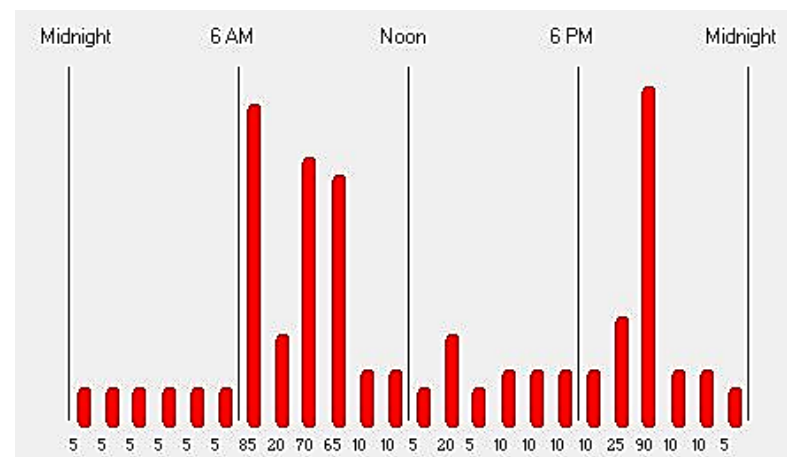
iii. การตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร (พื้นที่ห้องนอนและห้องนั่งเล่น)



แผนภูมิที่ 29 แสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันจันทร์ – ศุกร์

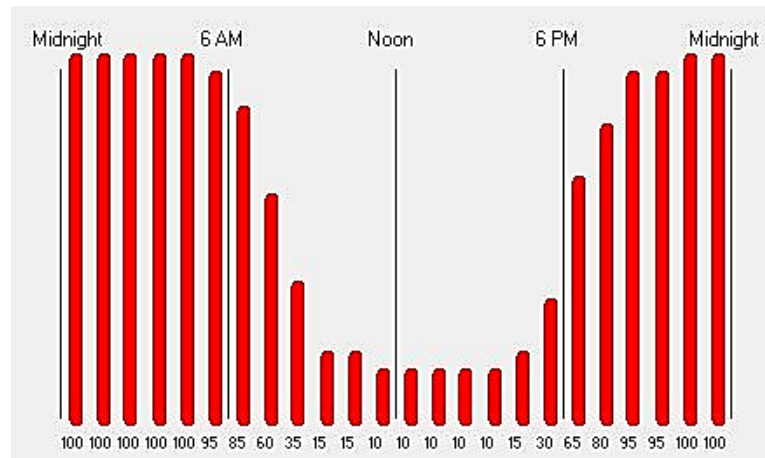


แผนภูมิที่ 30 แสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันเสาร์

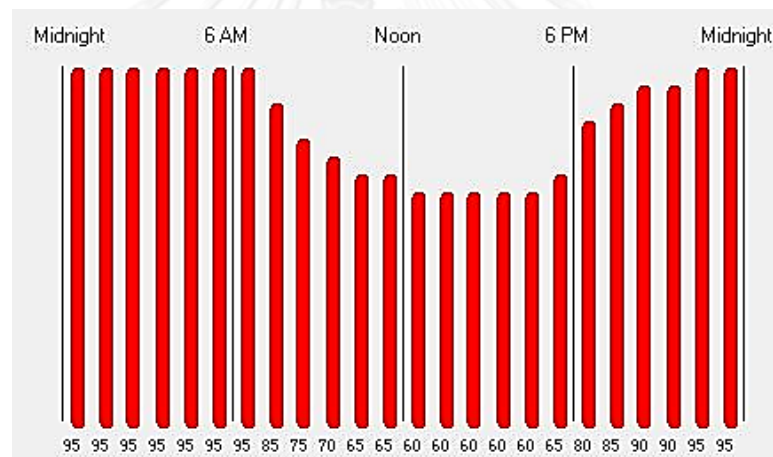


แผนภูมิที่ 31 แสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันอาทิตย์

iv. การตั้งค่าความถี่การใช้งานอาคาร (พื้นที่ห้องนอน)

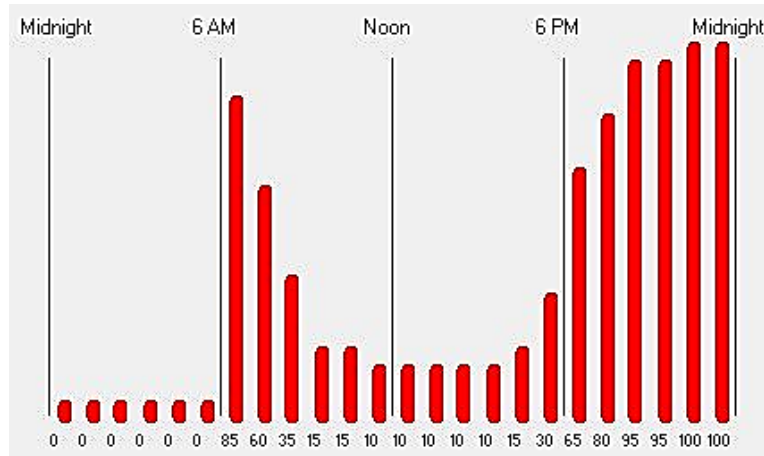


แผนภูมิที่ 32 แสดงการตั้งค่าความถี่การใช้งานวันจันทร์ – ศุกร์

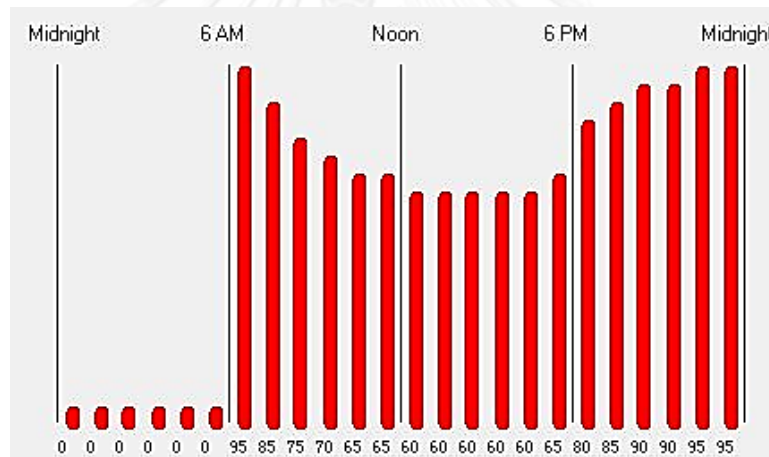


แผนภูมิที่ 33 แสดงการตั้งค่าความถี่การใช้งานวันเสาร์ – อาทิตย์

v. การตั้งค่าความถี่การใช้งานอาคาร (พื้นที่ห้องนั่งเล่น)



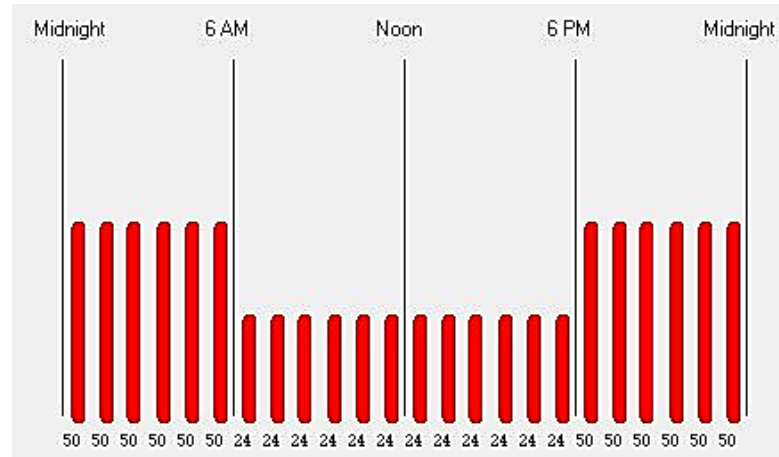
แผนภูมิที่ 34 แสดงการตั้งค่าความถี่การใช้งานวันจันทร์ – ศุกร์



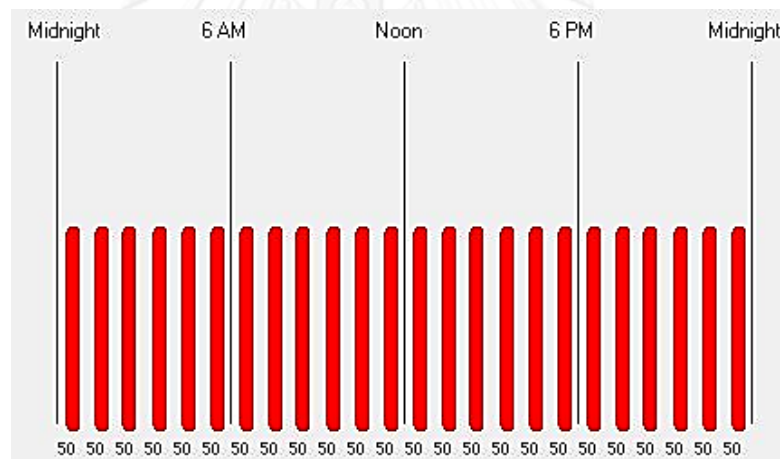
แผนภูมิที่ 35 แสดงการตั้งค่าความถี่การใช้งานวันเสาร์ – อาทิตย์

b. กรณีอาคารสำนักงาน

i. การตั้งค่าระบบปรับอากาศ

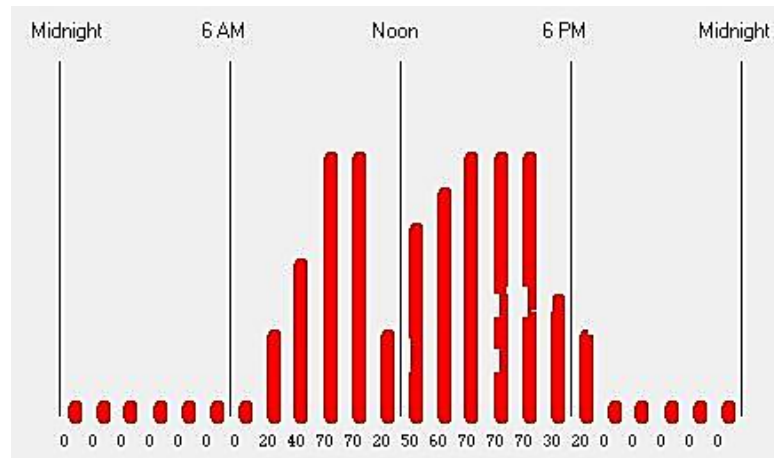


แผนภูมิที่ 36 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบปรับอากาศวันจันทร์ – เสาร์

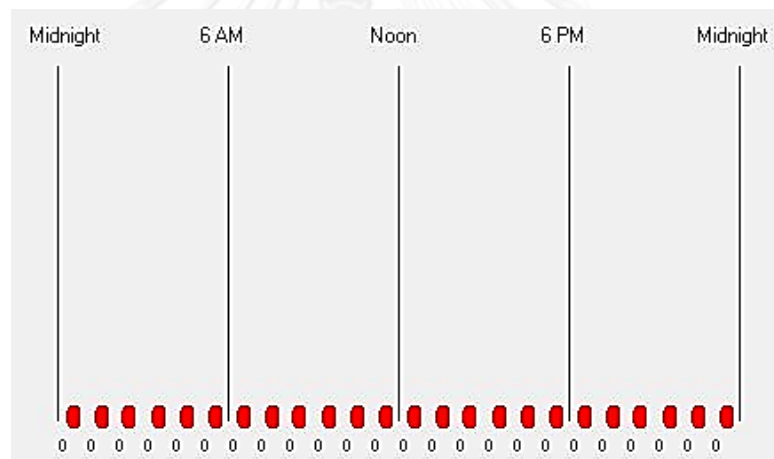


แผนภูมิที่ 37 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบปรับอากาศวันอาทิตย์

ii. การตั้งค่างานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง



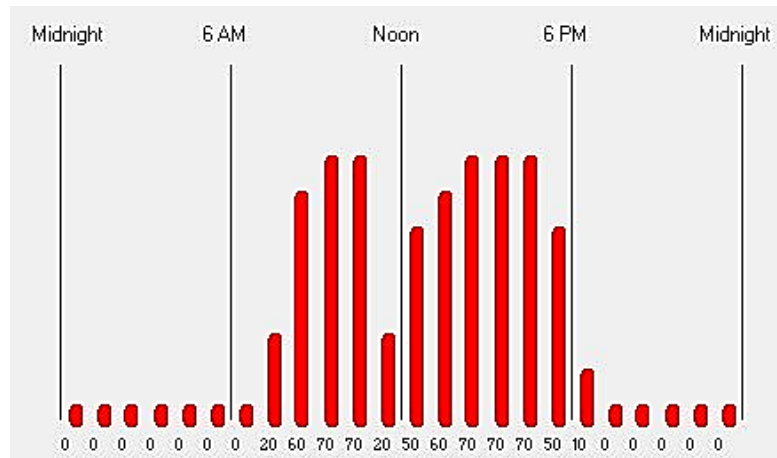
แผนภูมิที่ 38 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างวันจันทร์ - ศุกร์



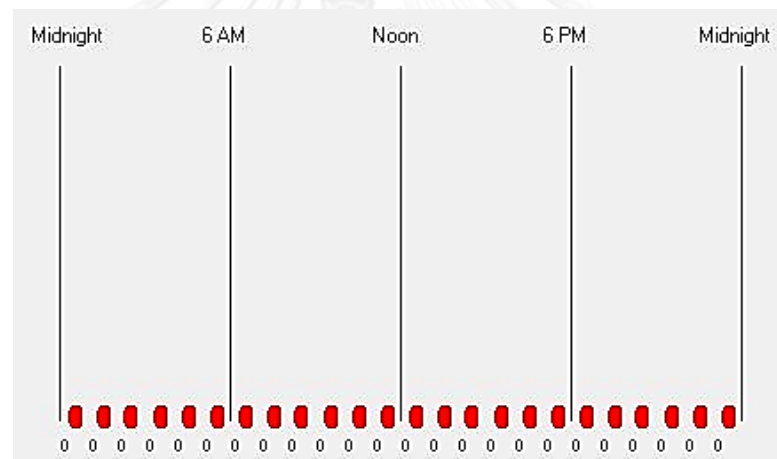
แผนภูมิที่ 39 แสดงการตั้งค่าการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างวันเสาร์ - อาทิตย์



iii. การตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร

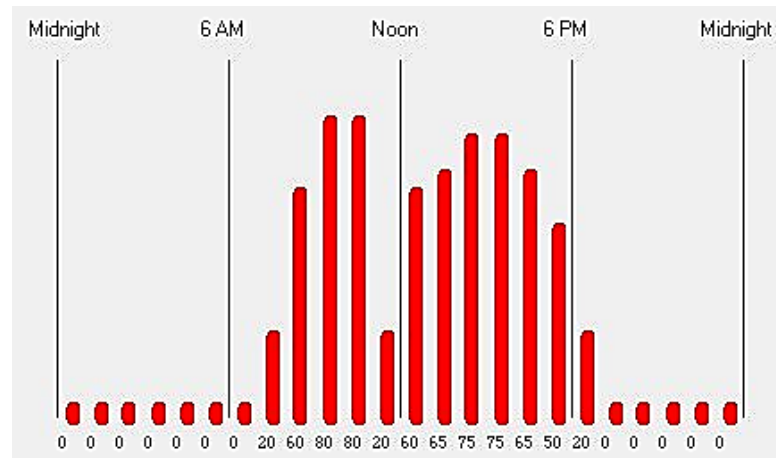


แผนภูมิที่ 40 แสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันจันทร์ – ศุกร์

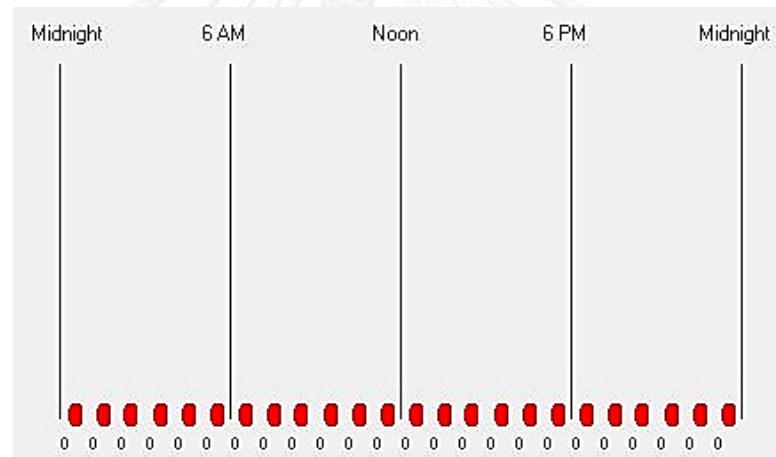


แผนภูมิที่ 41 แสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันเสาร์ – อาทิตย์

iv. การตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานอาคาร



แผนภูมิที่ 42 แสดงการตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันจันทร์ - ศุกร์



แผนภูมิที่ 43 แสดงการตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันเสาร์ - อาทิตย์

ข. การประมาณต้นทุนค่าก่อสร้าง

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณอ้างอิงจากเอกสาร กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สำนักอำนวยการ สำนักงานคณะกรรมการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ, (2556)

กรณีศึกษาที่ 1 กรณีเปรียบเทียบ (Base line)

ตารางที่ 25 แสดงการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 1

รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ (Bath)		ค่าแรง (Bath)		รวมทั้งหมด (Bath)
			@	รวม	@	รวม	
คอนกรีต	ลบ.ม.	64.00	1,595.00	102,080.00	431.00	27,584.00	129,664.00
น้ำยากันซึม	ลิตร	335.36	30.00	10,060.80	-	-	10,060.80
ไม้แบบ	ตร.ม.	640.00	448.00	286,720.00	105.00	67,200.00	353,920.00
ค้ำยัน	ต้น	640.00	28.00	17,920.00	-	-	17,920.00
ตะแกรงเหล็ก SR 9 mm. @ 0.15 m.	ลบ.ม.	640.00	91.00	58,240.00	5.00	3,200.00	61,440.00
คานคอนกรีต	ลบ.ม.	15.84	1,595.00	25,264.80	431.00	6,827.04	32,091.84
รวม							605,096.64
ราคาต่อตารางเมตร							236.37

\*ประมาณค่าก่อสร้างก่อสร้างจากจากพื้นที่หลังคาอาคาร 640 ตารางเมตร อ้างอิงจากอาคารที่ได้ทำการสำรวจตามภาพที่ 17-22

กรณีศึกษาที่ 2 ไม่มีมวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิด (No mass)

ตารางที่ 26 แสดงการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 2

รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ (Bath)		ค่าแรง (Bath)		รวมทั้งหมด (Bath)
			@	รวม	@	รวม	
ฉนวนโพลี (PS) กันความร้อน	ตร.ม.	763.20	350.00	267,120.00	-	-	267,120.00
หลังคา แผ่นเหล็กโรลลอนเคลือบอะลูซิงค์ หนา 0.4 มม.	ตร.ม.	763.00	230.00	175,490.00	70.00	53,410.00	228,900.00
ฝ้าเพดาน ไฟเบอร์ซีเมนต์ ร่วมโครงเคร่า	ตร.ม.	686.88	368.00	252,771.84	76.00	52,202.88	304,974.72
คานคอนกรีต	ลบ.ม.	15.84	1,595.00	25,264.80	431.00	6,827.04	32,091.84
แปหลังคาสำเร็จรูป หนา 0.70 มม. ยาว 4 เมตร	ท่อน	220.00	140.00	30,800.00	20.00	4,400.00	35,200.00
มอเตอร์สำหรับเลื่อนเปิดปิดฉนวน	เครื่อง	20.00	22,500.00	450,000.00	-	-	450,000.00
รวม							1,318,286.56
ราคาต่อตารางเมตร							514.96
กรณี non-movable (ไม่คิดค่ามอเตอร์)							868,286.56
ราคาต่อตารางเมตร (ไม่คิดค่ามอเตอร์)							339.17

\*ประมาณค่าก่อสร้างก่อสร้างจากจากพื้นที่หลังคาอาคาร 640 ตารางเมตร อ้างอิงจากอาคารที่ได้ทำการสำรวจตามภาพที่ 17-22

กรณีศึกษาที่ 3 มีมวบน้ำเป็นมวลดอุณหภูมิฉนวนเปิด-ปิด (water bottle)

ตารางที่ 27 แสดงการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 3

รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ (Bath)		ค่าแรง (Bath)		รวมทั้งหมด (Bath)
			@	รวม	@	รวม	
ฉนวนโฟม (PS) กันความร้อน	ตร.ม.	763.20	350.00	267,120.00	-	-	267,120.00
หลังคา แผ่นเหล็กยึดลอนเคลือบอะลูมิเนียม หนา 0.4 มม.	ตร.ม.	1,526.40	230.00	351,072.00	70.00	106,848.00	457,920.00
ฝ้าเพดาน ไทเบอร์ซีเมนต์ ร่วมโครงเคร่า	ตร.ม.	686.88	368.00	252,771.84	76.00	52,202.88	304,974.72
คานคอนกรีต	ลบ.ม.	15.84	1,595.00	25,264.80	431.00	6,827.04	32,091.84
แปหลังคาสำเร็จรูป หนา 0.70 มม. ยาว 4 เมตร	ท่อน	220.00	140.00	30,800.00	20.00	4,400.00	35,200.00
วงกบเหล็ก	ม.	1,480.00	270.00	399,600.00	30.00	44,400.00	444,000.00
กระจากไล่ 10 mm.	ตร.ม.	686.88	42.00	28,848.96	12.00	8,242.56	37,091.52
มอเตอร์สำหรับเลื่อนเปิดปิดฉนวน	เครื่อง	20.00	22,500.00	450,000.00	-	-	450,000.00
รวม							2,028,398.08
ราคาต่อตารางเมตร							792.34
กรณี non-movable (ไม่คิดค่ามอเตอร์)							1,578,398.08
ราคาต่อตารางเมตร (ไม่คิดค่ามอเตอร์)							616.56

\*ประมาณค่าก่อสร้างก่อสร้างจากจากพื้นที่หลังคาอาคาร 640 ตารางเมตร อ้างอิงจากอาคารที่ได้ทำการสำรวจตามภาพที่ 17-22

กรณีศึกษาที่ 4 มีมวลดคอนกรีตเป็นมวลดอุณหภูมิฉนวนเปิด-ปิด (Concrete)

ตารางที่ 28 แสดงการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 4

รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ (Bath)		ค่าแรง (Bath)		รวมทั้งหมด (Bath)
			@	รวม	@	รวม	
คอนกรีต	ลบ.ม.	64.00	1,595.00	102,080.00	431.00	27,584.00	129,664.00
น้ำยากันซึม	ลิตร	335.36	30.00	10,060.80	-	-	10,060.80
ไม้แบบ	ตร.ม.	640.00	448.00	286,720.00	105.00	67,200.00	353,920.00
ค้ำยัน	ต้น	640.00	28.00	17,920.00	-	-	17,920.00
ตะแกรงเหล็ก SR 9 mm. @ 0.15 m.	ลบ.ม.	640.00	91.00	58,240.00	5.00	3,200.00	61,440.00
ฉนวนโฟม (PS) กันความร้อน	ตร.ม.	763.20	350.00	267,120.00	-	-	267,120.00
หลังคา แผ่นเหล็กยึดลอนเคลือบอะลูมิเนียม หนา 0.4 มม.	ตร.ม.	763.00	230.00	175,490.00	70.00	53,410.00	228,900.00
ฝ้าเพดาน ไทเบอร์ซีเมนต์ ร่วมโครงเคร่า	ตร.ม.	686.88	368.00	252,771.84	76.00	52,202.88	304,974.72
คานคอนกรีต	ลบ.ม.	15.84	1,595.00	25,264.80	431.00	6,827.04	32,091.84
มอเตอร์สำหรับเลื่อนเปิดปิดฉนวน	เครื่อง	20.00	22,500.00	450,000.00	-	-	450,000.00
รวม							1,856,091.36
ราคาต่อตารางเมตร							725.04
กรณี non-movable (ไม่คิดค่ามอเตอร์)							1,406,091.36
ราคาต่อตารางเมตร (ไม่คิดค่ามอเตอร์)							549.25

\*ประมาณค่าก่อสร้างก่อสร้างจากจากพื้นที่หลังคาอาคาร 640 ตารางเมตร อ้างอิงจากอาคารที่ได้ทำการสำรวจตามภาพที่ 17-22

กรณีศึกษาที่ 5 มีมวลไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นมวลอุณหภูมิมีฉนวนเปิด-ปิด (Fiber cement)

ตารางที่ 29 แสดงการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 5

รายการ	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ (Bath)		ค่าแรง (Bath)		รวมทั้งหมด (Bath)
			@	รวม	@	รวม	
ฉนวนโฟม (PS) กันความร้อน	ตร.ม.	763.20	350.00	267,120.00	-	-	267,120.00
หลังคา แผ่นเหล็กกรีดลอนเคลือบอะลูซิงค์ หนา 0.4 มม.	ตร.ม.	1,526.40	230.00	351,072.00	70.00	106,848.00	457,920.00
ฝ้าเพดาน ไฟเบอร์ซีเมนต์ ร่วมโครงเคร่า	ตร.ม.	686.88	368.00	252,771.84	76.00	52,202.88	304,974.72
คานคอนกรีต	ลบ.ม.	15.84	1,595.00	25,264.80	431.00	6,827.04	32,091.84
แปหลังคาสำเร็จรูป หนา 0.70 มม. ยาว 4 เมตร	ท่อน	220.00	140.00	30,800.00	20.00	4,400.00	35,200.00
มวลไฟเบอร์ซีเมนต์	ลบ.ม.	64.00	3,833.00	245,312.00	100.00	6,400.00	251,712.00
มอเตอร์สำหรับเลื่อนเปิดปิดฉนวน	เครื่อง	20.00	22,500.00	450,000.00	-	-	450,000.00
รวม							1,799,018.56
ราคาต่อตารางเมตร							702.74
กรณี non-movable (ไม่คิดค่ามอเตอร์)							1,349,018.56
ราคาต่อตารางเมตร (ไม่คิดค่ามอเตอร์)							526.96

\*ประมาณค่าก่อสร้างก่อสร้างจากจากพื้นที่หลังคาอาคาร 640 ตารางเมตร อ้างอิงจากอาคารที่ได้ทำการสำรวจตามภาพที่ 17-22

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล นายวีรภัทร ไตรทิพเทวินทร์ วัน-เดือน-ปีเกิด 25 กุมภาพันธ์ 2532 สถานภาพการศึกษา ศึกษาต่อในหลักสูตรต่อเนื่องปริญญาตรีต่อปริญญาโท (5+1) ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2555 หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพฯ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY