

ประสิทธิภาพการทำความเย็นโดยการแผ่รังสีในตอนกลางคืนด้วยฝ้าเพดานแบบพลิกหมุน



นางสาวณชมน พูลทรัพย์

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.

NOCTURNAL RADIATIVE COOLING EFFICIENCY OF OPERABLE HINGED CEILING



Miss Nachamon Poolsrup

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

ประสิทธิภาพการทำความเข้าใจโดยการแผ่รังสีในตอน
กลางคืนด้วยผ้าเพดานแบบพลิกหมุน

โดย

นางสาวณชมน พูลทรัพย์

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถจักร์ เศรษฐบุตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ศักดิ์ วัฒนสินธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถจักร์ เศรษฐบุตร์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. ณรงค์วิทย์ อารีมิตร)

ณชมน พูลทรัพย์ : ประสิทธิภาพการทำความเย็นโดยการแผ่รังสีในตอนกลางคืนด้วยฝ้าเพดานแบบพลิกหมุน. (NOCTURNAL RADIATIVE COOLING EFFICIENCY OF OPERABLE HINGED CEILING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อรรถจัน เศรษฐบุต, หน้า.

การทำความเย็นโดยการแผ่รังสีในเวลากลางคืนเป็นวิธีการทำความเย็นโดยธรรมชาติที่มีแนวโน้มสามารถใช้ได้ในประเทศไทย โดยการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองใน 2 ชั้นตอน คือการเก็บข้อมูลจากกล่องทดลองและการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 ในชั้นตอนแรก ทำการเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆในกล่องทดลองซึ่งติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้เปรียบเทียบกับติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัว และ ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานภายใน ร่วมกับการใช้วัสดุหลังคากระเบื้อง และ วัสดุหลังคาโลหะ ทำการสร้างกล่องทดลองด้วยโฟมโพลีสไตรีน หน้า 2 นิ้ว ระยะเวลาภายในขนาด 0.80x0.80x0.80 เมตร ต่อกล่องทดลอง โดยกล่องทดลองทั้งหมดมี 6 กล่อง เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 22-24 มกราคม 2557 (ฤดูหนาว) ทุกๆ 10 นาที ในชั้นตอนที่ 2 ทำการจำลองการใช้พลังงานในอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 กำหนดอาคารบ้านตัวอย่างเป็นบ้านพักอาศัย 1 ชั้น โดยแบ่งกรณีศึกษาเป็นทั้งหมด 6 กรณีศึกษา คือ อาคารที่ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้เปรียบเทียบกับติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัว และ ไม่มีการติดตั้งฝ้าภายใน ร่วมกับการใช้วัสดุหลังคากระเบื้อง และ วัสดุหลังคาโลหะ จากนั้นทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานโดยรวม การใช้พลังงานในระบบทำความเย็น และ ปริมาณความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา ทั้งนี้พิจารณาการใช้อาคารเพียง 2 ฤดู คือฤดูร้อนและฤดูหนาว เนื่องจากข้อจำกัดของการทำความเย็นด้วยวิธีการแผ่รังสีในตอนกลางคืนที่ไม่เหมาะสมในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูงดังเช่นฤดูฝน

จากการทดลองจากกล่องทดลองพบว่า ฝ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่างกลางวันและกลางคืนนั้นมีความเป็นไปได้ในการใช้สำหรับบ้านพักอาศัยที่ไม่มีการปรับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงฤดูหนาว เนื่องจากเป็นการนำข้อดีของทั้งฝ้าเพดานแบบติดตายที่สามารถป้องกันความร้อนได้ดีในช่วงกลางวัน และข้อดีของการไม่ติดตั้งฝ้าเพดานที่ทำให้เกิดกระบวนการแผ่รังสีในช่วงกลางคืนมารวมกันได้ในระบบเดียว ทำให้อุณหภูมิภายในไม่ร้อนมากในตอนกลางวัน และสามารถระบายความร้อนได้ดีในตอนกลางคืน แต่จากการจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 ซึ่งเป็นการจำลองบ้านพักอาศัยกรณีติดเครื่องปรับอากาศ พบว่า ฝ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้มีความเหมาะสมในการใช้งานในฤดูหนาว เนื่องจากสามารถป้องกันความร้อนได้ดีในช่วงกลางวันและสนับสนุนการสูญเสียความร้อนในช่วงกลางคืน เป็นผลให้สามารถประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นมากขึ้น แต่ในฤดูร้อนฝ้าเพดานแบบติดตายกลับมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากยังเกิดการได้รับความร้อนจากภายนอกในช่วงกลางคืน

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5673316325 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: PASSIVE COOLING / NOCTURNAL RADIATION / RADIATION / OPERABLE HINGE
CEILING

NACHAMON POOLSRUP: NOCTURNAL RADIATIVE COOLING EFFICIENCY OF OPERABLE
HINGED CEILING. ADVISOR: ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., pp.

The nocturnal radiative cooling is the passive cooling system which is possible to use in Thailand. There were 2 steps in this research. First was the presentation of data collecting from the test box. Second was the Visual DOE 4.1 model simulation. In the test box testing part, the operable ceiling system was be installed inside one of the test boxes in the aim to collect the variation data of the temperature which occur in each time of the day and to analyze the temperature trend compare with the two other test boxes (which install the fix ceiling system and not install the ceiling at all). Furthermore, The 3 different ceiling system was set combine with 2 different radiator type (which are Metal sheet and Clay tile) in the propose to complicate the temperature analysis process. The 6 test boxes was built by the 2 inch depth polystyrene. The inner size of each unit is 0.80x0.80x0.80 m. The 12 Channel Temperature Data Logger and Solar Power Meter was used as an collecting data equipment. In the Visual DOE 4.1 simulation part, The 1 story house was used. The case study were separated in to 6 cases as same as the case study in the test box experimental part. Then compare the result of the energy end use , the cooling load energy ,the heat gain and heat loss from roof conduction and the possibility to use in the real house.

From the test box experiment part can conclude that the operable ceiling system has a potential to be adopt as a passive cooling system in the real house in the winter season because it contains the advantage of both fix ceiling system which is protecting the heat gain from the roof in the day time and no ceiling system which is allowing the nocturnal heat loss system through the roof in the night time. However, from the Visual DOE 4.1 simulation part can conclude that the operable ceiling system could be used efficiency in the winter season because of the heat loss process in the night time. but in the summer season, the fixed ceiling was the better system in order to protect the all day high level of heat gain from the outside.

Department: Architecture

Student's Signature

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถจัน เศรษฐบุต อธิการบดีที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเสมอมา

ขอบคุณ รศ. ธนิต จินดาวงศ์ ผศ.ดร.วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ รศ. พรรณชลัท สุริโยธิน และ ดร. ณรงค์วิทย์ อาริมิตร ที่ได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอบคุณ บริษัท แมกโนเลีย ควอลิตี้ ดีเวล็อปเม้นต์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ผู้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอบคุณ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่วิจัย

ขอบคุณครอบครัวและเพื่อนๆทุกคน ที่ให้การช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจและดูแลเป็นอย่างดีเสมอมา



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	1
สารบัญรูปภาพ.....	2
สารบัญแผนภูมิ.....	3
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	3
1.5 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์.....	5
2.2 การทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ.....	6
2.3 กระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบต่างๆ (Heat Transfer).....	7
2.4 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคา.....	7
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	18
3.1 ระเบียบวิธีการศึกษา.....	18
3.2 เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3.3 วิธีการทดลอง.....	19
3.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 - การจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	28

4.1	วิธีการรวบรวมข้อมูล	28
4.2	ผลการทดลองช่วงที่ 1 (การเก็บข้อมูลจากกล่องทดลอง)	29
4.3	ผลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	36
4.4	ผลการทดลองช่วงที่ 2 (การจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1).....	39
4.5	การวิเคราะห์ผลการทดลองช่วงที่ 1 (กล่องทดลอง) และ ช่วงที่ 2 (การจำลองการใช้พลังงาน ด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1).....	48
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
5.1	สรุปผลการทดลองจากการทดลองช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2.....	62
5.2	สรุปแนวทางการนำไปใช้ในอาคารจริง.....	63
5.3	สรุปความรู้ที่เกิดขึ้นใหม่	64
5.4	ข้อเสนอแนะ	64
รายการอ้างอิง	65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	67

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2. 1	รายละเอียดความเป็นฉนวนของผนังกล่องทดลอง (La Roche, P. และ Givoni, B., 2002)	11
ตารางที่ 2. 2	รายละเอียดผลการอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง (La Roche, P. และ Givoni, B., 2002)	11
ตารางที่ 2. 3	รายละเอียดของวัสดุหุ้มหลังคาแต่ละชุด	15
ตารางที่ 4. 1	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในช่วงกลางวัน (08.00-18.00)	38
ตารางที่ 4. 2	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในเวลากลางวันเมื่อไม่มีการเปิดไฟ (00.00-08.00) เมื่อ 1 Btu/hr.Ft ² .Fo = 5.678 Watt/m ² .°C.....	39
ตารางที่ 4. 3	ผลการจำลองการใช้พลังงานโดยรวมในแต่ละเดือนของอาคารที่ในแต่ละกรณี	42
ตารางที่ 4. 4	การใช้พลังงานโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน-พฤษภาคม) (Electric End Use per year, kWh/yr).....	43
ตารางที่ 4. 5	การเรียงลำดับการใช้พลังงานในอาคารโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา.....	44
ตารางที่ 4. 6	การใช้พลังงานในระบบทำความเย็นในแต่ละเดือน	45
ตารางที่ 4. 7	เรียงลำดับการใช้พลังงานของส่วนระบบทำความเย็นโดยรวมภายใน 7 เดือน	47
ตารางที่ 4. 8	เรียงลำดับการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน- พฤษภาคม) ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรจากมากไปน้อย	47
ตารางที่ 4. 9	ตารางที่ 4.9 ค่าไฟฟ้าโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน-พฤษภาคม) (Baht/year).....	48

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1. 1 การติดตั้งอุปกรณ์ฝ้าเพดานแบบพลิกหมุน (Givoni B., 1994)	2
รูปที่ 2. 1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในช่วงกลางวันผ่านทางหลังคา.....	8
รูปที่ 2. 2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในช่วงกลางคืนผ่านทางหลังคา	9
รูปที่ 2. 3 รูปตัดกล่องทดลอง	10
รูปที่ 2. 4 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์เก็บอุณหภูมิ.....	16
รูปที่ 3. 1 การจำลองภาพตัดของกล่องทดลอง	20
รูปที่ 3. 2 รายละเอียดต่างๆของกล่องทดลอง.....	20
รูปที่ 3. 3 ขั้นตอนระหว่างการสร้างกล่องทดลองจริง.....	21
รูปที่ 3. 4 ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือเพื่อเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิ.....	21
รูปที่ 3. 5 ขั้นตอนระหว่างการเก็บข้อมูล	22
รูปที่ 3. 6 แบบบ้าน แวมมยุรา 11	25
รูปที่ 4. 1 รูปตัดภายในกล่องทดลอง	28
รูปที่ 4. 2 แบบบ้าน แวมมยุรา 11	40
รูปที่ 4. 3 กระบวนการถ่ายเทความร้อนในตอนกลางวันและกลางคืนของกล่องทดลองที่ 1 และ 4 (ติดตั้งฝ้าแบบปรับเปลี่ยนได้ระหว่างกลางวันและกลางคืน).....	50
รูปที่ 4. 4 กระบวนการถ่ายเทความร้อนในตอนกลางวันและกลางคืนของกล่องทดลองที่ 2 และ 5 (ติดตั้งฝ้าแบบติดตาย)	50
รูปที่ 4. 5 กระบวนการถ่ายเทความร้อนในตอนกลางวันและกลางคืนของกล่องทดลองที่ 3 และ 6 (ไม่มีการติดตั้งฝ้า).....	50

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 2. 1 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในกล่องทดลองภายในเวลา 3 วัน	12
แผนภูมิที่ 2. 2 แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของกล่องทดลองแต่ละชุด ก่อนและหลังการเพิ่มเติมตัวแปร day to night ratio ในสูตรการคำนวณ	13
แผนภูมิที่ 2. 3 อุณหภูมิที่วัดได้ในกล่องทดลองที่มีการเรียงตัวของมวลที่แตกต่างกัน	14
แผนภูมิที่ 4. 1 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งช่องลมออกของกล่องทดลองที่ใช้หลังคาเหล็ก	29
แผนภูมิที่ 4. 2 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งช่องลมออกของกล่องทดลองที่ใช้หลังคากระเบื้องดินเผา	30
แผนภูมิที่ 4. 3 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งกลางกล่องทดลองที่ใช้หลังคาเหล็ก	30
แผนภูมิที่ 4. 4 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งกลางกล่องทดลองที่ใช้หลังคากระเบื้องดินเผา	31
แผนภูมิที่ 4. 5 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งใต้หลังคาเหล็ก	34
แผนภูมิที่ 4. 6 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งใต้หลังคากระเบื้องดินเผา	34
แผนภูมิที่ 4. 7 กราฟเส้นตรงแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value, Btu/hr.Ft ² .Fo) ในช่วงกลางวัน (08.00-18.00)	38
แผนภูมิที่ 4. 8 กราฟเส้นตรงแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value, Btu/hr.Ft ² .Fo) ในช่วงกลางคืนเมื่อไม่มีการเปิดไฟ (00.00-08.00)	39
แผนภูมิที่ 4. 9 การใช้พลังงานโดยรวมในแต่ละเดือนของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก	42
แผนภูมิที่ 4. 10 การใช้พลังงานโดยรวมในแต่ละเดือนของอาคารที่ใช้หลังคากระเบื้องดินเผา	43
แผนภูมิที่ 4. 11 การใช้พลังงานโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน-พฤษภาคม) (Electric End Use per year, kWh/yr)	44
แผนภูมิที่ 4. 12 การใช้พลังงานในระบบทำความเย็นในแต่ละเดือนของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก (B1,B2,B3) (Cooling Energy , kWh)	45
แผนภูมิที่ 4. 13 การใช้พลังงานในระบบทำความเย็นในแต่ละเดือนของอาคารที่ใช้หลังคากระเบื้องดินเผา (B4,B5,B6) (Cooling Energy, kWh)	46
แผนภูมิที่ 4. 14 การใช้พลังงานในระบบทำความเย็นโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา	47
แผนภูมิที่ 4. 15 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)	52
แผนภูมิที่ 4. 16 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)	52
แผนภูมิที่ 4. 17 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)	53
แผนภูมิที่ 4. 18 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)	54

แผนภูมิที่ 4. 19 ปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้รับผ่านทางหลังคาโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤษภาคม-พฤษภาคม) (watt)	54
แผนภูมิที่ 4. 20 ปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียผ่านทางหลังคาโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤษภาคม-พฤษภาคม) (watt)	55
แผนภูมิที่ 4. 21 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)	56
แผนภูมิที่ 4. 22 อุณหภูมิภายในอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก ใน 1 วัน ช่วงฤดูหนาว (°C)	56
แผนภูมิที่ 4. 23 การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็กใน 1 วันช่วงฤดูหนาว (kw)....	57
แผนภูมิที่ 4. 24 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก ใน 1 วันช่วงฤดูหนาว	57
แผนภูมิที่ 4. 25 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)	59
แผนภูมิที่ 4. 26 อุณหภูมิภายในอาคาร ของอาคารใช้หลังคาเหล็ก ใน 1 วัน ช่วงฤดูร้อน (°C)	59
แผนภูมิที่ 4. 27 การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก ใน 1 วันช่วงฤดูร้อน.....	60
แผนภูมิที่ 4. 28 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก ใน 1 วันช่วงฤดูร้อน	60

บทที่ 1

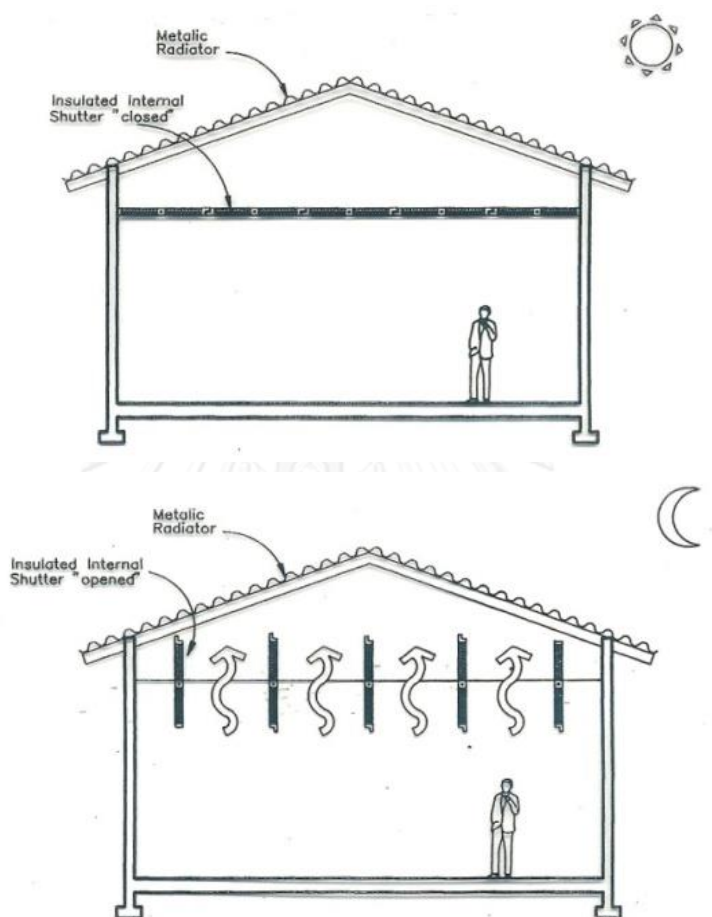
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำความเย็นโดยการแผ่รังสีในเวลากลางคืน (Night radiative cooling) เป็นวิธีการทำความเย็นโดยธรรมชาติ (Passive cooling) วิธีการหนึ่งที่สามารถลดปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารด้วยการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน โดยมีหลักการเบื้องต้นคือในเวลากลางคืนจะเกิดการระบายความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารด้วยการแผ่รังสีผ่านตัวแผ่รังสี (Radiator) ซึ่งหลังคาที่ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสีจะแผ่รังสีความร้อนที่ถูกสะสมไว้ดังกล่าวกลับสู่ท้องฟ้า ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า (Kreith F 1978) (Givoni B. 1979) หลังคาคือองค์ประกอบที่มีส่วนเหมาะสมที่สุดในการเป็นตัวแผ่รังสี (Long-wave radiator) เนื่องจากเปิดรับกับท้องฟ้าโดยตรง การแผ่รังสีความร้อนดังกล่าวมีประเด็นที่น่าสนใจที่เกิดขึ้น 2 ประเด็นคือ ประเด็นแรก ในเวลากลางคืนหลังคาจะประพืดตัวเสมือนวัตถุดูดกลืนความร้อนจากพื้นที่ภายในอาคาร (Cold storage) ทำให้พื้นที่ภายในอาคารดังกล่าวเย็นลง (Givoni B. 1982) (Fardeheb F. 1987) และประเด็นที่สองคือ ในเวลากลางคืนพื้นผิวหลังคาจะถูกทำให้เย็นลงด้วยการแผ่รังสีความร้อน (Long-wave radiation) กลับสู่ท้องฟ้า ทำให้อากาศใต้หลังคานั้นเย็นลงด้วย เป็นผลทำให้พื้นที่ภายในเย็นลงตามเมื่ออากาศเย็นเคลื่อนตัวลงสู่พื้นที่ดังกล่าว (Givoni B. 1977)

Givoni (Givoni B. 1979) ได้กล่าวถึงประเด็นความสำคัญของวัสดุหลังคาที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นด้วยวิธีการแผ่รังสีในเวลากลางคืนในประเทศกำลังพัฒนา โดยกล่าวว่าที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่มักจะเป็นแผ่นหลังคาสังกะสี (Corrugated metal roofs) หรือกระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์ใยหิน (Asbestos-cement roofs) ซึ่งในเวลากลางคืน หลังคาแบบ low-mass นี้จะเย็นลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีคุณสมบัติเสมือนเป็นตัวแผ่รังสีในเวลากลางคืน (Nocturnal Radiator) แผ่นหลังคาจะถูกติดตั้งอยู่เหนือพื้นที่อยู่อาศัยภายในโดยตรง กระบวนการทำความเย็นดังกล่าวทำให้พื้นที่ภายในมีความเย็นสบายมากกว่าอาคารที่มีหลังคาแบบ High-mass roof ในช่วงเวลากลางคืน แต่อย่างไรก็ตาม ในช่วงเวลากลางวันพื้นที่อยู่อาศัยภายในกลับมีอุณหภูมิสูงมากเนื่องจากหลังคาเหล่านี้ไม่มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนดังเช่นในหลังคาแบบ High-mass ดังนั้นแล้วการติดตั้งอุปกรณ์ "Operable hinged interior insulation plate" หรือ แผ่นผ้าที่มีการพลิกเปิดปิดได้ไว้ใต้หลังคาเพื่อสามารถเป็นอุปกรณ์ป้องกันความร้อนจากหลังคาได้ในตอนกลางวัน อีกทั้งไม่ขัดขวางการถ่ายเทความร้อนจากพื้นที่ภายในสู่หลังคาด้านบนในตอนกลางวัน การทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวจะแตกต่างกันในช่วงเวลากลางวันกับกลางคืน กล่าวคือ ในเวลากลางวันนั้นแผ่นพลิกจะปิดในแนวราบ (Horizontal) เพื่อทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากหลังคาที่จะส่งผ่านมายังพื้นที่ภายใน ส่วนในตอนกลางวันแผ่นพลิกนี้จะเปิดออกในแนวตั้ง (Vertical) เพื่อทำให้การส่งผ่านความร้อนจากพื้นที่ภายในไปสู่หลังคาด้านบนเป็นไปได้อย่างสะดวก จากนั้นหลังคาจะทำการแผ่รังสีกลับสู่ท้องฟ้าทำให้เกิดความเย็นขึ้น

เนื่องจากงานวิจัยเกี่ยวกับการทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีในเวลากลางคืนร่วมกับการติดตั้งฝ้าเพดานแบบพลิกหมุนนั้นเป็นวิธีการทำความเย็นแก่อาคารที่ยังมีการศึกษาไม่มากนัก อีกทั้งยังไม่เป็นที่รู้จักดี จึงมีความเหมาะสมแก่การนำมาวิจัยและศึกษาต่อเพื่อนำไปสู่การพัฒนาในการนำไปใช้จริงต่อไป



รูปที่ 1. 1 การติดตั้งอุปกรณ์ฝ้าเพดานแบบพลิกหมุน
(Givoni B., 1994)

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีในเวลากลางคืน ร่วมกับการติดตั้งอุปกรณ์ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ในประเทศไทย

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มของปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ภายใน ระหว่างกรณีที่มีการติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้, มีการติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัว และ ไม่มีการติดตั้งฝ้าภายใน ร่วมกับการใช้วัสดุหลังคากระเบื้อง และ วัสดุหลังคาโลหะ

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานภายในอาคารในกรณีที่มีการปรับอากาศ ระหว่างอาคารที่มีการติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้, มีการติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัว และ ไม่มีการติดตั้งฝ้าภายใน ร่วมกับกรณีการใช้วัสดุหลังคากระเบื้อง และ วัสดุหลังคาโลหะ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 - ทำการทดลองด้วยกล่องทดลอง ใช้สถานที่บริเวณลาดฟ้า สถาบันวิจัยสถานะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารสถาบัน 2 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร และ เก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ 12 Channel Temperature Data Logger รุ่น HH-4208SD ตั้งแต่วันที่ 10 มกราคม - 12 มกราคม 2557

1.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 - ทำการทดลองด้วยการจำลองโปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานต่อปี (kWh) ในกรณีต่างๆที่ทำการศึกษา และทำการวิเคราะห์

1.4 ขอบจำกัดของการวิจัย

1.4.1 งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการทำการทดลองด้วยการเก็บข้อมูลจากกล่องทดลองในฤดูหนาว และ การจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึงการเก็บข้อมูลภายในอาคารจริง

1.4.3 งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการทดลองในกรณีอาคารบ้านพักอาศัยที่มีการใช้งานในช่วงกลางวัน

1.5 ระเบียบวิธีการวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และทบทวนวรรณกรรม

1.5.2 กำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมที่ต้องการกำหนดในการทดลองด้วยกล่องทดลองและการจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

1.5.3 ทำการสร้างกล่องทดลองและติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อทำการบันทึกข้อมูลภายในกล่องทดลอง

1.5.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลที่เก็บได้จากกล่องทดลองเพื่อประเมินปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลาของวันเพื่อทำการสรุปผลการทดลองในช่วงที่ 1 (กรณีอาคารไม่ปรับอากาศ)

1.5.5 ทำการจำลองการใช้พลังงานต่อปีของกรณีการใช้ฝ้าประเภทต่างๆด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 ในกรณีอาคารบ้านพักอาศัยที่มีการใช้งานในตอนกลางวัน

1.5.6 วิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์แนวทางการนำไปใช้จริง จากนั้นทำการสรุปผลการทดลองในช่วงที่ 2 (กรณีอาคารปรับอากาศ)

1.5.7 สรุปผลการวิจัยโดยรวมและเสนอแนวทางในการนำไปใช้ต่อไป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีในเวลากลางคืน ร่วมกับการติดตั้งอุปกรณ์ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ในประเทศไทย

1.6.2 ได้เปรียบเทียบแนวโน้มของปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ภายใน ระหว่างกรณีที่มีการติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้, มีการติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัว และไม่มีการติดตั้งฝ้าภายใน ร่วมกับกรณีการใช้วัสดุหลังคากระเบื้อง และ วัสดุหลังคาโลหะ

1.6.3 ได้เปรียบเทียบการใช้พลังงานภายในอาคารที่มีการติดตั้งฝ้าในกรณีต่างๆ และเพื่อการประเมินแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในอาคารจริง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์

2.1.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)

การถ่ายเทพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นแรกปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่แกนของดวงอาทิตย์ทำปฏิกิริยาก่อให้เกิดพลังงาน ขั้นที่สอง ความร้อนถูกถ่ายเทมายังผิวของดวงอาทิตย์ด้วยวิธีการพาความร้อน และที่สามพลังงานจากดวงอาทิตย์ถูกส่งมายังโลกและบริเวณอื่นๆในระบบสุริยะด้วยวิธีการแผ่รังสี

ดวงอาทิตย์แผ่รังสีในช่วงคลื่นต่างๆมายังโลก เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศจะถูกดูดกลืน (Absorbed) อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งกระบวนการดูดกลืนพลังงานดังกล่าวจะเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งโลกได้รับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ใน 3 ลักษณะด้วยกัน คือ

- รังสีทางตรง (Direct Radiation) เป็นรังสีที่ส่งผ่านเข้ามายังชั้นบรรยากาศโลกโดยตรง เป็นรังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยไม่เกิดการกระจายโดยชั้นของบรรยากาศ มีทิศทางแน่นอนที่เวลาใดเวลาหนึ่ง

- รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากแสงสะท้อนกับกลุ่มเมฆ อนุภาคน้ำฝุ่น ละออง และสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของลำแสงก่อนตกกระทบบนพื้นผิวรับแสง รังสีกระจายจะมาจากทุกทิศทางในท้องฟ้าซึ่งการกระจายมีค่าไม่สม่ำเสมอ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย เรียกว่า รังสีรวม (Global radiation)

- รังสีสะท้อน (Reflected Radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากแสงที่สะท้อนกับพื้นดินหรือพื้นผิวอาคาร โดยจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนของพื้นผิว และสีของวัสดุที่ตกกระทบนั้นๆ

2.1.2 การแบ่งรังสีดวงอาทิตย์ตามความยาวคลื่น

รังสีอาทิตย์ประกอบด้วยพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่างๆ โดยรังสีที่ส่งมายังพื้นโลกมักมีช่วงความยาวคลื่น 0.29-0.4 ไมโครเมตร สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ดังนี้

- รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) หรือรังสีเหนือม่วง มีความยาวคลื่นในช่วง 1,000 นาโนเมตร มีพลังงานในช่วง 3-124 eV เป็นสัดส่วน 9% ของพลังงานจากดวงอาทิตย์

- แสงที่มองเห็นได้ (Visual Light) หรือแสงขาว ประกอบด้วยแสงสีที่รวมกันที่สเปกตรัม (Spectrum) มีความยาวคลื่นในช่วง 400-700 นาโนเมตร ซึ่งมนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เป็นสัดส่วน 25% ของพลังงานจากดวงอาทิตย์

- รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (Near Infrared) หรือรังสีเหนือแดงช่วงคลื่นสั้น มีความยาวคลื่นในช่วง 700-1500 นาโนเมตร อยู่ในรูปของพลังงานความร้อน มีสัดส่วน 53% จากพลังงานดวงอาทิตย์ทั้งหมดซึ่งเป็นช่วงรังสีที่เป็นตัวการหลักที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในอาคาร (พงษ์พิชญ์ จงศุภางครรัตน์, 2554)

2.2 การทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ

จากหนังสือ Passive and Low Energy Cooling of Building โดย Givoni ได้กล่าวไว้ว่า อาคารสามารถทำความเย็นได้ด้วยวิธีการทางธรรมชาติโดยถ่ายเทความร้อนออกจากอาคารสู่หลายแหล่งรองรับด้วยกัน (Heat sink) เช่น อากาศ ชั้นบรรยากาศ น้ำ และ ดิน ซึ่งแหล่งรองรับที่แตกต่างกันเหล่านี้ก็อาศัยวิธีการในการทำความเย็นให้แก่อาคารที่แตกต่างกัน ส่งผลออกมาในระบบทางกายภาพที่แตกต่างกัน โดย Givoni ได้ทำการแบ่งวิธีการทำความเย็นด้วยวิธีทางธรรมชาติออกเป็น 5 วิธี ดังนี้

2.2.1 การทำความเย็นด้วยการระบายอากาศ (Ventilative Cooling)

เป็นวิธีการการทำความเย็นพื้นฐานสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งอุณหภูมิภายในอาคารจะมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกอาคาร โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านความเร็วลมที่พัดผ่านพื้นที่ภายในเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง ความเร็วลมภายในควรจะไม่ต่ำกว่า 1.5-2.0 เมตรต่อวินาที ระบบการทำความเย็นด้วยการระบายอากาศนี้เหมาะสมกับภูมิอากาศและฤดูที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดไม่ควรเกิน 28-32 องศาเซลเซียส

2.2.2 การทำความเย็นด้วยการระบายอากาศในตอนกลางคืน (Nocturnal Ventilative Cooling)

เป็นวิธีการทำความเย็นที่เหมาะสมสำหรับภูมิอากาศแบบร้อน ซึ่งอุณหภูมิในตอนกลางวันสูงกว่าอุณหภูมิที่อยู่ในสภาวะน่าสบายคือประมาณ 30-36 องศาเซลเซียส (โดยมีความเร็วลมต่ำกว่า 1.5 เมตรต่อวินาที) ส่วนอุณหภูมิในตอนกลางคืนต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

2.2.3 การทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี (Radiative Cooling)

เป็นระบบที่เหมาะสมกับอาคารชั้นเดียวหรือพื้นที่ชั้นบนของอาคารในเกือบทุกภูมิอากาศแต่ควรเป็นสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆน้อยหรือมีความโปร่งในช่วงกลางคืน ซึ่งเป็นประเด็นที่สำคัญและควรคำนึงถึงมากกว่าประเด็นด้านระดับความชื้นในอากาศ ระบบการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีในเวลากลางคืนอาจมีปัญหาด้านราคาค่าก่อสร้างที่สูงกว่าหรือระบบก่อสร้างที่ต้องรองรับฉนวนที่ต้องสามารถเลื่อนเปิดปิดได้

2.2.4 การทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling)

เป็นการใช้การระเหยของน้ำเพื่อดึงความร้อนภายในอาคารไปใช้ในการระเหย ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารเย็นขึ้น แบ่งเป็นระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยทางตรง (Direct Evaporative Cooling) และระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) โดยระบบทั้งสองมีความแตกต่างกันคือ ระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยทางตรงมีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแห้งแล้งเท่านั้น

2.2.5 การทำความเย็นโดยใช้คุณสมบัติการกักเก็บความร้อนของดิน (Earth coupling)

เป็นระบบที่มีความเหมาะสมเมื่ออุณหภูมิใต้ผิวดินในระดับ 2-3 เมตร ยังมีอุณหภูมิที่ต่ำพอที่จะสามารถเป็นแหล่งกักเก็บความร้อนได้ ทำให้ระบบการทำความเย็นชนิดนี้ไม่เหมาะสมสำหรับภูมิอากาศร้อน หรือกล่าวได้ว่าอุณหภูมิใต้ผิวดินสูงเกินกว่าที่จะมีความสามารถในการเป็นแหล่งกักเก็บความร้อน (Givoni, 1994)

2.3 กระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบต่างๆ (Heat Transfer)

การนำความร้อน (Heat conduction) เป็นปรากฏการณ์การถ่ายเทพลังงานความร้อนภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในรูปแบบของตัวกลางที่ไม่มีการเคลื่อนที่

การพาความร้อน (Convection) เป็นปรากฏการณ์ที่ตัวกลางได้รับความร้อน เมื่อตัวกลางมีการเคลื่อนที่จึงนำความร้อนไปด้วย ตัวกลางดังกล่าวเช่น น้ำ ไขมัน อากาศ

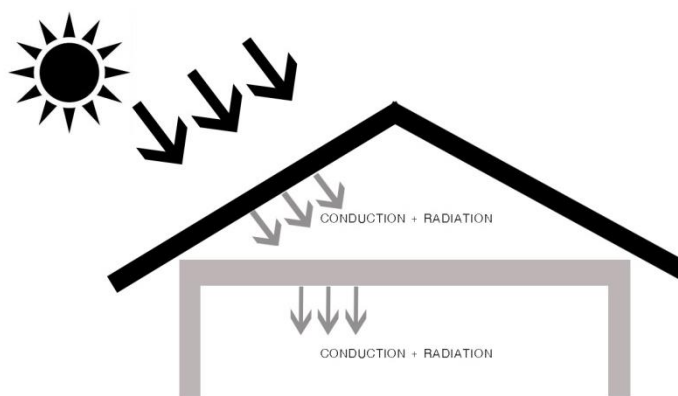
การแผ่รังสี (Radiation) เป็นปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนออกไปโดยมีต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน โดยวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 K ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำจะแผ่รังสีคลื่นยาว ส่วนวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่รังสีคลื่นสั้น ซึ่งความร้อนที่กำเนิดขึ้นจากดวงอาทิตย์ก็เป็นปรากฏการณ์การถ่ายโอนความร้อนด้วยการแผ่รังสีเช่นกัน (วิภู ฐาโปการ, 2550)

2.4 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคา

จากหนังสือ Passive and Low Energy Cooling of Building โดย Givoni ได้มีการแบ่งวัสดุผนังหลังคาออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ หลังคาประเภท Heavyweight solid เช่น หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก มีการดูดซับและสะสมความร้อนในปริมาณสูงและสามารถหน่วงความร้อนได้ในระยะเวลานาน และ หลังคาประเภท Lightweight เช่น แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ แผ่นโลหะ เป็นต้น โดยองค์ประกอบหลังคานับว่าเป็นพื้นผิวของโครงสร้างอาคารที่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มากที่สุดซึ่งส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายในอาคารได้โดยตรง

2.4.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในช่วงกลางวันผ่านทางหลังคา

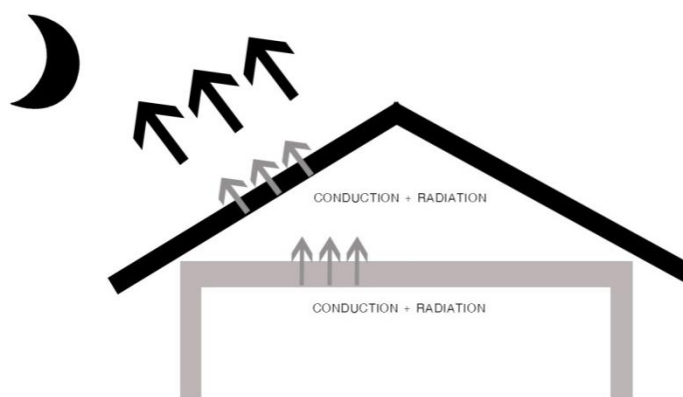
ในเวลากลางวันวัสดุผนังหลังคาจะเป็นบริเวณที่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มากที่สุดและเป็นระยะเวลาต่อเนื่องยาวนาน ส่งผลให้เป็นพื้นผิวหลังคาที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ พื้นผิวหลังคาที่มีอุณหภูมิสูงกว่านี้จะส่งถ่ายความร้อนสู่ช่องว่างใต้หลังคาที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและในทางเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิ ณ ช่องใต้หลังคาสูงกว่าอุณหภูมิในห้อง ก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นฝ้าเพดานสู่พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารในที่สุด เป็นเหตุให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้นตาม (วิกรม จำนงค์จิตต์ ,2545)



รูปที่ 2. 1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในช่วงกลางวันผ่านทางหลังคา
(ผู้เขียน)

2.4.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในช่วงกลางคืน

ในเวลากลางคืน วัสดุผนังหลังคาจะเกิดการส่งถ่ายความร้อนกลับคืนสู่ท้องฟ้า (Nocturnal Radiation) ส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวหลังคาเย็นลง เมื่ออุณหภูมิภายในช่องหลังคาสูงกว่าอุณหภูมิของวัสดุหลังคา ทำให้เกิดการส่งถ่ายความร้อนสู่พื้นผิวดังกล่าว เป็นผลให้อุณหภูมิภายในช่องหลังคาลดลงด้วย และเนื่องจากอากาศร้อนมีคุณสมบัติลอยตัวขึ้นสู่ที่สูง จึงเกิดเป็นผลสืบเนื่องทำให้อุณหภูมิภายในห้องลดลงเช่นกัน (วิกรม จำนงค์จิตต์ ,2545)



รูปที่ 2. 2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในช่วงกลางคืนผ่านทางหลังคา
(ผู้เขียน)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Island: UHI) หรือปรากฏการณ์ที่พื้นที่ภายในเมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณโดยรอบนั้น นับว่าเป็นปัญหาที่มีความสำคัญยิ่งในปัจจุบัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อเป็นวงกว้างทั้งในแง่ของการใช้พลังงานและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิภายในเมืองสูงขึ้น ส่งผลให้มีการใช้พลังงานในการทำความเย็นมากขึ้น โดยจากผลการวิจัยของ Agrawal (1989) พบว่าอัตราส่วนในการใช้พลังงานสำหรับการทำความร้อนและความเย็นสำหรับอาคารอยู่ที่ประมาณ 6.7% ของพลังงานที่ถูกใช้ในโลกร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการใช้ในเครื่องปรับอากาศเพื่อทำความเย็นเป็นส่วนใหญ่ การใช้การทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพจะสามารถช่วยประหยัดการใช้พลังงานดังกล่าวได้ถึง 2.35% ของการใช้พลังงานในโลกร (Agrawal P. 1989) นอกจากนี้แล้วการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างมากนี้ยังส่งผลถึงการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) ในชั้นบรรยากาศของโลกอีกด้วย (Hassid S. 2000) (Santamouris M. 2001) (Santamouris M. 2007) จากผลการวิจัยของ Akbari H. ได้ระบุว่าปรากฏการณ์เกาะเมืองร้อนนั้นมีสาเหตุสำคัญเนื่องมาจากพื้นผิวที่มีค่าการดูดซับความร้อนของวัสดุ (Heat absorption) ในพื้นที่เมืองเป็นบริเวณมาก เช่น บริเวณทางเท้าและหลังคาของอาคาร อีกทั้งการขาดพื้นที่สีเขียวในเมืองก็เป็นอีกสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนดังกล่าว (Akbari H. 2003)

จากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าว ทำให้มีแนวความคิดในการใช้ระบบการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Cooling) เพื่อใช้ทำความเย็นให้อาคารโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ในปี 2001 Govini ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นด้วยวิธีการแผ่รังสีในตอนกลางคืน โดยทดลองมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในระดับต่างๆ และทำงานร่วมกับอุปกรณ์ฝ้า

เพดานแบบพลิกหมุน (Givoni B. 2002) การทดลองจัดทำขึ้นตั้งแต่ฤดูร้อนปี 2001 ที่มหาวิทยาลัย California, Los Angeles ทำการทดลองด้วยกล่องทดลองขนาด $1 \times 1 \times 0.95$ m ผนังและพื้นมีความเป็นฉนวน ทำจาก Polyurethane panels หนา 8 mm มีการติดตั้ง Thermal mass ซึ่งใช้วัสดุเป็นบล็อกคอนกรีตขนาด $89 \times 57 \times 190$ mm น้ำหนัก 0.09 kg ทำการเก็บข้อมูลด้วยเครื่อง Temperatures โดยชุดแรกติดตั้งที่ความสูง 660 mm และ 300 mm จากระดับพื้นภายใน และชุดที่สองใช้วัดอุณหภูมิของ Metal Roof , บล็อกคอนกรีต และบริเวณห้องใต้หลังคา การทดลองทั้งหมดทำภายใต้เงื่อนไขที่ไม่มีการถ่ายเทอากาศและไม่มีหน้าต่าง เป็นการจำลองการปิดหน้าต่างในตอนกลางวันเพื่อหลีกเลี่ยงการได้รับพลังงานความร้อนจากภายนอก (Heat Gain) จากนั้นคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value ,Watt/m².K) ของกล่องทดลอง 5 กล่อง แต่ละกล่องมีการให้ระดับความเป็นฉนวนที่แตกต่างกันซึ่งแตกต่างกันออกไปในแต่ละทิศ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาสูตรทางคณิตศาสตร์ในการประเมินศักยภาพของระบบต่อไป

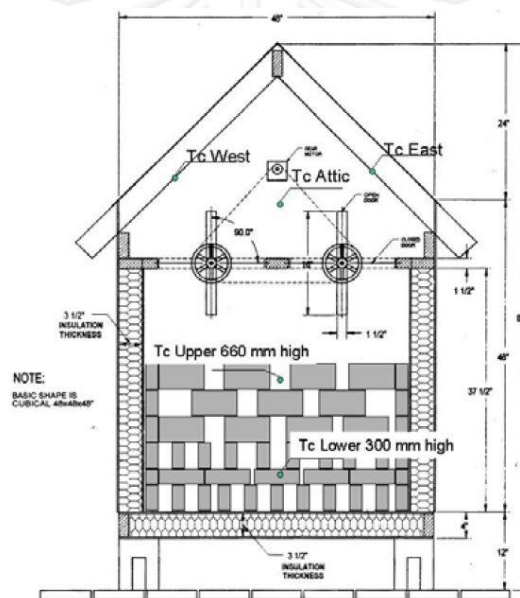


Figure 1: Section of the Cell with Mass.

Description of Series

รูปที่ 2. 3 รูปตัดกล่องทดลอง

(La Roche, P. และ Givoni, B., 2002)

ปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับ (Overall heat lost/heat gain coefficient) ขึ้นอยู่กับอัตราความเป็นฉนวนของอาคาร รวมทั้งช่องเปิดและรอยรั่วต่างๆ แต่เนื่องจากทุกกล่องทดลองถูกกำหนดให้ไม่มีช่องเปิดรวมทั้งรอยรั่วต่างๆของแต่ละกล่องมีปริมาณเท่ากัน ดังนั้นแล้วการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกล่องทดลองจึงขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (ภายใต้เงื่อนไขกล่องทดลองเป็นระบบปิด) ในการทดลองกำหนดตัวแปรต้นเป็นกล่องทดลองที่มีความเป็นฉนวนของผนังแตกต่างกัน 5 แบบ ดังนี้

- กล่องที่ 1 ผนังกล่องทดลองมีความเป็นฉนวนทั้ง 4 ด้าน
- กล่องที่ 2 ผนังกล่องทดลองมีความเป็นฉนวน 3 ด้าน ยกเว้นด้านทิศตะวันออก
- กล่องที่ 3 ผนังกล่องทดลองมีความเป็นฉนวน 2 ด้าน ยกเว้นด้านทิศตะวันออกและทิศเหนือ
- กล่องที่ 4 ผนังกล่องทดลองมีความเป็นฉนวน 1 ด้าน ยกเว้นด้านทิศตะวันออก ทิศเหนือและทิศใต้
- กล่องที่ 5 ผนังกล่องทดลองไม่มีความเป็นฉนวนเลย

ตารางที่ 2. 1 รายละเอียดความเป็นฉนวนของผนังกล่องทดลอง (La Roche, P. และ Givoni, B., 2002)

Table 1. Ua of the different series

Series Number	Date	U value of Walls (W/m ² K)	Conductive Heat Loss Coefficient Ua (W/ K)
1	Oct 13- Nov 1, 2000	0.225	2.4
2	June 7-28, 2001	0.565	4.3
3	Dec 5 2001– Jan 10 2002	0.780	5.6
4	Nov 14- Dec 5, 2001	0.996	6.8
5	July 28 – Sept 7, 2001	1.21	8.1

ตารางที่ 2. 2 รายละเอียดผลการอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง (La Roche, P. และ Givoni, B., 2002)

Table 2. Maximum and average temperatures in the series

	Series 1	Series 2	Series 3	Series 4	Series 5
Avg. Max Lower	14.1	22.3	13.4	14.1	24.1
Avg. Max Upper	15.5	23.28	14.1	15.15	25.21
Avg. Max Outside	20.4	29.1	19.4	20.4	28.7
Avg. Lower	12.28	19.73	12.00	12.28	20.25
Avg. Upper	12.54	20.24	12.02	12.54	20.79
Avg. Outside	14.8	21.41	13.93	14.8	21.24

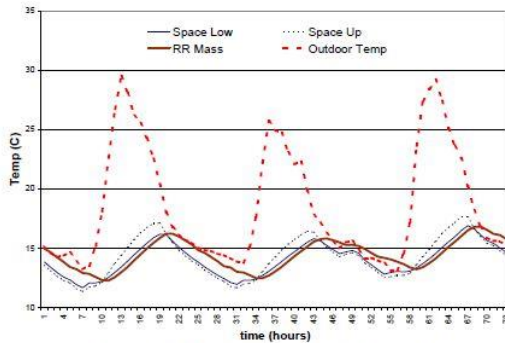


Figure 2: Three-day section of series 1.

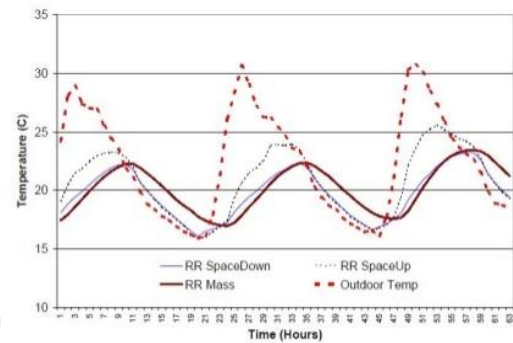


Figure 3: Three-day section of series 2.

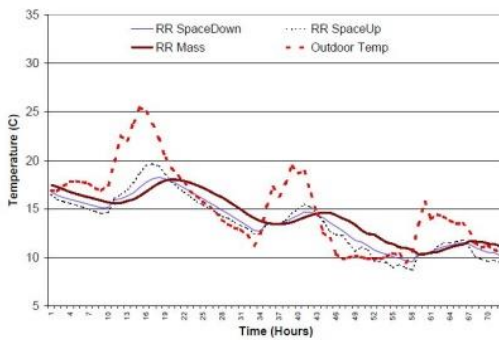


Figure 4: Three-day section of series 3

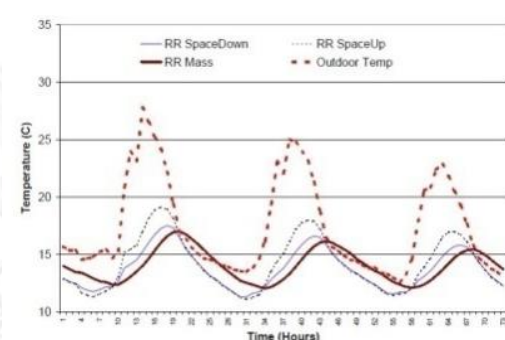


Figure 5: Three day section of series 4

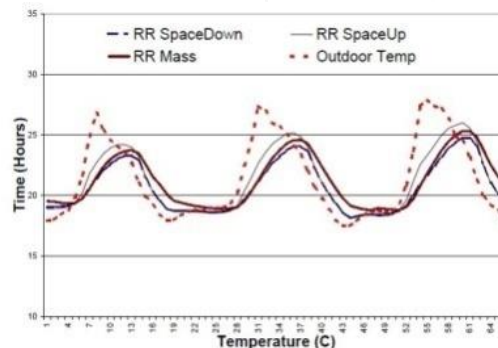


Figure 6: Three day section of series 5

แผนภูมิที่ 2. 1 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในกล่องทดลองภายในเวลา 3 วัน

(La Roche, P. และ Givoni, B., 2002)

ผลการเก็บข้อมูลจากตารางที่ 2.2 แสดงถึงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองแต่ละกล่องเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก รวมทั้งอุณหภูมิ ณ ความสูงที่ต่างกันในแต่ละกล่องทดลอง ทำให้สามารถทราบได้ถึงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของกล่องทดลองแต่ละกล่องที่มีปริมาณความเป็นฉนวนแตกต่างกันซึ่งทำงานร่วมกับการติดตั้งฝ้าเพดานแบบพลิกหมุนได้ ในส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดลองได้นำค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในกล่องทดลองและอุณหภูมิอากาศภายนอก มาหาความสัมพันธ์แบบสหสัมพันธ์โดยกำหนดให้ 100% คือค่าที่ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันความร้อน แต่ทั้งนี้การเก็บข้อมูลของแต่ละกล่องทดลองนั้นทำในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

ของเมือง Los angeles (34 north latitude) ซึ่งมีปริมาณความยาวช่วงเวลากลางวันและกลางคืนแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการเพิ่มเติมค่า Day to night ratio เข้าไปในสูตรด้วย ซึ่งทำให้ผลของอุณหภูมิในแต่ละกล่องทดลองมีการเรียงตัวกันที่ดีขึ้น ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2.2

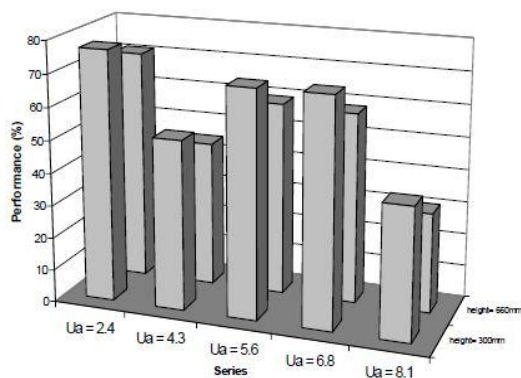


Figure 8: Performance of the different series without adjustments.

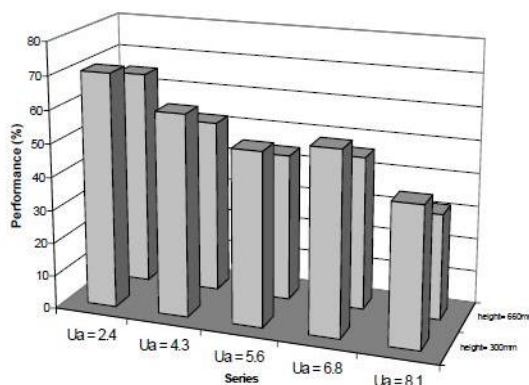


Figure 9: Performance of the different series after adjustment for day to night ratio.

แผนภูมิที่ 2.2 แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของกล่องทดลองแต่ละชุด ก่อนและหลังการเพิ่มเติมตัวแปร day to night ratio ในสูตรการคำนวณ

(La Roche, P. และ Givoni, B., 2002)

ในภาพรวมสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ความเป็นฉนวนที่ต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของกล่องทดลองที่แตกต่างกัน (กำหนดภายใต้เงื่อนไขที่เป็นระบบปิด)
2. อัตราความผันผวนของอุณหภูมิภายในกับปริมาณความเป็นฉนวนของผนัง คือถ้าผนังมีความเป็นฉนวนน้อย อุณหภูมิภายในจะมีความแตกต่างกันมาก

3. ปริมาณความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ ณ ความสูงที่ต่างกันมีผลมาจากปริมาณความเป็นฉนวนของผนัง โดยกล่องทดลองที่ผนังมีความเป็นฉนวนมากกว่าจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำกว่า
4. ระบบจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการทดลองมีช่วงกลางคืนที่นานขึ้น

สืบเนื่องจากการทดลองข้างต้น ในงานวิจัย Modeling Radiant Cooling System for Developing Countries ของ Givoni (Givoni B. 2002) ได้ทำการพัฒนาสูตรทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อการทำนายอุณหภูมิสูงสุดภายในกล่องทดลองที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอก ด้วยการนำอุณหภูมิที่บันทึกได้จากกล่องทดลองในแต่ละชุดมาจัดทำเป็นกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์และพัฒนาขึ้นเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแต่ละสูตรถูกพัฒนาขึ้นให้สอดคล้องกับกล่องทดลองแต่ละกล่องที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ Givoni ยังได้ทำการวิจัยเรื่อง Modeling a Radiant Cooling Test Cell with Different Ua Values (Givoni B. 2002) โดยได้เพิ่มเติมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระจายตัวของมวลภายในกล่องทดลองขึ้นจากการทดลองแรก ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบด้วยวิธีการแผ่รังสีในช่วงเวลากลางคืน จุดประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรในการทำนายอุณหภูมิภายในระบบ ในการทดลองได้ใช้คอนกรีตบล็อกขนาด 57x89x190 mm แทนมวลภายในกล่องทดลอง แบ่งการกระจายตัวของคอนกรีตบล็อกเป็น 3 แบบคือ วางเรียงตัวบนพื้น ,วางเรียงตัวตามแนวผนังสูง 61 cm และวางเรียงตัวตามแนวผนังสูง 70 cm

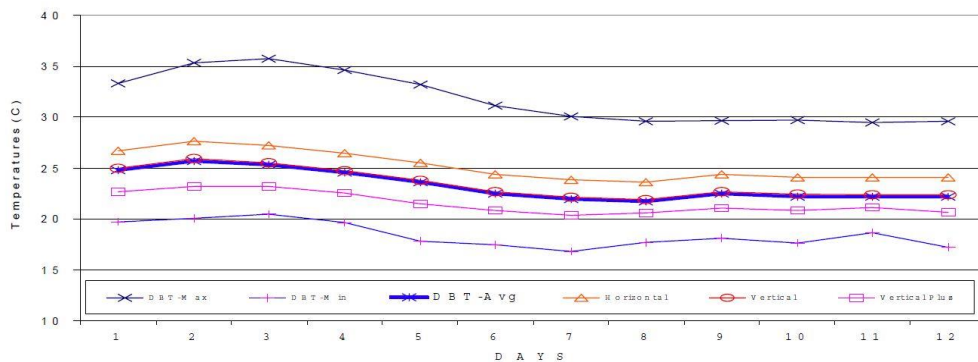


Figure 10: Comparison of the performance of the radiant cooling system under the different configurations.

แผนภูมิที่ 2. 3 อุณหภูมิที่วัดได้ในกล่องทดลองที่มีการเรียงตัวของมวลที่ต่างกัน

(La Roche, P. และ Givoni, B., 2002)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีความร้อนที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือคุณสมบัติของหลังคาที่ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนรังสี โดยในการทดลองของ Khedari, Waewsak, Thepa และ Hirunlabh ได้ทำการทดสอบความเป็นไปได้ของการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีความร้อนในเวลากลางคืนในประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่อยู่ในเขตอุณหภูมิร้อนและชื้น (Khedari J. 1999) ทำการทดสอบชุดหลังคา 4 ชนิด ประกอบด้วย

- White painted metal sheet
- White painted CPAC Monier tiled
- Dark-red CPAC Monier tiles
- White painted corrugated metal sheet Gypsum board

ตารางที่ 2. 3 รายละเอียดของวัสดุหลังคาแต่ละชุด

Table 1
Thermal properties of materials [12]

Materials	Dimension (cm)	Thermal conductivity (measured) ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Thermal emissivity (measured)
White painted metal sheet	—	—	0.900
White painted CPAC Monier tiles	0.8	0.6900	0.940
Dark-red CPAC Monier tiles	0.8	0.6900	0.930
White painted corrugated metal sheet	—	—	0.890
Gypsum board	1.3	0.0873	0.903

ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วย Temperatures จำนวน 24 จุดและข้อมูลอุณหภูมิอากาศอีก 1 จุด เก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาทีตั้งแต่เวลา 18.00-6.00 โดยเก็บข้อมูลภายใต้สภาพท้องฟ้า 3 แบบคือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆมากและสภาพท้องฟ้าในวันฝนตก รวมทั้งมีการเก็บข้อมูลความเร็วลมทุกๆ 30 นาทีด้วย ในผลการทดลองได้สรุปว่าหลังคาแบบ A (White painted metal sheet) และ D (White painted corrugated metal sheet Gypsum board) เป็นตัวแผ่รังสีในเวลากลางวันที่ดีกว่าหลังคาแบบ B และ C โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการแผ่รังสีในเวลากลางวันนั้นมีทั้งปัจจัยเรื่อง การดูดกลืนและคายความร้อนของวัสดุ , ความจุความร้อนของวัสดุ, ปัจจัยด้านการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำบนพื้นผิวหลังคา และ ปัจจัยด้านสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆและฝน โดยพบว่าในสภาพท้องฟ้าโปร่ง และสภาพท้องฟ้ามีเมฆมากจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิของหลังคา กับอุณหภูมิอากาศประมาณ 1-6 องศาเซลเซียส แต่ในสภาพท้องฟ้าวันฝนตกความแตกต่างของอุณหภูมิหลังคา กับอุณหภูมิอากาศจะไม่มี ความแตกต่างกัน

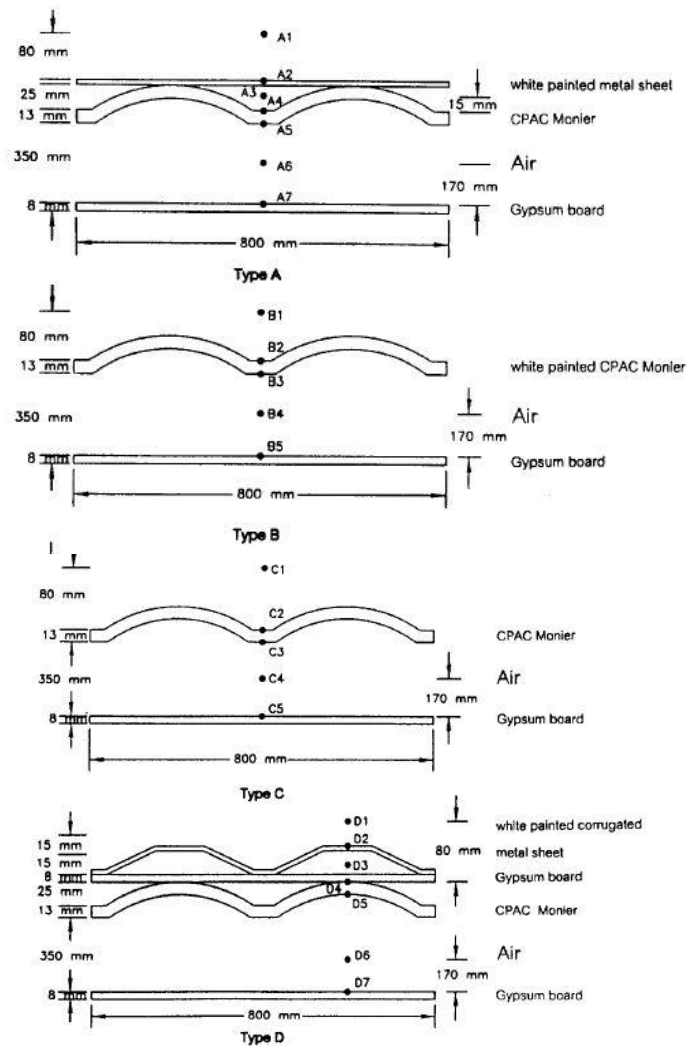


Fig. 1. The four configurations of roof radiators and the position of thermocouples.

รูปที่ 2. 4 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์เก็บอุณหภูมิ

(La Roche, P. และ Givoni, B., 2002)

ประเด็นความสำคัญเรื่องสีและพื้นผิวของหลังคาที่มีผลต่อกระบวนการแผ่รังสีในตอนกลางคืนยังมีกล่าวถึงในงานวิจัยอีกหลายฉบับ ยกตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยเรื่อง Radiative cooling efficiency of white pigment paints ของ Orel (Orel B. 1993) ได้กล่าวว่าอุณหภูมิของหลังคาที่เป็นตัวแผ่รังสีนั้นต้องไม่มีอุณหภูมิสูงเกินไป มิเช่นนั้นกระบวนการแผ่รังสีในตอนกลางคืนจะไม่สามารถช่วยลดความร้อนที่สะสมอยู่ภายในได้ ดังนั้นการใช้หลังคาสีอ่อนนั้นไม่เพียงแต่สามารถช่วยลดปริมาณการดูดกลืนความร้อนได้ แต่ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนอีกด้วย งานวิจัยเกี่ยวกับสีของหลังคาที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนยังมีกล่าวถึงในงานวิจัยอีกหลายฉบับ (Suehrcke H. 2008) (Amer E. 2006)

ข้อดีของการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติด้วยกระบวนการแผ่รังสีในตอนกลางคืน โดยมีการใช้อุปกรณ์แผ่นฉนวนพลิก (Operable hinged insulation plate) ซึ่งติดตั้งแทนฝ้าบริเวณพื้นที่ภายในนั้นมีหลายประการด้วยกัน ทั้งในเรื่องราคาค่าก่อสร้างที่ต่ำและการดูแลรักษาที่น้อย เนื่องจากถูกติดตั้งอยู่ภายใน ไม่สัมผัสทั้งแดด ลมและฝน นอกจากนี้ยังสามารถก่อสร้างและติดตั้งได้ง่ายเนื่องจากมีน้ำหนักเบา และในการใช้งานในบ้านจริงสามารถควบคุมการเปิดปิดได้ด้วยระบบมือ เช่น การใช้เชือกได้อีกด้วย ซึ่งด้วยข้อดีที่ได้กล่าวไปทำให้การทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีในตอนกลางคืน ร่วมกับการติดตั้งอุปกรณ์ฝ้าเพดานแบบพลิกหมุนนั้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในบ้านที่มีราคาค่าก่อสร้างต่ำได้ ซึ่งประเด็นปัญหาเรื่องที่อยู่อาศัยสำหรับผู้มีรายได้น้อยที่ยังไม่ได้มาตรฐานในเรื่องอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การอยู่อาศัยนั้น ยังเป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญในหลายประเทศรวมทั้งในประเทศไทย ดังในการวิจัยของ พรรณินทร์ สุขเกษม ซึ่งได้ทำการสำรวจและเสนอแนวทางการปรับปรุงบ้านพักในชุมชนแออัด (พรรณินทร์ สุขเกษม. 2555) รวมทั้งในบทความในหนังสือ Passive cooling of buildings by natural energies ของ Givoni เองก็ได้กล่าววาระบบนี้มีความเหมาะสมแก่บ้านพักสำหรับผู้มีรายได้น้อยเช่นกัน

เนื่องจากงานวิจัยเกี่ยวกับการทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีในตอนกลางคืนร่วมกับการติดตั้งฝ้าเพดานแบบพลิกหมุนนั้นเป็นวิธีการทำความเย็นแก่อาคารที่ยังมีการศึกษาไม่มากนัก อีกทั้งยังไม่เป็นที่รู้จักดี จึงมีความเหมาะสมแก่การนำมาวิจัยและศึกษาต่อเพื่อนำไปสู่การพัฒนาในการนำไปใช้จริงต่อไป

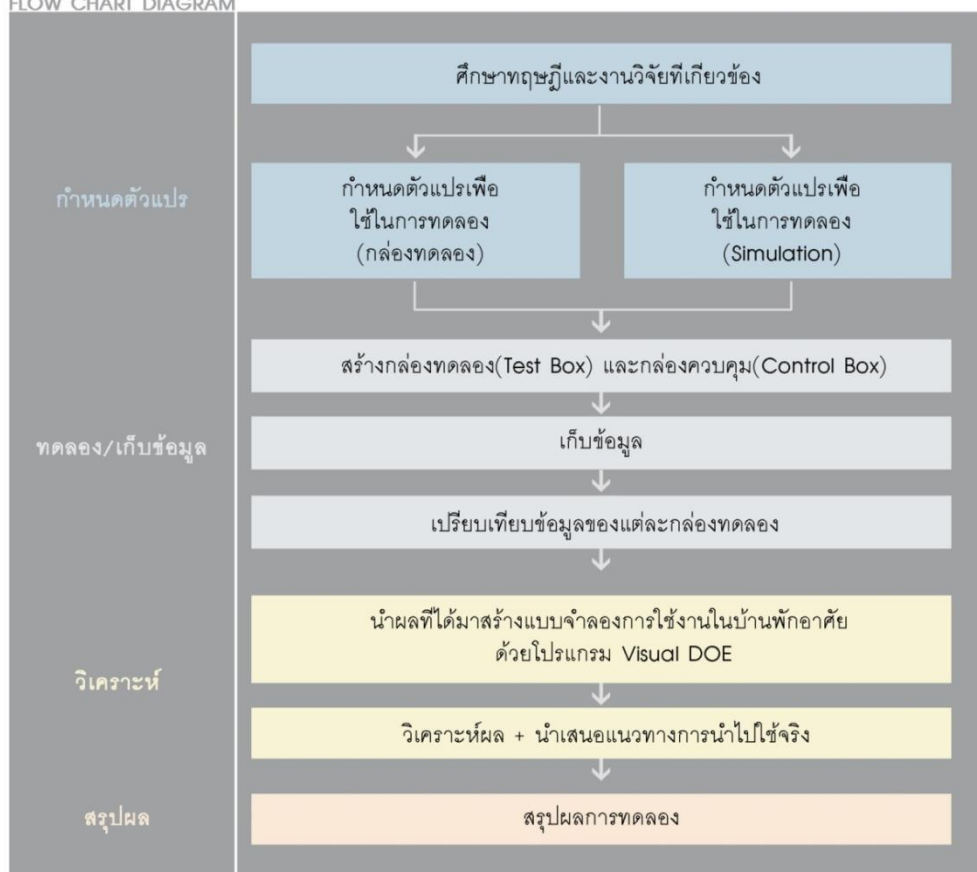
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีในเวลากลางคืน ร่วมกับการติดตั้งอุปกรณ์ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ในประเทศไทยเปรียบเทียบกับกรณีการมีติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัว และไม่มีการติดตั้งฝ้าภายใน ร่วมกับการใช้วัสดุหลังคากระเบื้อง และวัสดุหลังคาโลหะ ซึ่งการทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 เป็นการทดลองและเก็บข้อมูลด้วยกล่องทดลอง และช่วงที่ 2 เป็นการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

3.1 ระเบียบวิธีการศึกษา

FLOW CHART DIAGRAM



3.2 เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 การทดลองช่วงที่ 1 - การทดลองด้วยกล่องทดลอง

- หลังคากระเบื้องดินเผา ปลายตรง สีแดงธรรมชาติ ขนาด 18.4 x 39.2 x 1.4 cm

- หลังคาเหล็กเคลือบโลหะผสม ZINCALUME สีวิสกี้ (สีบรอนซ์เงิน) หนา 0.35 mm
- โฟม Polystyrene หนา 5 เซนติเมตร
- โครงเหล็กฉากรู และอุปกรณ์ยึด
- กาวสำหรับเชื่อมโฟม และ Silicone sealant
- พัดลมคอมพิวเตอร์ขนาด 12x12 เซนติเมตร (CFM=4.1 ft³/min) พร้อมอุปกรณ์แปลงไฟ
- หลอดไส้ 60 Watt พร้อมอุปกรณ์ติดตั้ง
- สายไฟ
- อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล 12 Channel Temperature Data Logger รุ่น HH-4208SD และ Solar Power Meter
- อุปกรณ์ตั้งเวลา TOSHINO 24-hour Timer รุ่น TS-MT3

3.2.2 การทดลองช่วงที่ 2 - การจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

- โปรแกรม Visual DOE 4.1
- คอมพิวเตอร์

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 เป็นการทดลองและเก็บข้อมูลด้วยกล่องทดลอง และ ช่วงที่ 2 เป็นการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 - การทดลองด้วยกล่องทดลอง

- 3.3.1.1 ชั้นที่ 1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.3.1.2 ชั้นที่ 2 การกำหนดตัวแปร

ตัวแปรต้น

- ลักษณะของฝ้าภายใน ประกอบด้วย ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ (Operable Ceiling) ฝ้าเพดานแบบติดตาย (Fixed Ceiling) และ ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน (No Ceiling)
- ชนิดของหลังคา ประกอบด้วย หลังคากระเบื้อง(Clay tile) และหลังคาโลหะ (Metal Sheet)

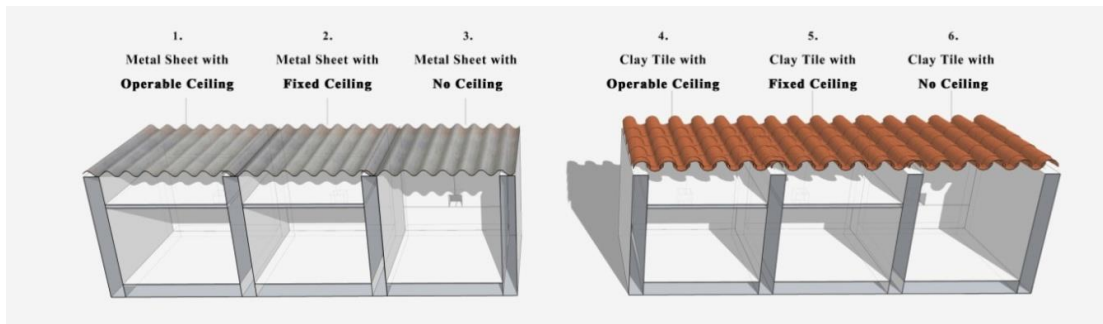
ตัวแปรตาม

- อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆภายในกล่องทดลอง

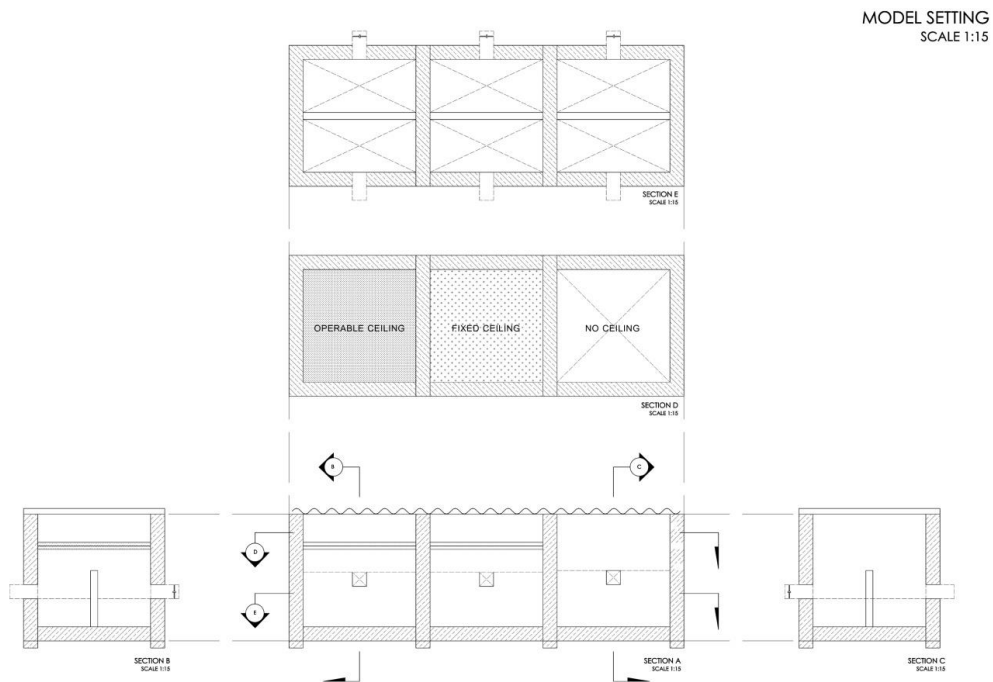
ตัวแปรควบคุม

- สถานที่ทดลอง , ขนาดและวัสดุของกล่องทดลอง , ระยะเวลาในการทดลอง , ช่วงเวลาที่ทำการทดลอง , ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลในกล่องทดลอง

3.3.1.3 ชั้นที่ 3 ออกแบบกล่องทดลองและสร้างกล่องทดลอง ด้วยโฟม Polystyrene หนา 2 นิ้วโดยมีระยะภายในขนาด 0.80x0.80x0.80 เมตร ต่อกล่องทดลอง 1 กล่อง มีทั้งหมด 6 กล่องซึ่งแบ่งตามการวัสดุหลังคาเป็นหลังคาเหล็กจำนวน 3 กล่อง และหลังคากระเบื้องดินเผา 3 กล่อง ในแต่ละกลุ่มดังกล่าวแบ่งการติดตั้งฝ้าที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ประกอบด้วยฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ ฝ้าเพดานแบบติดตายและไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน



รูปที่ 3. 1 การจำลองภาพตัดของกล่องทดลอง
(ผู้เขียน)



รูปที่ 3. 2 รายละเอียดต่างๆของกล่องทดลอง



รูปที่ 3. 3 ขั้นตอนระหว่างการสร้างกล่องทดลองจริง

(ก)

(ข)

(ค)

(ก) ภาพการติดตั้งผนังโฟมของกล่องทดลอง ;

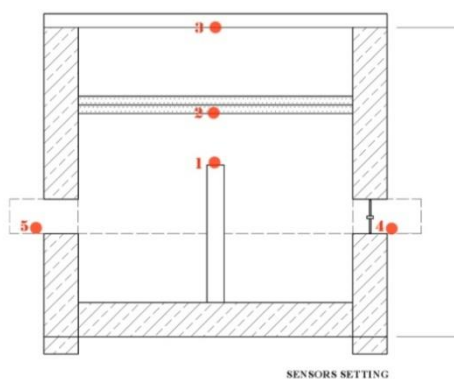
(ข) ภาพการติดตั้งหลังคาเหล็ก ;

(ค) ภาพการติดตั้งหลังคากระเบื้องดินเผา

(ผู้เขียน)

3.3.1.4 ขั้นที่ 4 ติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง โดยใช้เครื่องมือ 12 Channel Temperature Data Logger รุ่น HH-4208SD และอุปกรณ์วัดปริมาณความส่องสว่าง โดยใช้เครื่องมือ Solar Power Meter ทำการเก็บข้อมูล 5 ตำแหน่งต่อหนึ่งกล่องทดลอง ซึ่งประกอบด้วย

1. บริเวณกลางกล่องทดลอง
2. บริเวณพื้นผิวใต้ฝ้า
3. บริเวณพื้นผิวใต้หลังคา
4. บริเวณลมออก (Tout)
5. บริเวณลมเข้า (Tin, Tamb)



รูปที่ 3. 4 ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือเพื่อเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิ

3.3.1.5 ชั้นที่ 5 ทดลองและเก็บข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 10 มกราคม 2557 เวลา 08.00 น. ถึง วันที่ 12 มกราคม 2557 เวลา 14.00 น. เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที โดยระหว่างทำการทดลองมีการปรับผ้าภายในกล่องทดลองที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นกล่องทดลองที่ติดตั้งผ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ โดยมีรายละเอียดในการปรับผ้าภายใน ดังนี้

-08.00 น. ปิดผ้า เพื่อทำหน้าที่เป็นฉนวนกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์

-18.00 น. เปิดผ้า เพื่อให้ความร้อนจากพื้นที่ภายในสามารถส่งผ่านไปสู่หลังคาซึ่งทำหน้าที่เป็นพื้นผิวแผ่รังสีได้ในตอนกลางคืน

นอกจากนี้ในระหว่างทำการทดลองยังมีการติดตั้งหลอดไส้เพื่อจำลองสภาพการใช้งานในอาคารประเภทที่พักอาศัยเพื่อให้สอดคล้องตามการใช้งานจริง เนื่องจากในบ้านพักอาศัยทั่วไปนั้นจะมีการเปิดไฟในช่วงเย็นถึงกลางคืน ดังนั้นแล้วในการทดลองจึงทำการตั้งเวลาด้วยอุปกรณ์ TOSHINO 24-hour Timer รุ่น TS-MT3 เพื่อควบคุมการเปิดไฟ ณ เวลา 18.00 และปิดไฟ ณ เวลา 24.00 น.



รูปที่ 3. 5 ขั้นตอนระหว่างการเก็บข้อมูล

(ก) (ข) (ค)

(ก) ภาพแสดงกล่องทดลองเมื่อปิดไฟ ;

(ข) ภาพแสดงกล่องทดลองเมื่อเปิดไฟ ;

(ค) ภาพแสดงอุปกรณ์ Temperature ที่ใช้เก็บข้อมูล

(ผู้เขียน)

3.3.1.6 ชั้นที่ 6 ทำการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน ($\text{Btu/hr.Ft}^2.\text{F}^\circ$) โดยการนำข้อมูลด้านอุณหภูมิที่บันทึกได้จากกล่องทดลองมาแทนค่าในสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

ช่วงที่ไม่มีเปิดหลอดไฟ (00.00-18.00)

$$Q = 1.08 \times \text{CFM} \times \Delta T_1 \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณความร้อนที่ถูกระบายโดยอากาศ (Btu/h)

CFM = ปริมาณการไหลของอากาศที่เกิดจากพัดลม (ft³/minute)

ΔT_1 = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศไหลเข้าและออกจากกล่องทดลอง (F^o)

$$Q = (U \times A \times \Delta T_2) \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Btu/hr.Ft².F^o)

A = พื้นที่ของส่วนที่ถ่ายเทความร้อน (Ft²)

ΔT_2 = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก (F^o)

เมื่อสมการ (1) = (2) จะได้

$$U = (1.08 \times \text{CFM} \times \Delta T_1) / (A \times \Delta T_2) \dots\dots\dots (3)$$

ช่วงที่มีการเปิดหลอดไฟ (18.00-00.00)

$$Q = 1.08 \times \text{CFM} \times \Delta T_1 \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณความร้อนที่ถูกระบายโดยอากาศ (Btu/h)

CFM = ปริมาณการไหลของอากาศที่เกิดจากพัดลม (ft³/minute)

ΔT_1 = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศไหลเข้าและออกจากกล่องทดลอง (F^o)

$$Q = (U \times A \times \Delta T_2) + Q_{\text{หลอดไฟ}} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Btu/hr.Ft².F^o)

A = พื้นที่ของส่วนที่ถ่ายเทความร้อน (Ft²)

ΔT_2 = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก (F^o)

Q_{หลอดไฟ} = พลังงานจากหลอดไส้ 60 Watt

$$P_{(\text{BTU/hr})} = 3.412 \times P_{(\text{W})}$$

$$P_{(\text{BTU/hr})} = 3.412 \times 60$$

$$P_{(\text{BTU/hr})} = 204.73 \text{ Btu/h}$$

เมื่อ

(1) = (2) จะได้

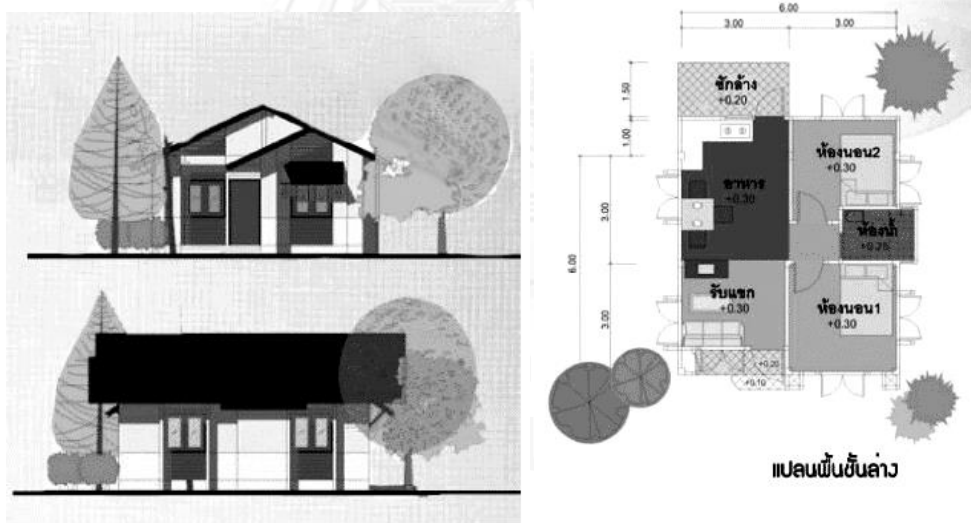
$$U = [(1.08 \times \text{CFM} \times \Delta T_1) - 204.73] / (A \times \Delta T_2) \dots\dots\dots (3)$$

3.3.1.7 ชั้นที่ 7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองช่วงที่ 1 (การทดลองด้วยกล่องทดลอง)

3.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 - การจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

3.3.2.1 ชั้นที่ 1 กำหนดอาคารบ้านตัวอย่างเป็นบ้านพักอาศัย 1 ชั้น เหตุผลเนื่องจากอาคารบ้านพักอาศัยมีการใช้งานในตอนกลางวัน จึงเป็นอาคารที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาเป็นอาคารตัวอย่างในการจำลองทดสอบประสิทธิภาพของระบบหลังคาแบบสามารถปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งอาศัยกระบวนการแผ่รังสีในตอนกลางวันเป็นประเด็นสำคัญ อาคารตัวอย่างที่ได้ทำการเลือกมานั้นได้วิเคราะห์จากความเหมาะสมด้านพื้นที่ใช้สอยที่ไม่ใหญ่หรือเล็กจนเกินไป โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

- แบบบ้าน แวมยุรา 11 (แบบบ้านมาตรฐานของโครงการบ้านยิม ของสำนักงานพัฒนาที่อยู่อาศัย (สอพ.) วัตถุประสงค์เพื่อช่วยเหลือประชาชนภายในกรุงเทพมหานครให้มีที่อยู่อาศัยเป็นของตนเอง)
- สูง 1 ชั้น
- พื้นที่ใช้สอย 52 ตารางเมตร
- ขนาด 2 ห้องนอน 1 ห้องน้ำ



รูปที่ 3. 6 แบบบ้าน แวมยุรา 11

(แบบบ้านมาตรฐานของโครงการบ้านยิมของสำนักงานพัฒนาที่อยู่อาศัย: สอพ.)

3.3.2.2 ชั้นที่ 2 การกำหนดตัวแปร

ตัวแปรต้น

- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาที่ติดตั้งฝ้าแต่ละชนิด

ตัวแปรตาม

- การใช้พลังงานรวมของอาคาร (Electric End Use, kWh)
- การใช้พลังงานในส่วนระบบทำความเย็น (Cooling Energy , kWh)
- อุณหภูมิ (Temperature)

ตัวแปรควบคุม

- การตั้งค่ารายละเอียดองค์ประกอบต่างๆของอาคารจำลอง
- การตั้งค่ารายละเอียดการใช้งานต่างๆของอาคารจำลอง

3.3.2.3 ขั้นที่ 3 กำหนดกรณีของอาคารที่ต้องการศึกษา แบ่งเป็น 6 กรณี ที่สุด กรณีของอาคารที่ต้องการศึกษาทั้ง 6 กรณีมีรายละเอียดดังนี้

กรณี	รายละเอียด	ชื่อย่อ
case1	ติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคาเหล็ก	OP+Metal
case2	ติดตั้งฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคาเหล็ก	FIX+Metal
case3	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคาเหล็ก	NO+Metal
case4	ติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคากระเบื้องดินเผา	OP+Clay
case5	ติดตั้งฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคากระเบื้องดินเผา	FIX+Clay
case6	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคากระเบื้องดินเผา	NO+Clay

3.3.2.4 ขั้นที่ 4 กำหนดรายละเอียดอาคารสำหรับการตั้งค่าในโปรแกรม Visual DOE 4.1

- พื้น Simulated Slab (ตั้งค่าเบื้องต้น)
- ระดับพื้นถึงหลังอะเส 2.7 เมตร
- กำหนดพื้นที่ปรับอากาศทั้งอาคาร แต่มีการกำหนดช่วงเวลาการใช้งานระหว่างห้องนั่งเล่นและห้องนอนที่แตกต่างกัน
- ผนังก่ออิฐมวลเบา ฉาบปูน 2 ด้าน
- พื้นที่หน้าต่างเฉลี่ยเท่ากันทุกด้าน โดยมีกำหนดอัตราส่วนหน้าต่างต่อผนัง (Window to Wall Ratio, WWR) 30%
- หน้าต่างกระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร

3.3.2.5 ขั้นที่ 5 กำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้งานอาคารสำหรับการตั้งค่าในโปรแกรม Visual DOE 4.1 โดยตั้งค่าอ้างอิงตามเอกสารรายงานการวิจัยดังนี้

- ผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย (คำรน สุทธิ. 2554)
- การพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร (دنุสรณ์ บัวขจร. 2554)
- การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว (ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตร. 2550)

3.3.2.6 ขั้นที่ 6 กำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุหลังคา โดยการแทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) โดยใช้ผลลัพธ์การคำนวณที่ได้จากหัวข้อที่ 3.3.1.6 ทำการจำลองอาคารกรณีต่างๆโดยแบ่งการจำลองเป็น 2 ครั้งคือการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของในช่วงกลางวัน 1 ครั้ง และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของช่วงกลางคืน 1 ครั้ง จากนั้นนำผลการจำลองปริมาณการใช้พลังงานที่ได้มาประกอบกันระหว่างช่วงกลางวันและช่วงกลางคืนเพื่อแสดงผลลัพธ์ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่เกิดขึ้นในแต่ละวันในรอบปี

3.3.2.7 ขั้นที่ 7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองช่วงที่ 2 (การจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE4.1)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

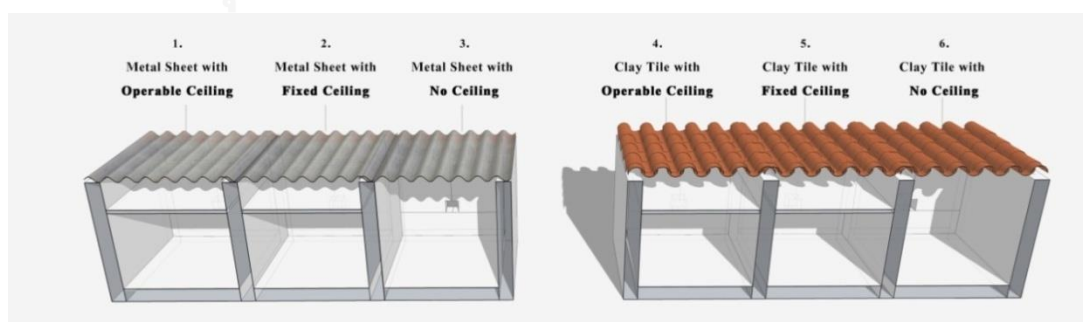
4.1 วิธีการรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) การเก็บข้อมูลด้วยกล่องทดลอง และ (2) การเก็บข้อมูลจากการจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

4.1.1 การรวบรวมข้อมูลจากกล่องทดลอง

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 มกราคม 2557 ถึงวันที่ 12 มกราคม 2557 เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที กล่องทดลองมีทั้งหมด 6 กล่องประกอบด้วยรายละเอียดการติดตั้งวัสดุทดลองแตกต่างกัน ดังนี้

กล่องทดลอง	รายละเอียด	ชื่อย่อ
1	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคาเหล็ก	OP+Metal
2	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคาเหล็ก	FIX+Metal
3	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคาเหล็ก	NO+Metal
4	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคากระเบื้องดินเผา	OP+Clay
5	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคากระเบื้องดินเผา	FIX+Clay
6	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคากระเบื้องดินเผา	NO+Clay



รูปที่ 4. 1 รูปตัดภายในกล่องทดลอง
(ผู้เขียน)

ในขั้นตอนการทดลองด้วยกล่องทดลองมีการกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ตัวแปรต้น ; ลักษณะของฝ้าภายใน ประกอบด้วย ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ ฝ้าเพดานแบบติดตาย และไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน, ชนิดของวัสดุหลังคา ประกอบด้วย หลังคากระเบื้อง และหลังคาโลหะ

ตัวแปรตาม ; อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆภายในกล่องทดลอง

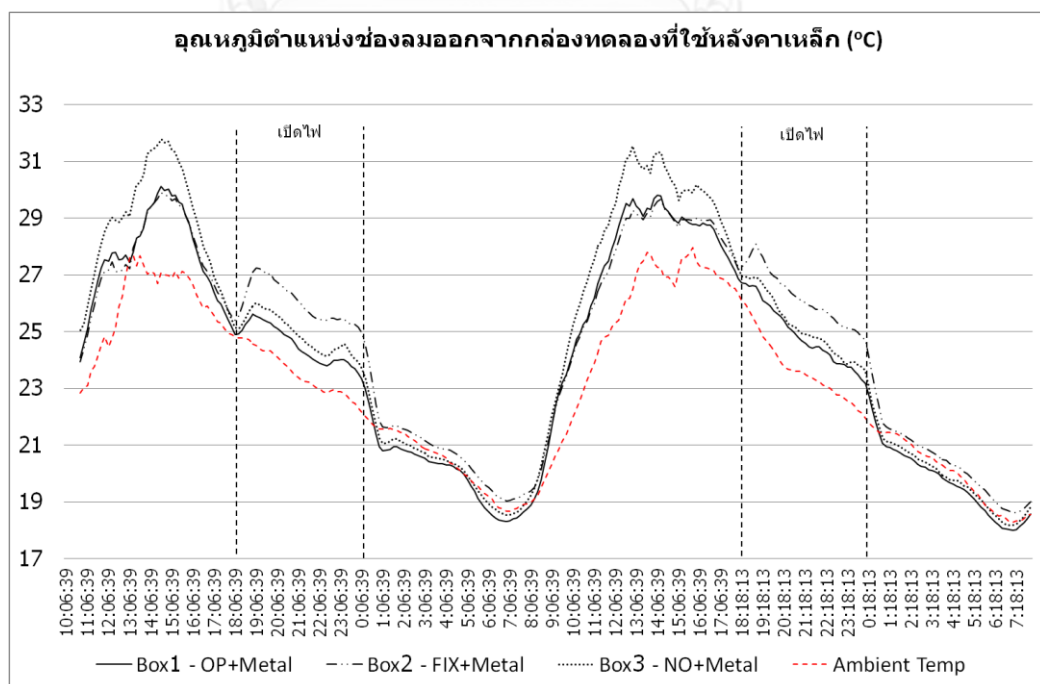
ตัวแปรควบคุม ; วัสดุที่ใช้ทำกล่องทดลอง ขนาดของกล่องทดลอง สถานที่และตำแหน่งที่ใช้ทำการทดลอง ระยะเวลาที่เก็บข้อมูล ปริมาณการไหลของอากาศที่เกิดจากพัดลม (CFM) และอื่นๆ

4.1.2 การรวบรวมข้อมูลจากการจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

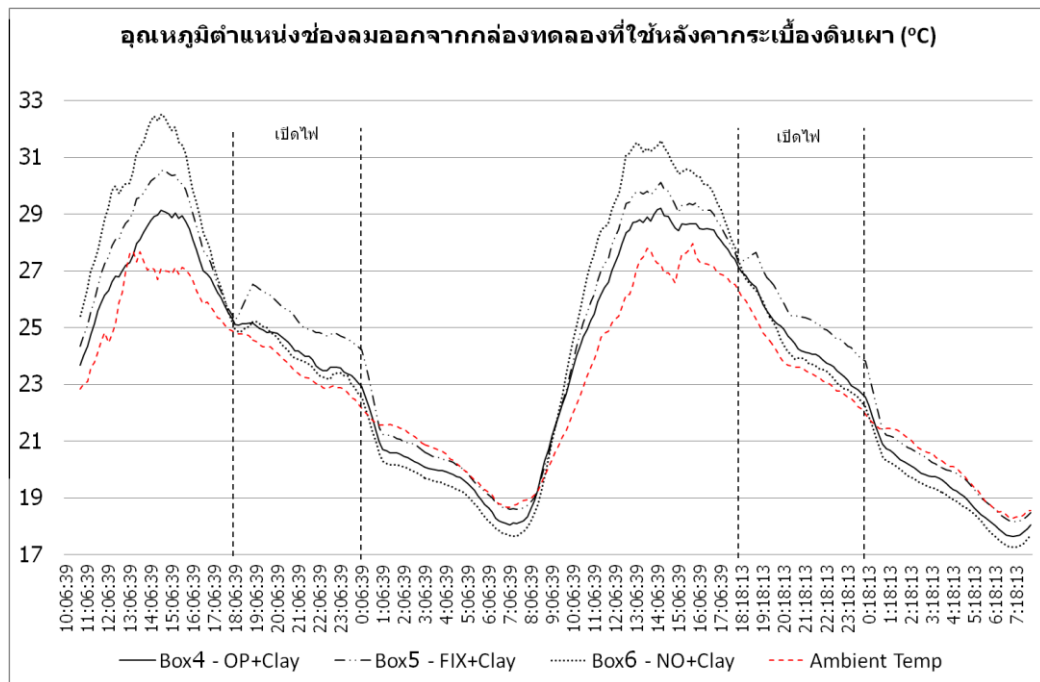
เป็นการจำลองการใช้พลังงานต่อปีและพลังงานในส่วนการทำความเย็นต่อปีในลักษณะอาคารประเภทบ้านพักอาศัยชั้นเดียวที่มีรูปแบบการใช้งานตอนกลางวัน และ เป็นอาคารที่มีการปรับอากาศ จากนั้นจึงทำการนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

4.2 ผลการทดลองช่วงที่ 1 (การเก็บข้อมูลจากกล่องทดลอง)

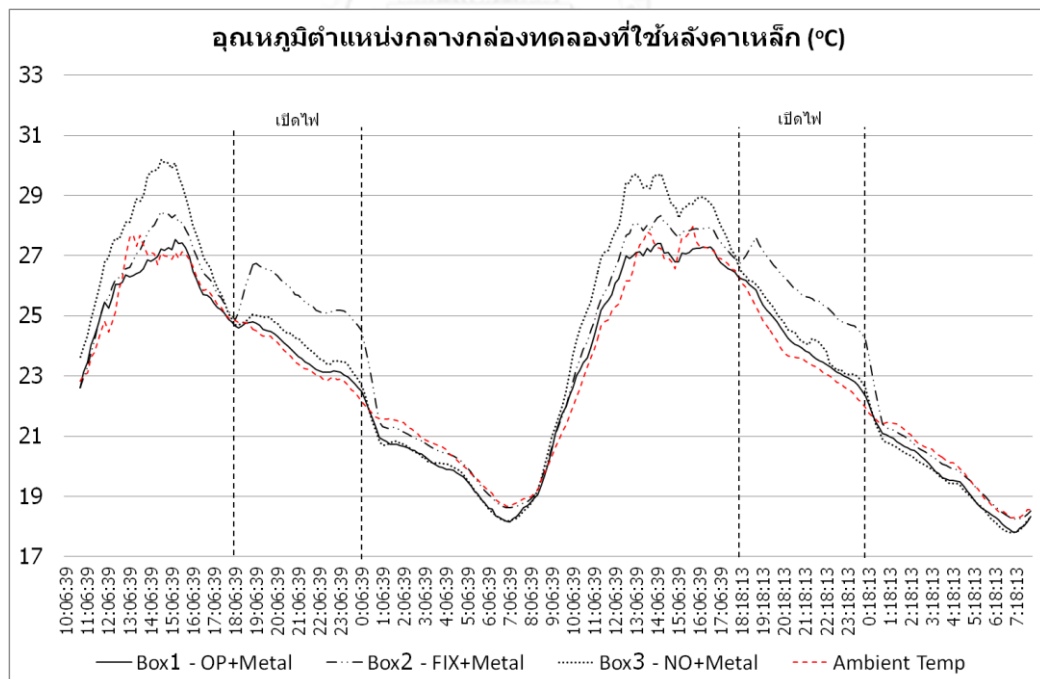
จากวัตถุประสงค์ในการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ณ ตำแหน่งต่างๆภายในกล่องทดลองทั้ง 6 กล่อง จากการทดลองสามารถนำข้อมูลมารายงานผลจำแนกตามตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือได้ดังนี้



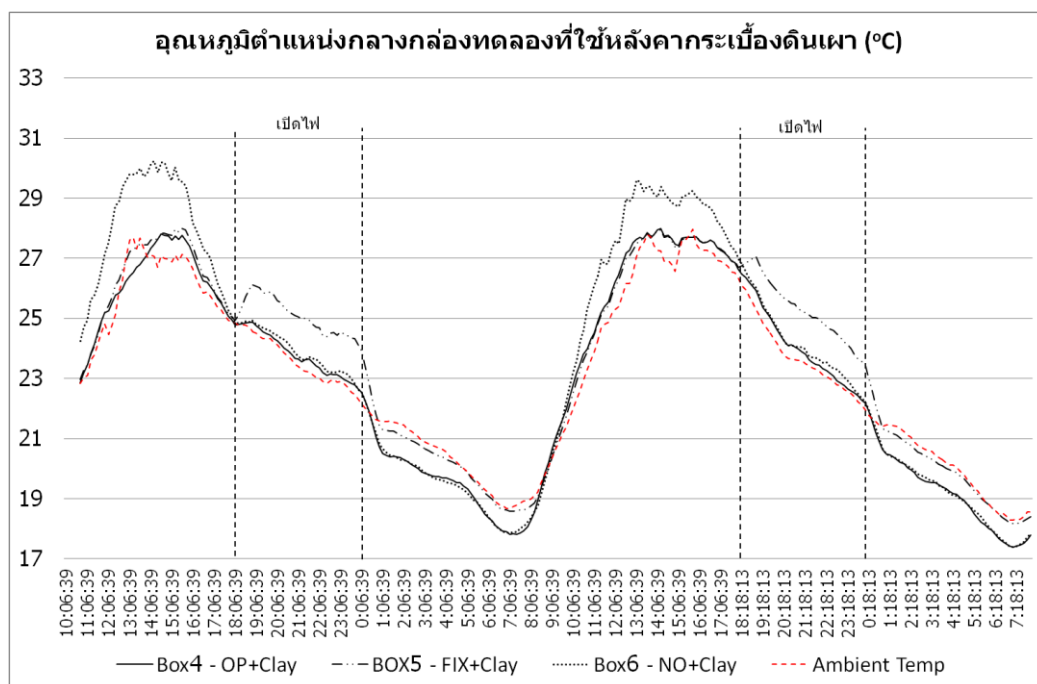
แผนภูมิที่ 4. 1 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งช่องลมออกของกล่องทดลองที่ใช้หลังคาเหล็ก



แผนภูมิที่ 4. 2 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งช่องลมออกของกล่องทดลองที่ใช้หลังคากระเบื้องดินเผา



แผนภูมิที่ 4. 3 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งกลางกล่องทดลองที่ใช้หลังคาเหล็ก



แผนภูมิที่ 4. 4 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งกลางกล่องทดลองที่ใช้หลังคากระเบื้องดินเผา

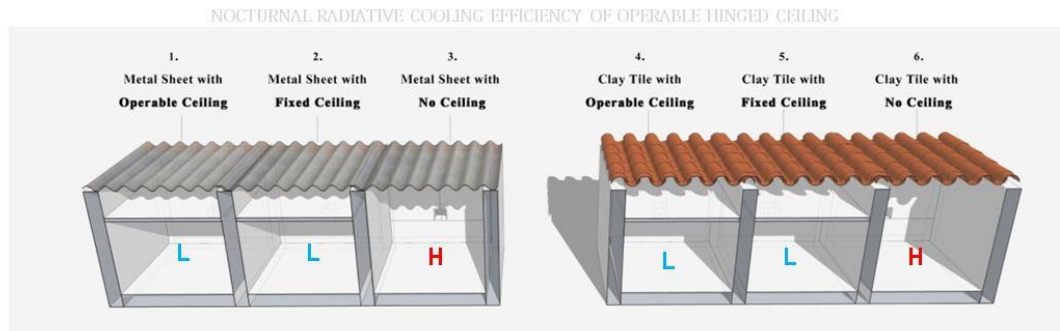
จากแผนภูมิที่ 4.1 และ 4.2 แสดงอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งช่องลมออกของกล่องทดลองทั้งที่ใช้หลังคาเหล็กและหลังคากระเบื้อง แผนภูมิที่ 4.3 และ 4.4 แสดงอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางกล่องทดลองทั้งที่ใช้หลังคาเหล็กและหลังคากระเบื้อง ซึ่งสามารถอธิบายผลได้ดังนี้

จากแผนภูมิที่ 4.1-4.4 ช่วงเวลา 8.00-18.00 (กลางวัน)

อุณหภูมิช่องลมออกของกล่องทดลองที่**ไม่มีการติดตั้งฝ้า** ควบคุมกับการใช้วัสดุหลังคาทั้งหลังคากระเบื้อง และหลังคาโลหะ มีค่า**สูงที่สุด**เมื่อเทียบกับกล่องทดลองอื่นๆ โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 29-30 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 14.00-15.00 น. ในทางเดียวกัน อุณหภูมิอากาศกลางกล่องที่ไม่ติดตั้งฝ้า ควบคุมกับทั้งวัสดุหลังคากระเบื้องและหลังคาโลหะ สามารถเก็บค่าอุณหภูมิได้**สูงที่สุด**เมื่อเทียบกับกล่องทดลองอื่นๆ โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 27-28 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 14.00-15.00 น.

อุณหภูมิที่ช่องลมออก และ อุณหภูมิที่กลางกล่องที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ (ซึ่งฝ้าอยู่ในสถานะปิด(Close)ในตอนกลางวัน) และฝ้าเพดานแบบติดตาย ควบคุมกับการใช้วัสดุหลังคาทั้งหลังคากระเบื้อง และหลังคาโลหะ สามารถเก็บค่าอุณหภูมิได้ต่ำลงมา โดยทั้ง 4 กล่องทดลองมีค่าอุณหภูมิที่วัดได้ใกล้เคียงกัน

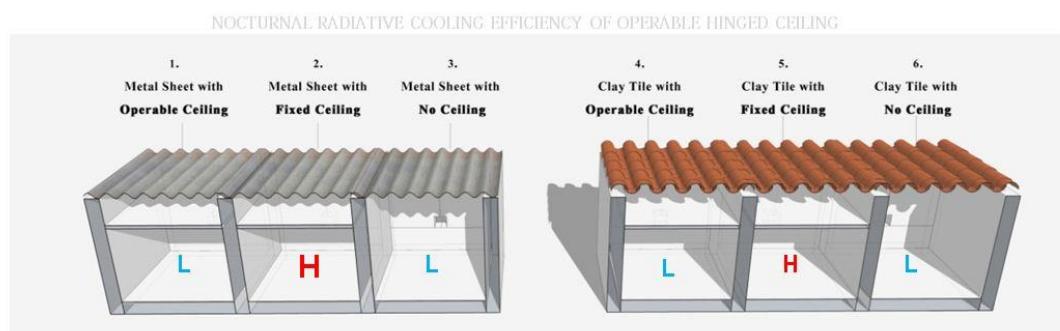
ทั้งนี้แนวโน้มของอุณหภูมิที่วัดได้จากตำแหน่งช่องลมออก และ อุณหภูมิที่วัดได้จากตำแหน่งกลาง
 กล่องของกล่องทดลองทั้ง 6 กล่องมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก (T.amb) โดยมีแนวโน้มผัน
 แปรตามอุณหภูมิอากาศภายนอกที่เปลี่ยนไประหว่างวัน



จากแผนภูมิที่ 4.1-4.4 ช่วงเวลา 18.00-00.00 (กลางคืนเปิดไฟ)

อุณหภูมิอากาศที่ช่องลมออก และที่กลางกล่องที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบติดตาย ควบคู่กับการใช้วัสดุ
 หลังคาโลหะ มีค่าอุณหภูมิได้**สูงที่สุด**เมื่อเทียบกับกล่องทดลองอื่นๆ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่
 ประมาณ 25-26 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิอากาศที่ช่องลมออก และที่กลางกล่องที่ติดตั้งฝ้า
เพดานแบบติดตาย ควบคู่กับการใช้วัสดุหลังคากระเบื้อง มีค่าสูงรองลงมา โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย
 อยู่ที่ประมาณ 24 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศที่ช่องลมออก และ อุณหภูมิอากาศที่กลางกล่องที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้
 (ซึ่งฝ้าอยู่ในสถานะเปิดในตอนกลางคืน) และกล่องทดลองที่**ไม่ติดตั้งฝ้า** ควบคู่กับการใช้วัสดุหลังคา
 ทั้งหลังคากระเบื้อง และหลังคาโลหะ มีอุณหภูมิที่ต่ำลงมา

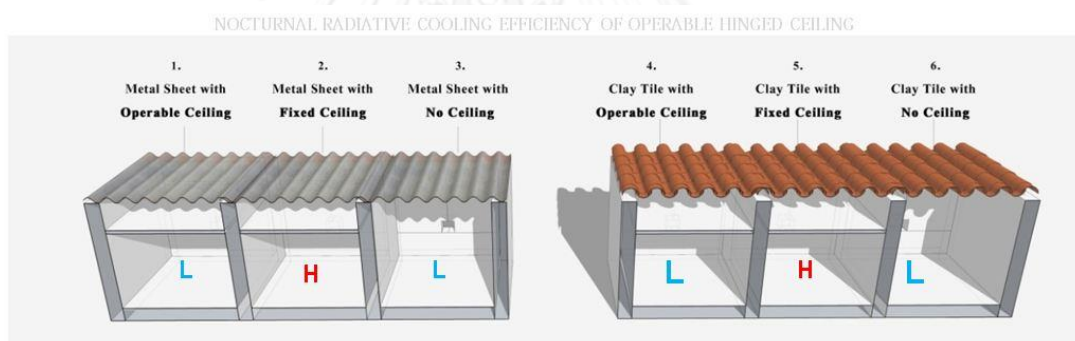


จากแผนภูมิที่ 4.1-4.4 ช่วงเวลา 00.00-08.00 (กลางคืนปิดไฟ)

อุณหภูมิที่ช่องลมออก และที่กลางกล่องที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ (ซึ่งฝ้าอยู่ในสถานะเปิด/Open) ในตอนกลางคืน) และกล่องทดลองที่ไม่มีการติดตั้งฝ้า ควบคุมกับการใช้วัสดุหลังคากระเบื้อง นั้นมีอุณหภูมิต่ำที่สุด โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก (T.amb)

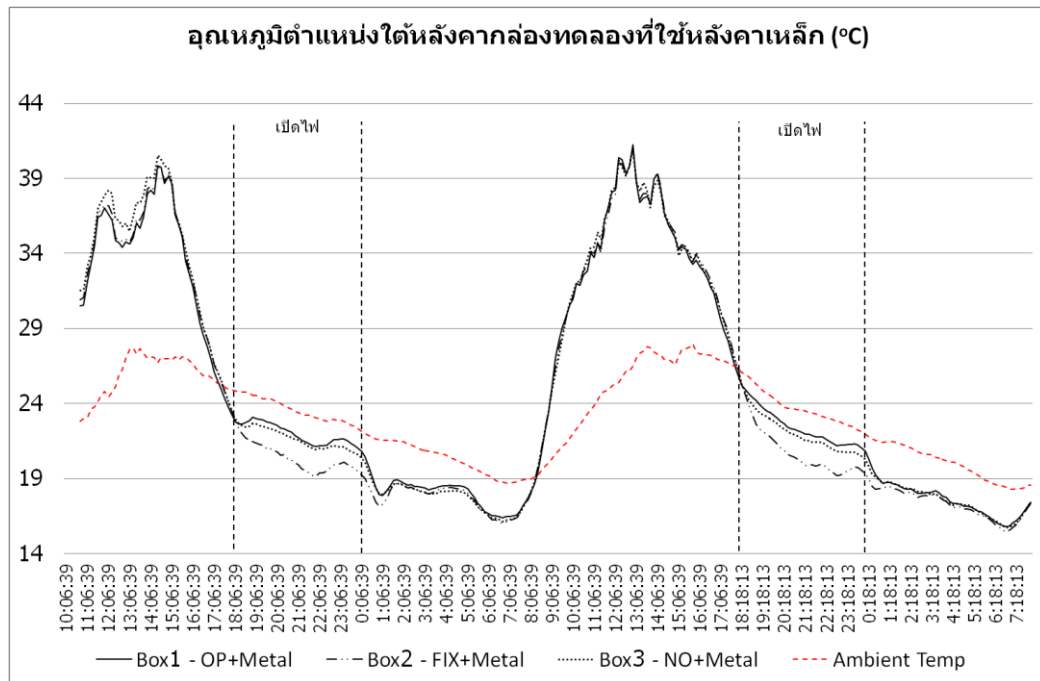
อุณหภูมิที่ช่องลมออก และที่กลางกล่องที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ (ซึ่งฝ้าอยู่ในสถานะเปิดในตอนกลางคืน) และกล่องทดลองที่ไม่มีการติดตั้งฝ้า ควบคุมกับการใช้วัสดุหลังคาเหล็ก นั้นมีอุณหภูมิต่ำรองลงมา โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 20.5 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก (T.amb) เช่นกัน

อุณหภูมิที่ช่องลมออก และที่กลางกล่องที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบติดตาย ควบคุมกับการใช้วัสดุหลังคาโลหะ และหลังคากระเบื้อง มีอุณหภูมิสูงที่สุด คือมีค่าเท่าอุณหภูมิภายนอก (T.amb)

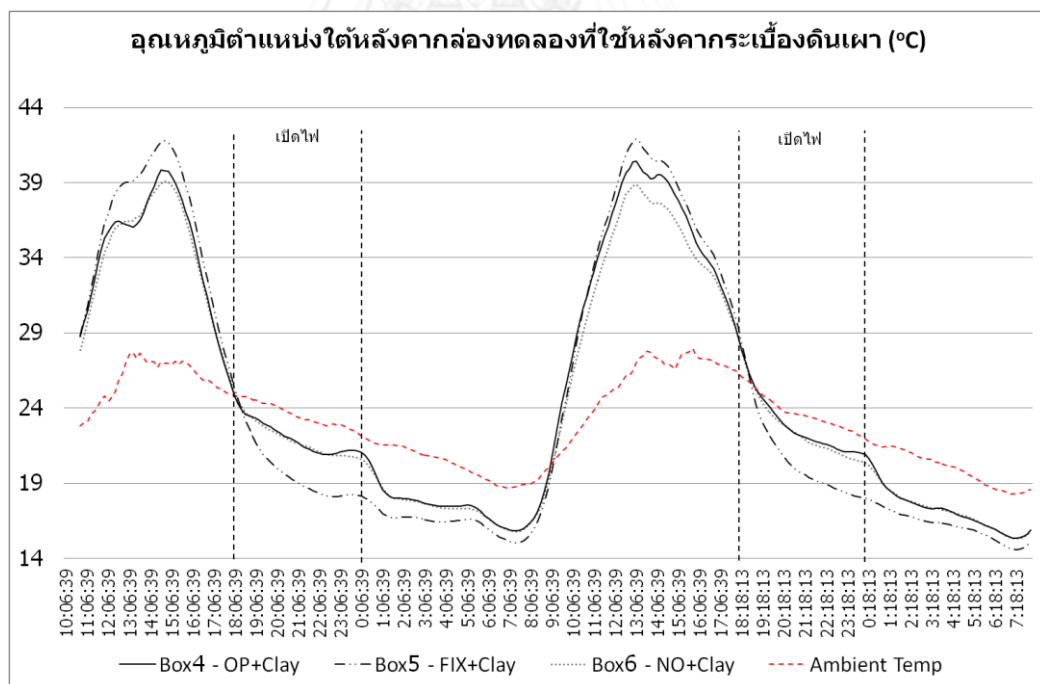


ช่วงเวลา 00.00-08.00

(กลางคืนปิดไฟ - NIGHT TIME WITHOUT LIGHT)



แผนภูมิที่ 4.5 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งใต้หลังคาเหล็ก



แผนภูมิที่ 4.6 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งใต้หลังคากระเบื้องดินเผา

แผนภูมิที่ 4.5 และ 4.6 อธิบายอุณหภูมิที่พื้นผิวหลังคาภายใน โดยอุณหภูมิที่เก็บได้จากทั้ง ล่องที่ใช้หลังคาเหล็ก และหลังคากระเบื้องดินเผา มีค่าใกล้เคียงกันทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืน

ซึ่งหากพิจารณาจากแผนภูมิจะสามารถอธิบายแนวโน้มของอุณหภูมิได้ดังนี้ ในช่วงกลางวันอุณหภูมิใต้หลังคาคงกล่าวจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดย 12.00-14.00 น. จะเป็นเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุดในรอบวัน ในขณะที่ในช่วงเย็นและกลางคืน อุณหภูมิ ใต้หลังคาจะลดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

นอกจากนี้จากผลการเก็บข้อมูลยังมีข้อสังเกตว่าในช่วงเวลาที่มีการเปิดไฟภายในกล่องอุณหภูมิที่วัดได้ ณ บริเวณพื้นผิวใต้หลังคาของกล่องทดลองที่ติดตั้งผ้าแบบติดตายจะมีค่าลดลงมากกว่ากล่องทดลองอื่นๆ ทั้งนี้เป็นผลมาจากผ้าติดตายทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนภายในจากหลอดไฟ ทำให้ความร้อนส่งผลกระทบต่อพื้นผิวใต้หลังคาได้น้อยกว่ากล่องทดลองที่ไม่มีการติดตั้งผ้า

4.3 ผลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)

4.3.1 หลักการและการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

การเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆจากกล่องทดลองในช่วงที่ 1 สามารถนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ โดยแทนค่าในสมการ ดังนี้

ช่วงที่ไม่มีการเปิดหลอดไฟ (00.00-18.00)

$$Q = 1.08 \times \text{CFM} \times \Delta T_1 \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณความร้อนที่ถูกระบายโดยอากาศ (Btu/h)

CFM = ปริมาณการไหลของอากาศที่เกิดจากพัดลม (ft³/minute)

ΔT_1 = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศไหลเข้าและออกจากกล่องทดลอง (F^o)

$$Q = (U \times A \times \Delta T_2) \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Btu/hr.Ft².F^o)

A = พื้นที่ของส่วนที่ถ่ายเทความร้อน (Ft²)

ΔT_2 = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก (F^o)

เมื่อสมการ (1) = (2) จะได้

$$U = (1.08 \times \text{CFM} \times \Delta T_1) / (A \times \Delta T_2) \dots\dots\dots (3)$$

ช่วงที่มีการเปิดหลอดไฟ (18.00-00.00)

$$Q = 1.08 \times \text{CFM} \times \Delta T_1 \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณความร้อนที่ถูกระบายโดยอากาศ (Btu/h)

CFM = ปริมาณการไหลของอากาศที่เกิดจากพัดลม (ft³/minute)

ΔT_1 = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศไหลเข้าและออกจากกล่องทดลอง (F^o)

$$Q = (U \times A \times \Delta T_2) + Q_{\text{หลอดไฟ}} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Btu/hr.Ft².F^o)

A = พื้นที่ของส่วนที่ถ่ายเทความร้อน (Ft²)

ΔT_2 = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก (F^o)

Q_{หลอดไฟ} = พลังงานจากหลอดไส้ 60 Watt

$$P_{(\text{BTU/hr})} = 3.412 \times P_{(\text{W})}$$

$$P_{(\text{BTU/hr})} = 3.412 \times 60$$

$$P_{(\text{BTU/hr})} = 204.73 \text{ Btu/h}$$

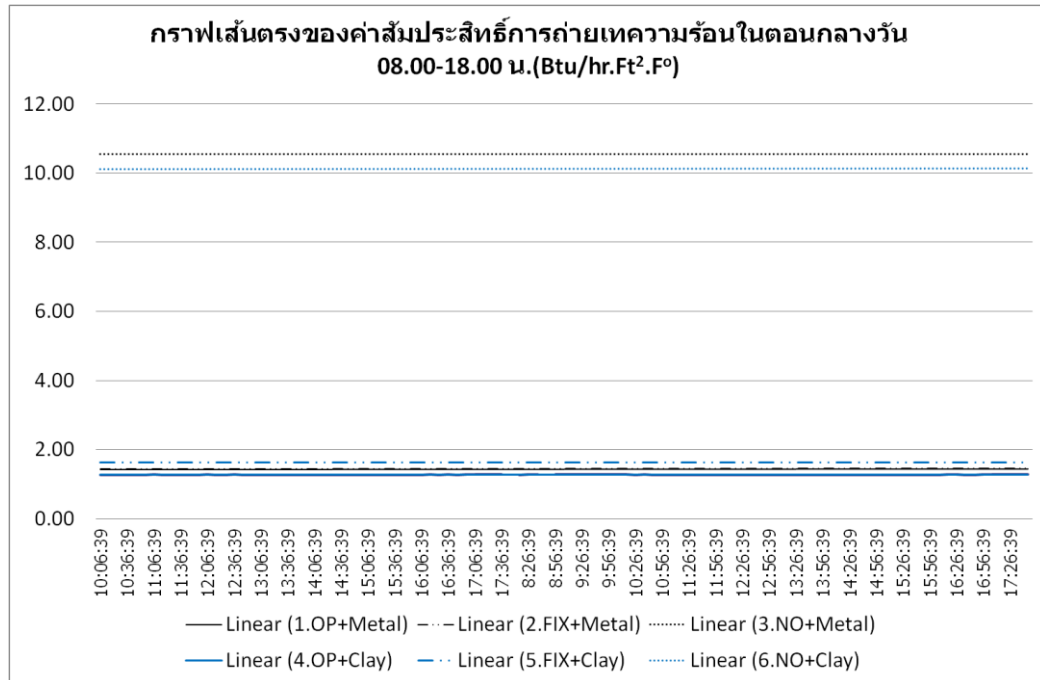
เมื่อ

(1) = (2) จะได้

$$U = [(1.08 \times \text{CFM} \times \Delta T_1) - 204.73] / (A \times \Delta T_2) \dots\dots\dots (3)$$

4.3.2 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในช่วงที่ไม่มีการเปิดไฟ (00.00 - 18.00)

ช่วงเวลากลางวัน (8.00-18.00)

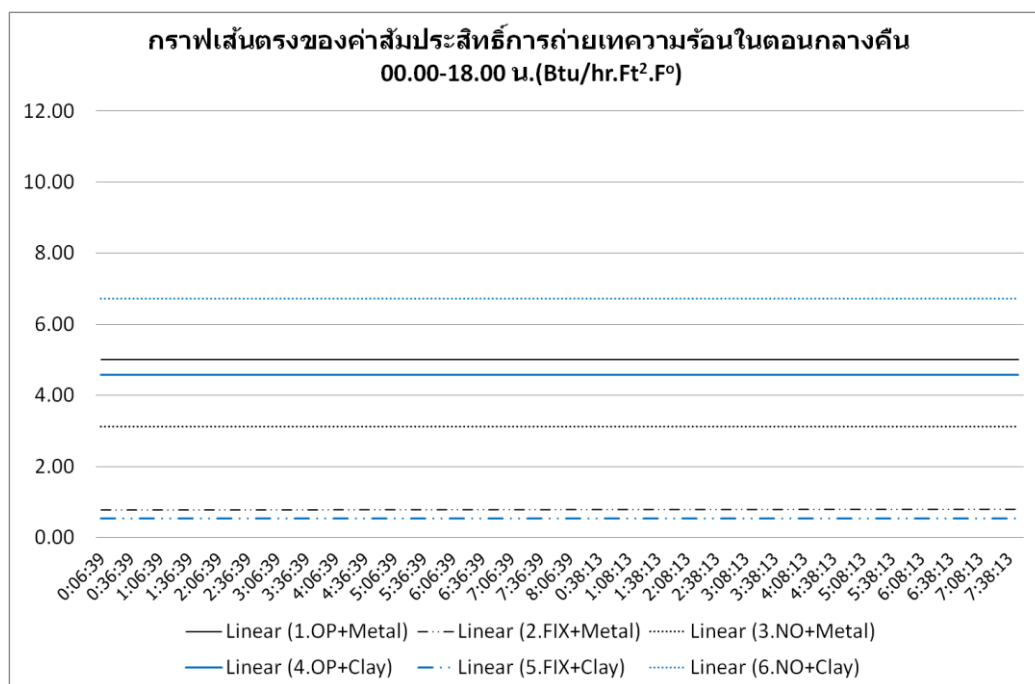


แผนภูมิที่ 4. 7 กราฟเส้นตรงแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value, Btu/hr.Ft².Fo) ในช่วงกลางวัน (08.00-18.00)

ตารางที่ 4. 1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในช่วงกลางวัน (08.00-18.00)

(Metal.OP)	(Metal.FIX)	(Metal.NO)	(Clay.OP)	(Clay.FIX)	(Clay.NO)	UNIT
1.43	1.45	10.54	1.27	1.62	10.12	Btu/hr.Ft ² .F°
8.15	8.24	59.84	7.23	9.20	57.45	Watt/m ² .°C

ช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีการเปิดไฟ (00.00-08.00)



แผนภูมิที่ 4. 8 กราฟเส้นตรงแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value, Btu/hr.Ft².Fo) ในช่วงกลางคืนเมื่อไม่มีการเปิดไฟ (00.00-08.00)

ตารางที่ 4. 2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในเวลากลางคืนเมื่อไม่มีการเปิดไฟ (00.00-08.00) เมื่อ 1 Btu/hr.Ft².Fo = 5.678 Watt/m².°C

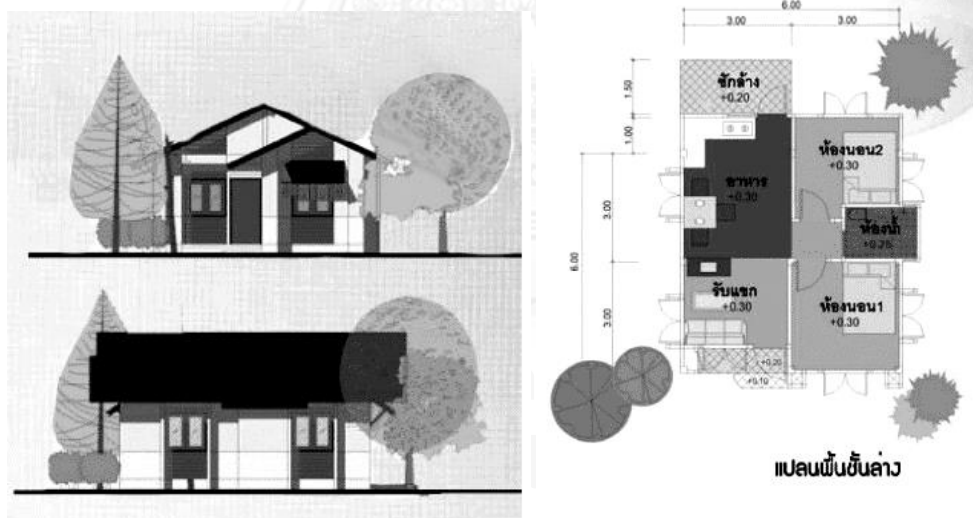
(Metal.OP)	(Metal.FIX)	(Metal.NO)	(Clay.OP)	(Clay.FIX)	(Clay.NO)	UNIT
5.01	0.79	3.12	4.57	0.55	6.72	Btu/hr.Ft ² .F°
28.46	4.47	17.73	25.98	3.10	38.16	Watt/m ² .°C

4.4 ผลการทดลองช่วงที่ 2 (การจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1)

การทดลองในช่วงที่สองเป็นการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 ทำการจำลองอาคารบ้านพักอาศัยขนาด 52 ตารางเมตร สูง 1 ชั้น โดยใช้แบบบ้าน แวมมยุรา 11 แบบ บ้านมาตรฐานของโครงการบ้านยิม ของสำนักงานพัฒนาที่อยู่อาศัย (สอพ.) ตามรายละเอียดในบทที่

3 กำหนดการใช้งานอาคารเป็นวันเสาร์-อาทิตย์มีการใช้งานตลอดวัน วันจันทร์-ศุกร์ใช้งานอาคาร ตั้งแต่เวลา 18.00-06.00 แบ่งกรณีที่น่าสนใจศึกษาออกเป็น 6 กรณี (ตามขั้นตอนการทดลองด้วยกล่องทดลอง) ดังนี้

กรณีที่	รายละเอียด	ชื่อย่อ
case1	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคาเหล็ก	OP+Metal
case2	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคาเหล็ก	FIX+Metal
case3	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคาเหล็ก	NO+Metal
case4	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคากระเบื้องดินเผา	OP+Clay
case5	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคากระเบื้องดินเผา	FIX+Clay
case6	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคากระเบื้องดินเผา	NO+Clay



รูปที่ 4. 2 แบบบ้าน แวมมยุรา 11

(แบบบ้านมาตรฐานของโครงการบ้านยี่ม ของสำนักงานพัฒนาที่อยู่อาศัย (สอพ.)

เป็นการจำลองการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารในแต่ละเดือนของอาคารแต่ละกรณี (Electric End Use , kWh) จำลองการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารในรอบปีของอาคารแต่ละกรณี (Electric End Use , kWh/yr) และ จำลองการใช้พลังงานในหมวดการทำความเย็นของอาคารในแต่ละกรณี (Cooling Energy , kWh) นอกจากนี้ยังครอบคลุมถึงการคำนวณหาการใช้พลังงานโดยรวม

ของอาคาร ในหนึ่งปีต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$) ทั้งนี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ "ระบบหลังคา" ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 มาใช้จำลองในโปรแกรม Visual DOE 4.1

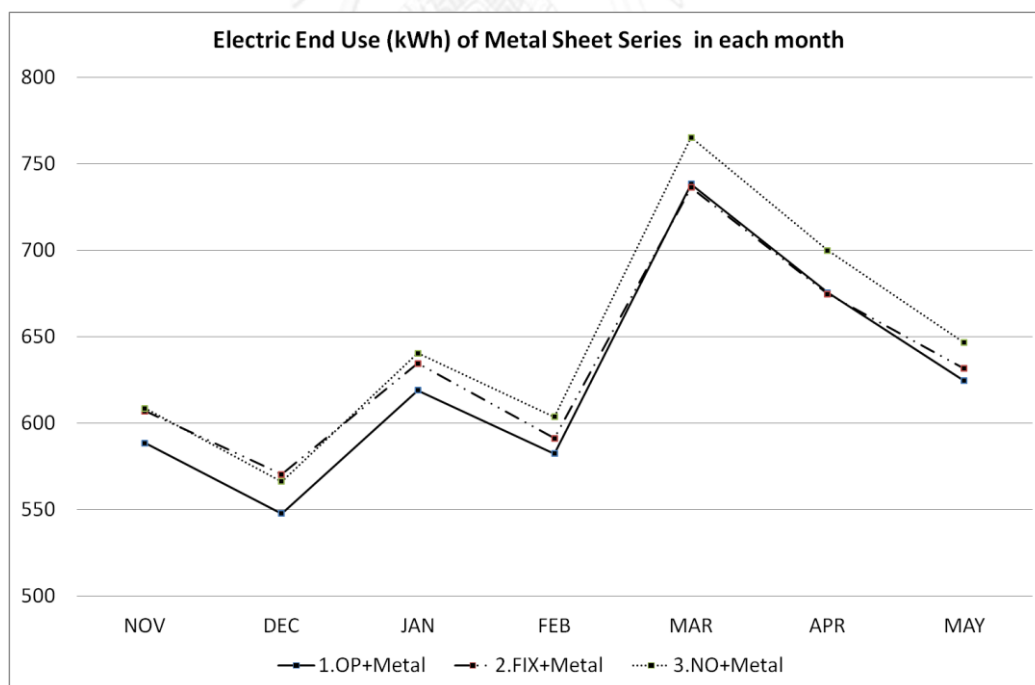
จากการศึกษาบทความของ Martin (1989) ที่กล่าวว่าเมื่อบรรยากาศมีความชื้นสูงจะทำให้เกิดหยดน้ำเกาะบนหลังคาจนทำให้ประสิทธิภาพการแผ่รังสีลดลง ประกอบกับการศึกษารรณกรรมของ จอมภพ แววศักดิ์ และคณะ(2542) ที่กล่าวว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นด้วยระบบการแผ่รังสีในตอนกลางคืนนั้นจะทำงานได้ดีเมื่ออากาศไม่มีความชื้นมากเกินไป และในสภาพท้องฟ้าโปร่ง รวมทั้งการตรวจสอบปริมาณความชื้นอากาศในแต่ละเดือนด้วยโปรแกรม ECOTect ทำให้ในการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 นี้จะถือว่าใช้งานอาคารเพียง 2 ฤดูกาลใน 1 ปี คือ ฤดูหนาว และฤดูร้อน (พฤศจิกายน-พฤษภาคม) ที่กระบวนการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีในตอนกลางคืนนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนฤดูฝนจะไม่ทำการพิจารณา เพื่อป้องกันการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคารที่คลาดเคลื่อน

4.4.1 ผลการจำลองการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารในแต่ละเดือน (Electric End Use , kWh)

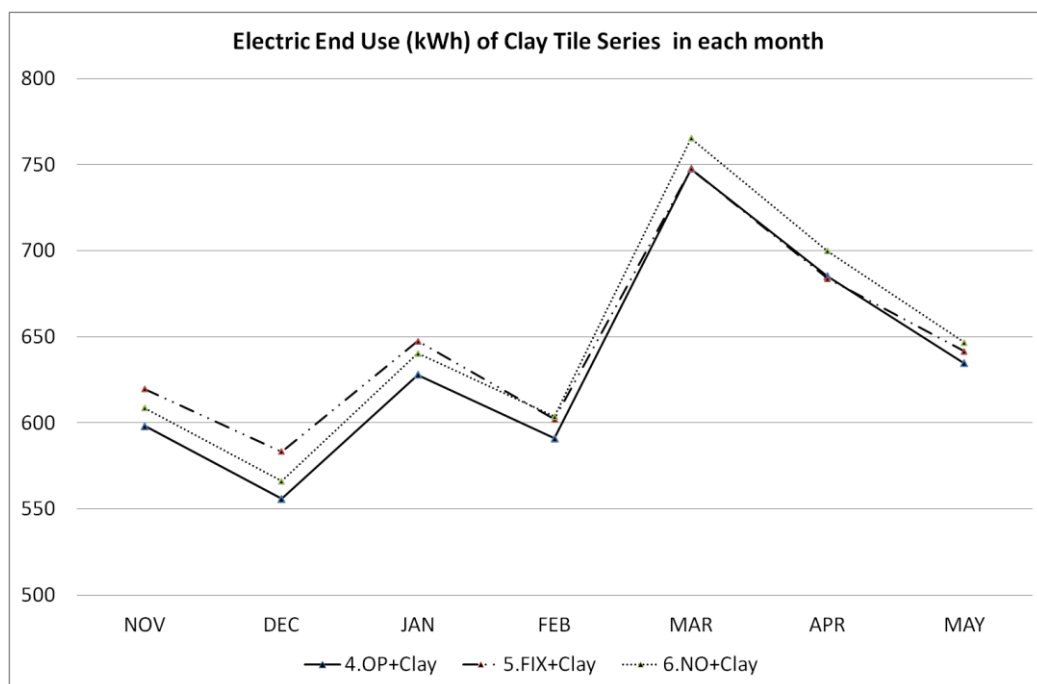
จากแผนภูมิที่ 4.9-4.10 สามารถอธิบายได้ว่า ในฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) แนวโน้มการใช้พลังงานของอาคารที่ใช้ฝ้าเพดานแบบติดตายใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุด อาคารที่ใช้ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานใช้พลังงานโดยรวมรองลงมา และอาคารที่ใช้ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ใช้พลังงานน้อยที่สุด ส่วนในฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) อาคารที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุด อาคารที่ใช้ฝ้าเพดานแบบติดตายและอาคารที่ใช้ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ใช้พลังงานโดยรวมใกล้เคียงกันซึ่งมีค่ารองลงมา โดยความแตกต่างของการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารในแต่ละกรณีมีความแตกต่างกันไม่มากนัก

ตารางที่ 4. 3 ผลการจำลองการใช้พลังงานโดยรวมในแต่ละเดือนของอาคารที่ในแต่ละกรณี

Month	Electric End Use (kWh)					
	1.OP+Metal	2.FIX+Metal	3.NO+Metal	4.OP+Clay	5.FIX+Clay	6.NO+Clay
NOV	588	607	608	598	620	608
DEC	548	570	566	556	583	566
JAN	619	634	640	628	647	640
FEB	582	591	604	591	602	604
MAR	738	736	765	747	748	765
APR	676	675	700	685	684	700
MAY	624	631	647	635	642	647



แผนภูมิที่ 4. 9 การใช้พลังงานโดยรวมในแต่ละเดือนของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก



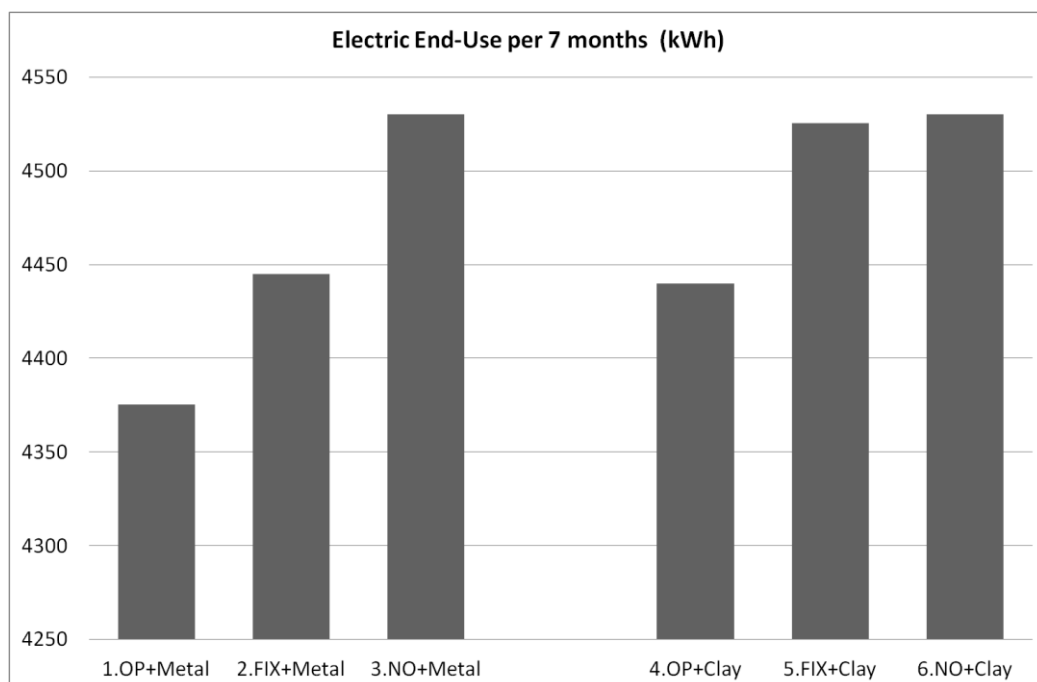
แผนภูมิที่ 4. 10 การใช้พลังงานโดยรวมในแต่ละเดือนของอาคารที่ใช้หลังคากระเบื้องดินเผา

4.4.2 ผลรวมการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (Electric End Use , kWh)

จากแผนภูมิที่ 4.11 สามารถอธิบายถึงปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน-พฤษภาคม) พบว่าอาคารที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานใช้ใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุด อาคารที่ใช้ฝ้าเพดานแบบติดตายใช้พลังงานโดยรวมรองลงมา และ อาคารที่ใช้ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันทั้งในอาคารที่ใช้หลังคาเหล็กและหลังคากระเบื้องดินเผา โดยความแตกต่างของการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารในแต่ละกรณีมีความแตกต่างกันไม่มากนัก

ตารางที่ 4. 4 การใช้พลังงานโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน-พฤษภาคม)
(Electric End Use per year, kWh/yr)

Summary of Summer+Winter Electric End-Use (kWh)					
1.OP+Metal	2.FIX+Metal	3.NO+Metal	4.OP+Clay	5.FIX+Clay	6.NO+Clay
4,375	4,445	4,530	4,440	4,525	4,530



แผนภูมิที่ 4. 11การใช้พลังงานโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน-พฤษภาคม)
(Electric End Use per year, kWh/yr)

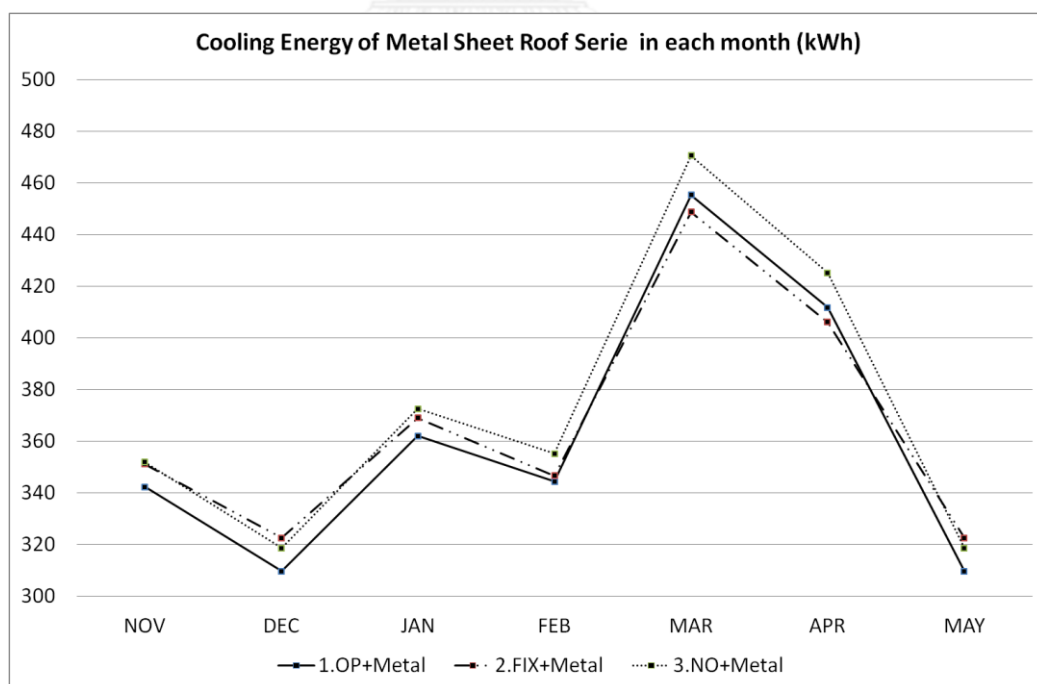
ตารางที่ 4. 5 การเรียงลำดับการใช้พลังงานในอาคารโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา

กรณี	รายละเอียด	ชื่อย่อ	พลังงาน (kWh)
6,3	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคากระเบื้องดินเผา	NO+Clay	4,530
	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคาเหล็ก	NO+Metal	
5	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย+หลังคากระเบื้องดินเผา	FIX+Clay	4,525
2	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคาเหล็ก	FIX+Metal	4,445
4	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้+หลังคากระเบื้องดินเผา	OP+Clay	4,440
1	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคาเหล็ก	OP+Metal	4,375

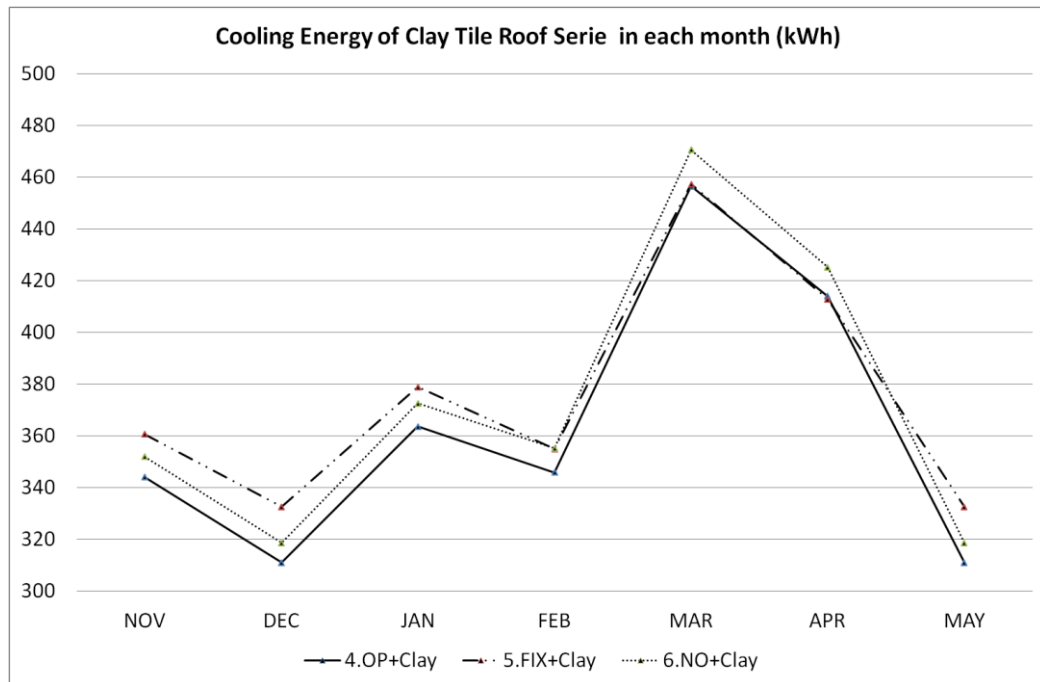
4.4.3 ผลการจำลองการใช้พลังงานในส่วนระบบทำความเย็นในแต่ละเดือน (Cooling Energy , kWh)

ตารางที่ 4. 6 การใช้พลังงานในระบบทำความเย็นในแต่ละเดือน

Month	Cooling Energy (kWh)					
	1.OP+Metal	2.FIX+Metal	3.NO+Metal	4.OP+Clay	5.FIX+Clay	6.NO+Clay
NOV	342	351	352	344	361	352
DEC	310	323	319	311	332	319
JAN	362	369	372	364	379	372
FEB	344	347	355	346	355	355
MAR	455	449	470	456	457	470
APR	412	406	425	414	413	425
MAY	1017	1038	1046	1022	1065	1046

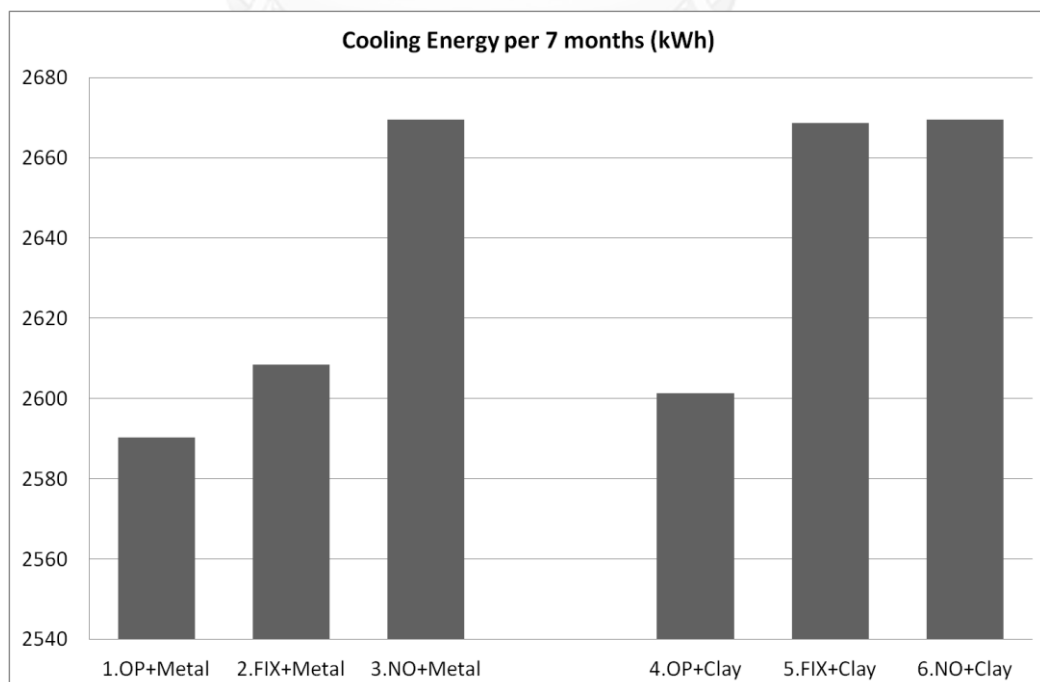


แผนภูมิที่ 4. 12 การใช้พลังงานในระบบทำความเย็นในแต่ละเดือนของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก (B1,B2,B3) (Cooling Energy , kWh)



แผนภูมิที่ 4. 13 การใช้พลังงานในระบบทำความเย็นในแต่ละเดือนของอาคารที่ใช้หลังคากระเบื้องดินเผา (B4,B5,B6) (Cooling Energy, kWh)

4.4.4 ผลรวมการใช้พลังงานในส่วนระบบทำความเย็นภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (Cooling Energy , kWh)



แผนภูมิที่ 4. 14 การใช้พลังงานในระบบทำความเย็นโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษาดังกล่าว
 ตารางที่ 4. 7 เรียงลำดับการใช้พลังงานของส่วนระบบทำความเย็นโดยรวมภายใน 7 เดือน

กรณี	รายละเอียด	ชื่อย่อ	พลังงาน (kWh)
6,3	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคากระเบื้องดินเผา	NO+Clay	2,670
	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคาเหล็ก	NO+Metal	
5	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคากระเบื้องดินเผา	FIX+Clay	2,669
2	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคาเหล็ก	FIX+Metal	2,608
4	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคากระเบื้องดินเผา	OP+Clay	2,601
1	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคาเหล็ก	OP+Metal	2,590

4.4.5 ผลการคำนวณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารในรอบ 7 เดือนที่ทำการศึกษาต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร

ตารางที่ 4. 8 เรียงลำดับการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤษภาคม-พฤษภาคม) ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรจากมากไปน้อย

กรณี	รายละเอียด	ชื่อย่อ	พลังงาน (kWh)
6,3	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคากระเบื้องดินเผา	NO+Clay	87.12
	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคาเหล็ก	NO+Metal	
5	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย+หลังคากระเบื้องดินเผา	FIX+Clay	87.03
2	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคาเหล็ก	FIX+Metal	85.48
4	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้+หลังคากระเบื้องดินเผา	OP+Clay	85.38
1	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคาเหล็ก	OP+Metal	84.14

4.4.6 ผลการคำนวณค่าไฟโดยรวมต่อ 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน-พฤษภาคม)

ในกรณีบ้านพักอาศัย เมื่อนำผลการใช้พลังงานรวมต่อปีของอาคารในแต่ละกรณีคูณด้วยค่าไฟต่อหน่วย (3 บาท/หน่วย) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าไฟโดยรวมต่อ 7 เดือนที่ทำการศึกษาของอาคารในกรณีต่างๆได้ ดังนี้ อาคารที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานควบคู่กับการใช้หลังคาเหล็กและหลังคากระเบื้องดินเผา มีอัตราค่าไฟรายปีสูงสุด คือ 13,590 บาท ส่วนอาคารที่มีการติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ควบคู่กับการใช้หลังคาเหล็กมีอัตราค่าไฟรายปีต่ำที่สุด คือ 13,126 บาท

ตารางที่ 4. 9 ตารางที่ 4.9 ค่าไฟฟ้าโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน-พฤษภาคม) (Baht/year)

กรณี ที่	รายละเอียด	ชื่อย่อ	พลังงาน (kWh)	ค่าไฟ (Baht)
6,3	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคากระเบื้องดินเผา	NO+Clay	4,530	13,590
	ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน + หลังคาเหล็ก	NO+Metal		
5	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคากระเบื้องดินเผา	FIX+Clay	4,525	13,576
2	ฝ้าเพดานแบบแบบติดตาย + หลังคาเหล็ก	FIX+Metal	4,445	13,335
4	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้+หลังคากระเบื้องดินเผา	OP+Clay	4,440	13,320
1	ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ + หลังคาเหล็ก	OP+Metal	4,375	13,126

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองช่วงที่ 1 (กล่องทดลอง) และ ช่วงที่ 2 (การจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1)

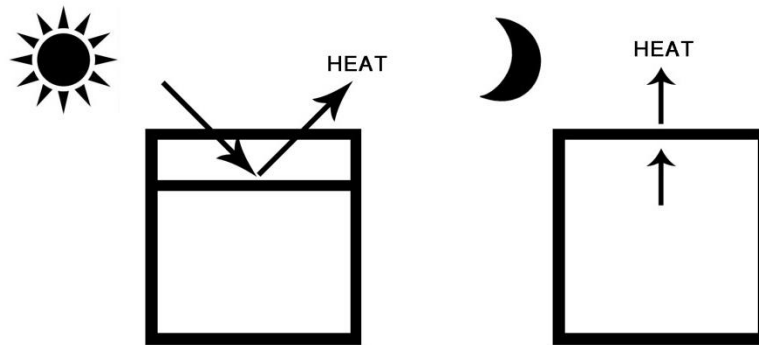
4.5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองช่วงที่ 1 (กล่องทดลอง)

จากผลการทดลองในขั้นตอนการเก็บข้อมูลจากกล่องทดลองสามารถสรุปได้ว่า “ฝ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ (Operable Ceiling)” นั้นสามารถป้องกันความร้อนได้ดีในตอนกลางวันและสามารถระบายความร้อนด้วยวิธีการแผ่รังสีในตอนกลางคืนได้ในอาคารที่ไม่ปรับอากาศ (กล่องทดลองไม่ปรับอากาศ) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน ซึ่งสังเกตได้จากแผนภูมิซึ่งแสดงผลการบันทึกอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งช่องดูดลมออก และตำแหน่งกลางกล่อง ซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกล่องทดลองที่ใช้

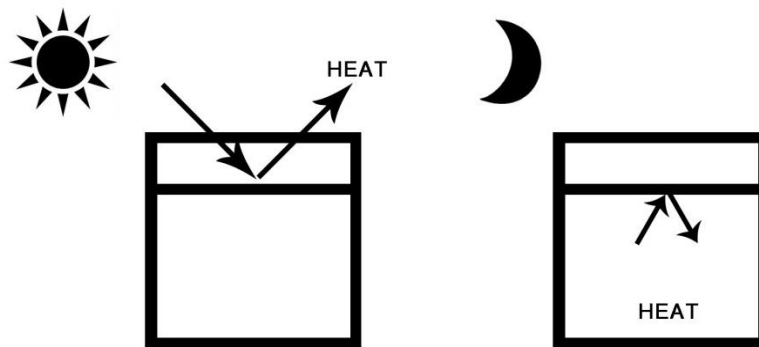
เปรียบเทียบอื่นๆ ทั้งในเวลากลางวัน และเวลากลางคืนที่มีการเปิดไฟ และเวลากลางคืนที่ไม่มีการเปิดไฟ จากรูปที่ 4.4-4.6 สามารถอธิบายกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันของแต่ละกล่องทดลองได้ดังนี้ รูปที่ 4.4 แสดงกระบวนการถ่ายเทความร้อนในตอนกลางวันและกลางคืนของกล่องทดลองที่ 1 และ 4 ซึ่งเป็นกล่องทดลองที่มีการติดตั้งผ้าแบบปรับเปลี่ยนได้ โดยในตอนกลางวันผ้าอยู่ในลักษณะปิดทำหน้าที่เหมือนฉนวนป้องกันความร้อน ทำให้ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์สามารถผ่านเข้ามายังพื้นที่ภายในได้น้อย ส่งผลให้อุณหภูมิภายในไม่สูงมากนัก ส่วนตอนกลางคืนผ้าอยู่ในสถานะเปิดออก ทำให้ความร้อนที่สะสมอยู่บริเวณภายในกล่องจากช่วงเวลากลางวัน รวมทั้งความร้อนจากหลอดไฟที่เปิดจำลองตามสถานการณ์การใช้งานจริงในบ้านพักอาศัย สามารถส่งผ่านไปยังวัสดุหลังคา (วัสดุแผ่นรังสี) เพื่อส่งถ่ายความร้อนสู่ท้องฟ้าในตอนกลางคืนเป็นไปได้อย่างสะดวก ส่งผลให้อุณหภูมิภายในลดลงได้อย่างรวดเร็วตามอุณหภูมิภายนอกที่ลดลงในช่วงกลางคืน

จากรูปที่ 4.5 แสดงกระบวนการถ่ายเทความร้อนในตอนกลางวันและกลางคืนของกล่องทดลองที่ 2 และ 5 ซึ่งเป็นกล่องทดลองที่ติดตั้งผ้าแบบติดตายทั้งในตอนกลางวันและกลางคืน ด้วยการติดตั้งผ้าในลักษณะเช่นนี้สามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ในตอนกลางวันได้ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในกล่องทดลองในช่วงกลางวันไม่สูงมากนัก แต่ในขณะที่เวลากลางคืนผ้าที่ติดตายกลับเป็นอุปสรรคต่อการถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่บริเวณพื้นที่ภายในจากช่วงเวลากลางวัน รวมทั้งความร้อนจากหลอดไฟที่เปิดจำลองตามสถานการณ์การใช้งานจริงในบ้านพักอาศัยให้ไม่สามารถระบายออกไปได้ ทำให้อุณหภูมิภายในกล่องทดลองเวลากลางคืนช่วงที่มีการเปิดไฟค่อนข้างพุ่งขึ้นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกล่องทดลองที่ไม่มีการติดตั้งผ้า และมีความร้อนสะสมมากกว่ากล่องทดลองอื่นๆ แม้ปิดไฟแล้ว

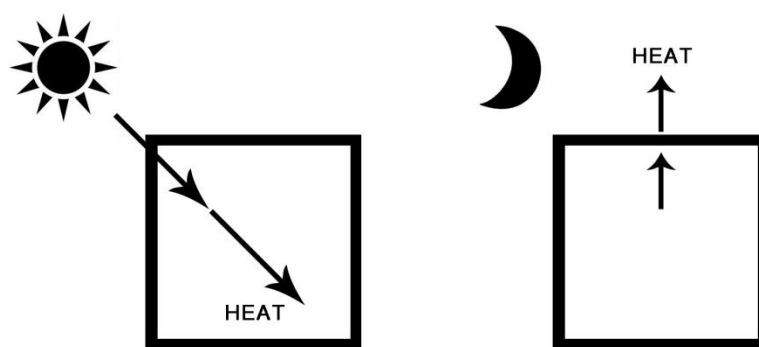
จากรูปที่ 4.6 แสดงกระบวนการถ่ายเทความร้อนในตอนกลางวันและกลางคืนของกล่องทดลองที่ 3 และ 6 ซึ่งไม่มีการติดตั้งผ้าภายในทั้งในตอนกลางวันและกลางคืน ด้วยการที่ไม่มีผ้าซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ในตอนกลางวัน ทำให้อุณหภูมิบริเวณภายในกล่องทดลองพุ่งขึ้นสูงกว่ากล่องทดลองอื่นๆที่มีการติดตั้งผ้า แต่อย่างไรก็ดี การที่ไม่มีการติดตั้งผ้าในเวลากลางคืนทำให้กระบวนการแผ่รังสีในตอนกลางคืนสามารถเป็นไปได้อย่างดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.3 กระบวนการถ่ายเทความร้อนในตอนกลางวันและกลางคืนของกล่องทดลองที่ 1 และ 4 (ติดตั้งผ้าแบบปรับเปลี่ยนได้ระหว่างกลางวันและกลางคืน)



รูปที่ 4.4 กระบวนการถ่ายเทความร้อนในตอนกลางวันและกลางคืนของกล่องทดลองที่ 2 และ 5 (ติดตั้งผ้าแบบติดตาย)



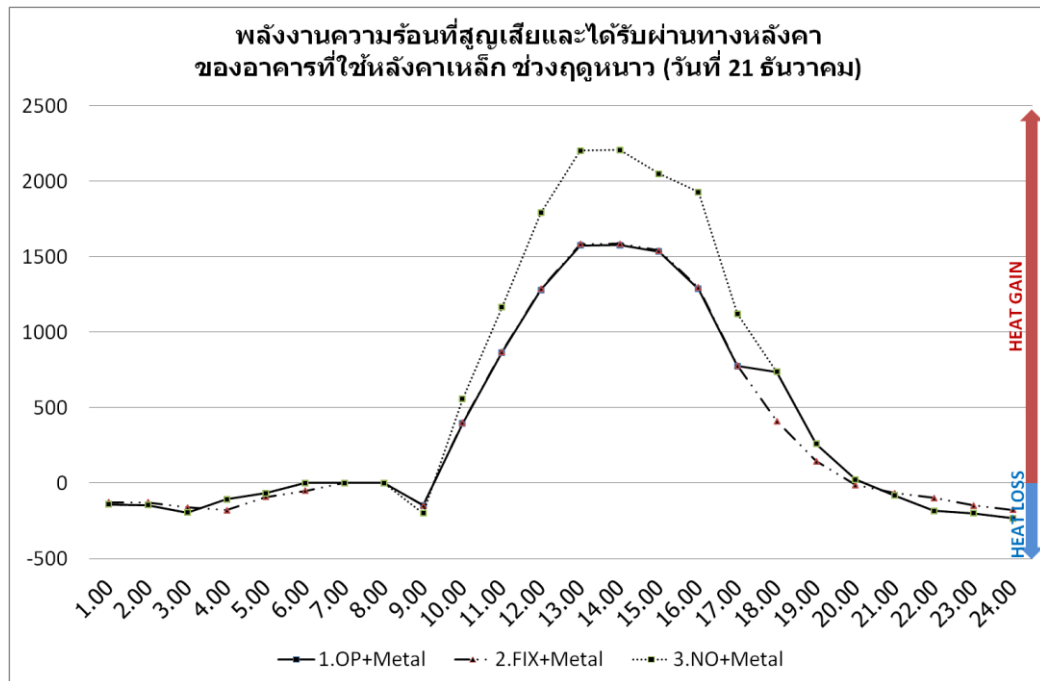
รูปที่ 4.5 กระบวนการถ่ายเทความร้อนในตอนกลางวันและกลางคืนของกล่องทดลองที่ 3 และ 6 (ไม่มีการติดตั้งผ้า)

4.6.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองช่วงที่ 2 (การจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE)

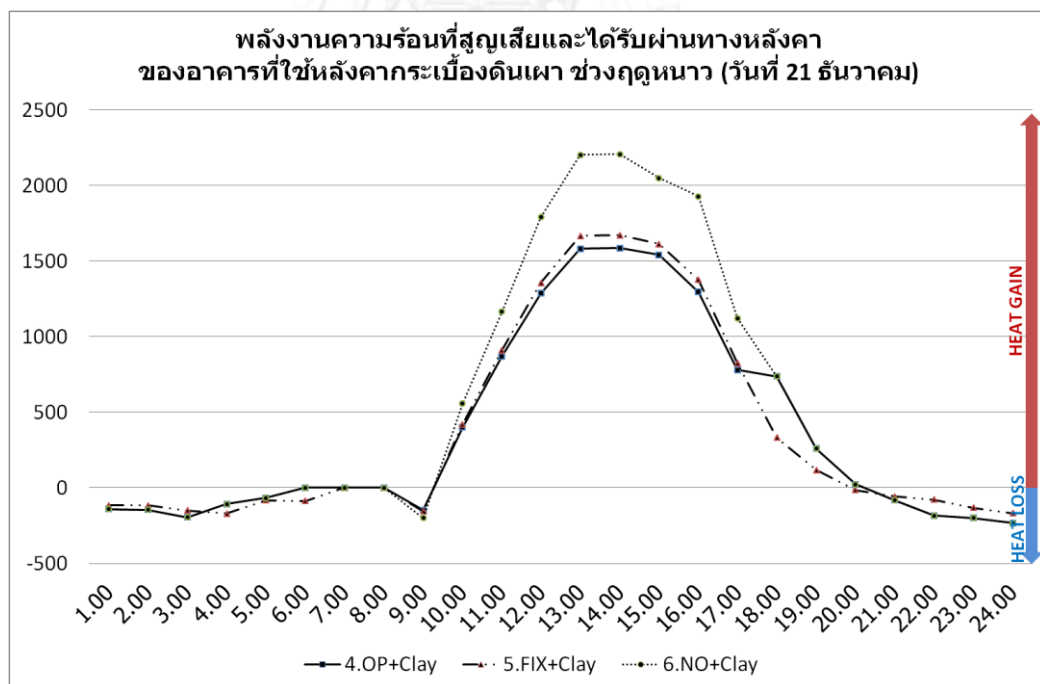
4.6.2.1 วิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณการได้รับความร้อน (Heat gain) และปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อน (Heat loss) ที่แตกต่างกันในฤดูหนาวและฤดูร้อนของอาคารทั้ง 6 กรณี

จากการจำลองการใช้พลังงานรวมตลอดเวลา 7 เดือนที่ทำการศึกษา (แผนภูมิที่ 4.9-4.10) ที่สามารถอธิบายว่า ในฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) แนวโน้มการใช้พลังงานของอาคารที่ใช้ฝ้าเพดานแบบติดตายใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุด อาคารที่ใช้ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานใช้พลังงานโดยรวมรองลงมา และอาคารที่ใช้ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ใช้พลังงานน้อยที่สุด ส่วนในฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) อาคารที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุด อาคารที่ใช้ฝ้าเพดานแบบติดตายและอาคารที่ใช้ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ใช้พลังงานโดยรวมใกล้เคียงกันซึ่งมีค่ารองลงมา ผลการจำลองดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากปริมาณการได้รับความร้อน (Heat gain) และปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อน (Heat loss) ที่แตกต่างกันในฤดูหนาวและฤดูร้อน

จากแผนภูมิที่ 4.17-4.18 แสดงพฤติกรรมการสูญเสียและได้รับพลังงานความร้อนผ่านทางหลังคา ของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็กและหลังคากระเบื้องดินเผาภายใน 1 วันในช่วงฤดูหนาว (21 ธันวาคม) จะเห็นได้ว่า เกิดการได้รับพลังงานความร้อนในช่วงกลางวัน (9.00-20.00) และเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนในช่วงกลางคืน (20.00-9.00) อาคารที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานจะได้รับพลังงานความร้อนมากที่สุดในช่วงกลางวันและสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุดในช่วงกลางคืน อาคารที่ติดตั้งฉนวนแบบติดตายได้รับพลังงานความร้อนน้อยกว่าในช่วงกลางวันและสูญเสียพลังงานความร้อนน้อยกว่าในช่วงกลางคืน ส่วนอาคารที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้มีการได้รับพลังงานความร้อนน้อยกว่าในช่วงกลางวัน (ฝ้าอยู่ในสถานะปิด) และสูญเสียพลังงานความร้อนมากกว่าในช่วงกลางคืน (ฝ้าอยู่ในสถานะเปิด) พฤติกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงกลางคืนลดต่ำเพียงพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีในตอนกลางคืนด้วยการเปิดฝ้าเพดานออกนั้นเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ฝ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้มีแนวโน้มที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในช่วงฤดูหนาว



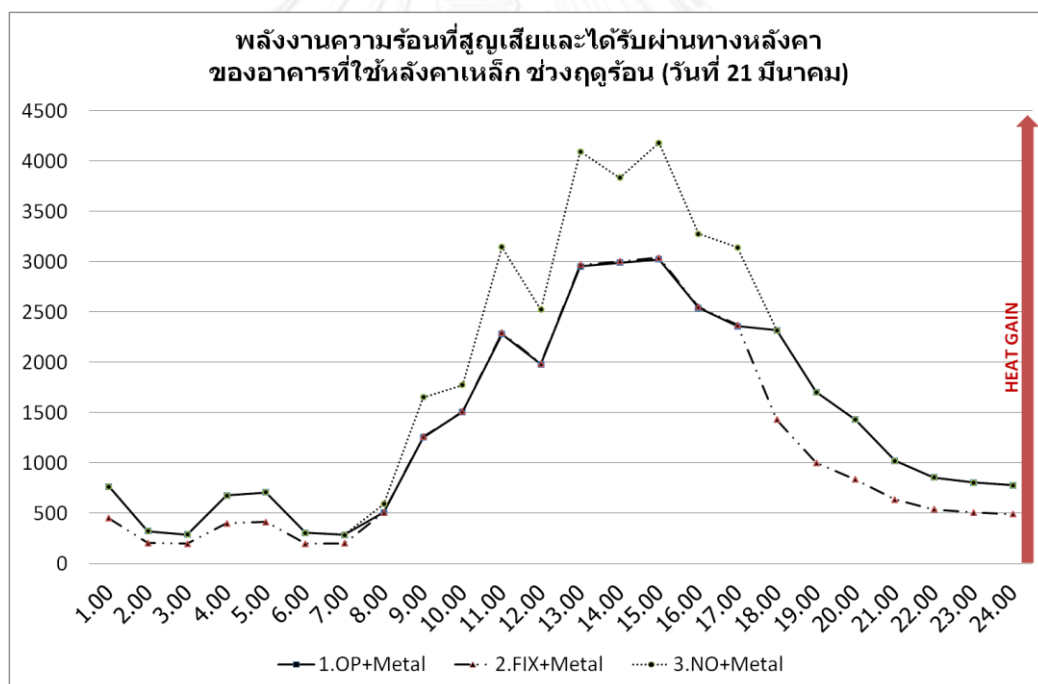
แผนภูมิที่ 4. 15 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)



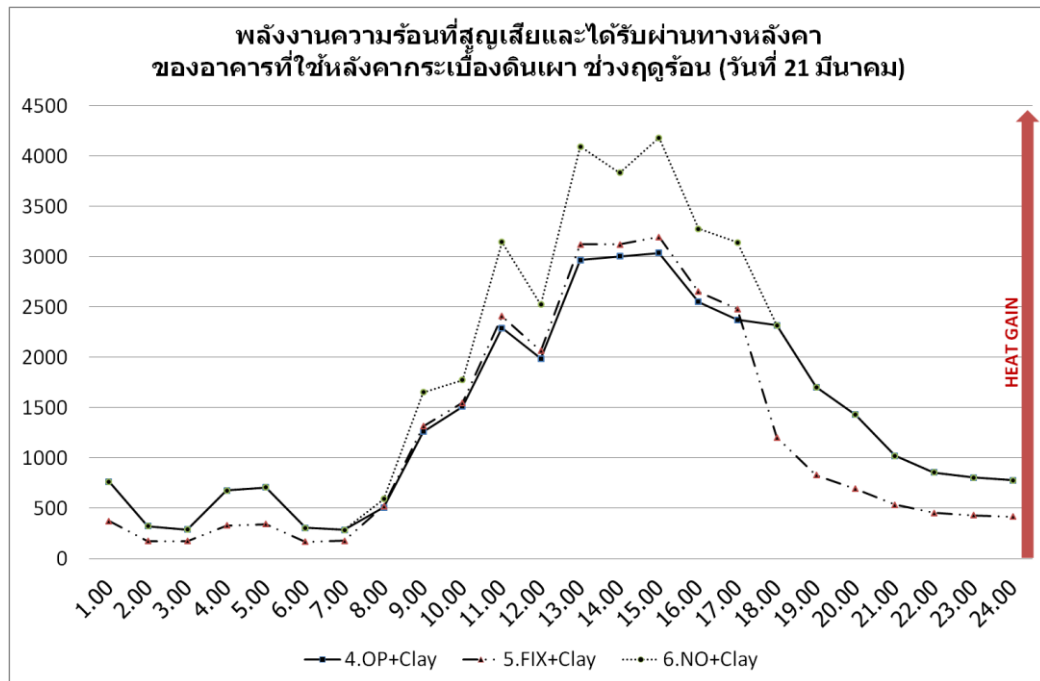
แผนภูมิที่ 4. 16 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)

จากแผนภูมิที่ 4.19-4.20 แสดงพฤติกรรมการสูญเสียและได้รับพลังงานความร้อนผ่านทางหลังคา ของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็กและหลังคากระเบื้องดินเผาภายใน 1 วันในช่วงฤดูร้อน (21

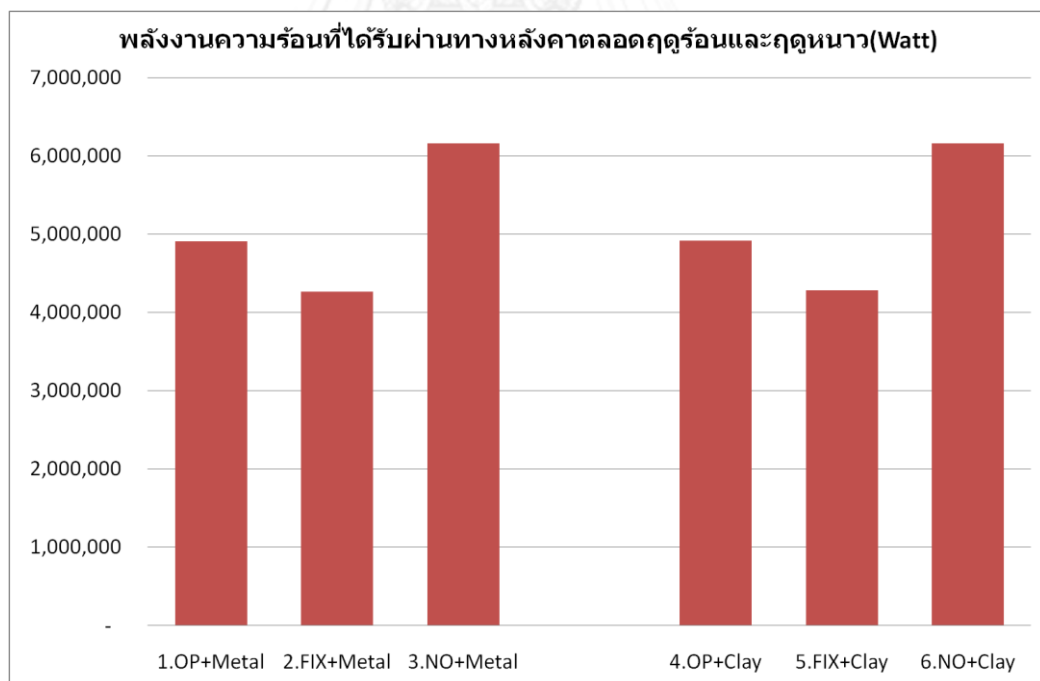
มีนาคม) จะเห็นได้ว่า เกิดการได้รับพลังงานความร้อนทั้งในช่วงกลางวัน (9.00-20.00) และ กลางคืน (20.00-9.00) อาคารที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานจะได้รับพลังงานความร้อนมากที่สุดทั้งในช่วงกลางวัน และและกลางคืน อาคารที่ติดตั้งฉนวนแบบติดตายได้รับพลังงานความร้อนน้อยกว่าทั้งในช่วง กลางวันและกลางคืน ส่วนอาคารที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้มีการได้รับพลังงานความร้อน น้อยกว่าในช่วงกลางวัน (ฝ้าอยู่ในสถานะปิด) แต่ได้รับพลังงานความร้อนมากกว่าในช่วงกลางคืน (ฝ้า อยู่ในสถานะเปิด) พฤติกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงกลางคืนไม่ต่ำ เพียงพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีในตอนกลางคืน ทำให้เมื่อทำการเปิด ฝ้าออกจึงมีการได้รับพลังงานความร้อนมากกว่าการปิดฝ้าไว้ สามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิของอาคารที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ ณ เวลา 18.00 น โดยเกิดการได้รับพลังงาน ความร้อนที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ฝ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้มี แนวโน้มที่จะได้รับปริมาณความร้อนผ่านทางหลังคามากกว่าหลังคาแบบติดตาย ในช่วงฤดูร้อน



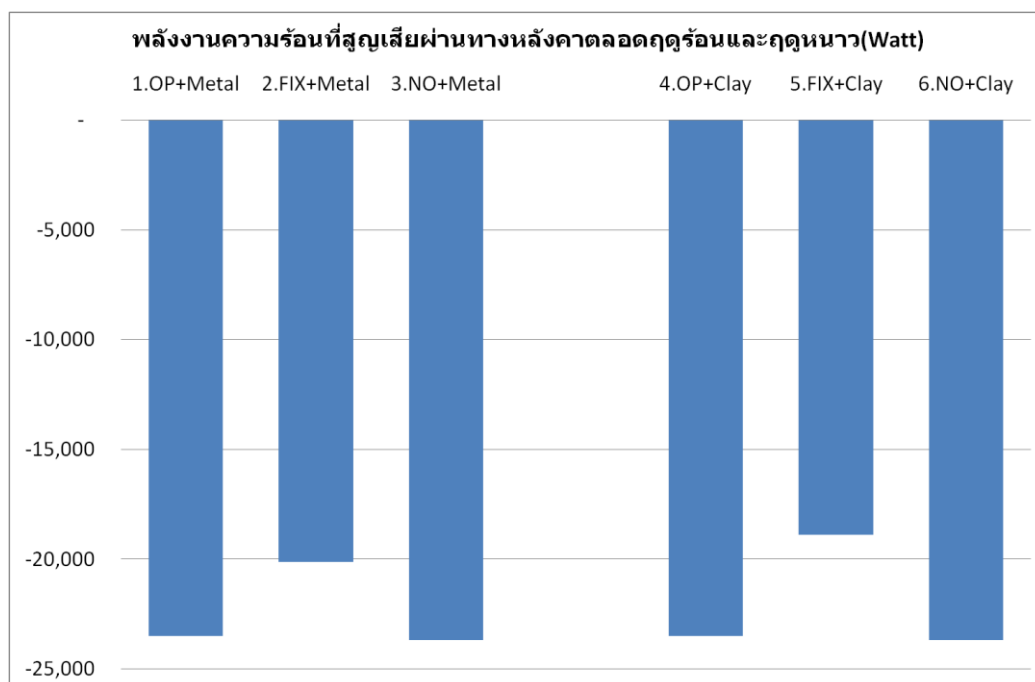
แผนภูมิที่ 4. 17 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)



แผนภูมิที่ 4. 18 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)



แผนภูมิที่ 4. 19 ปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้รับผ่านทางหลังคาโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน-พฤษภาคม) (watt)

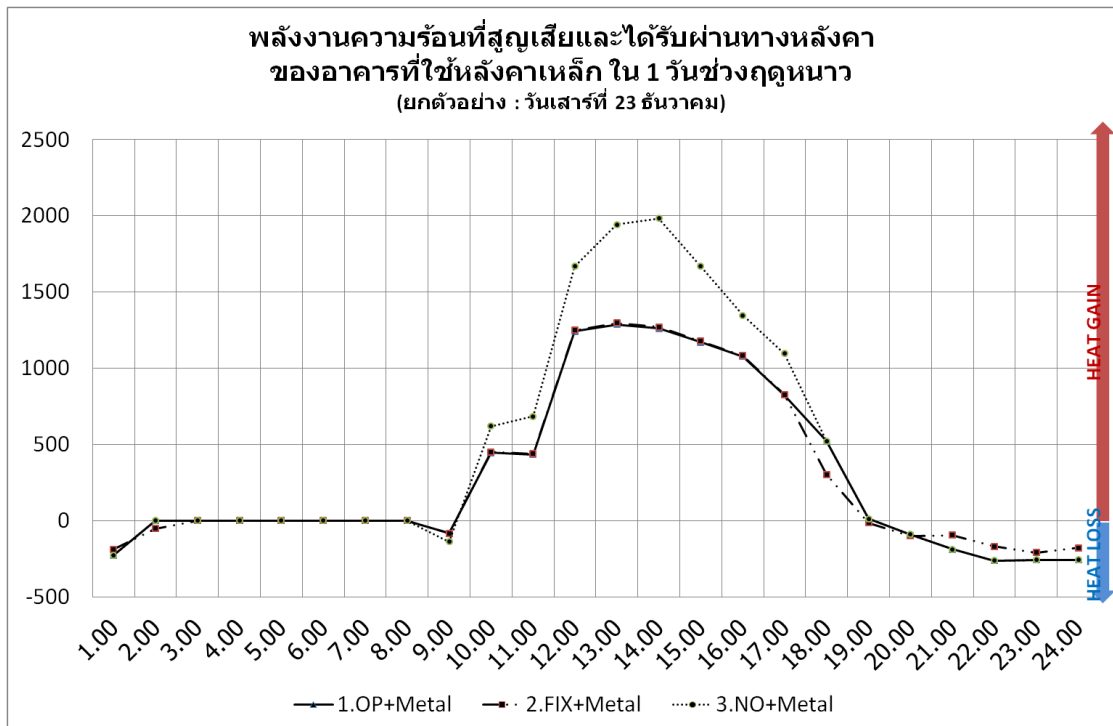


แผนภูมิที่ 4. 20 ปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียผ่านทางหลังคาโดยรวมภายใน 7 เดือนที่ทำการศึกษา (พฤศจิกายน-พฤษภาคม) (watt)

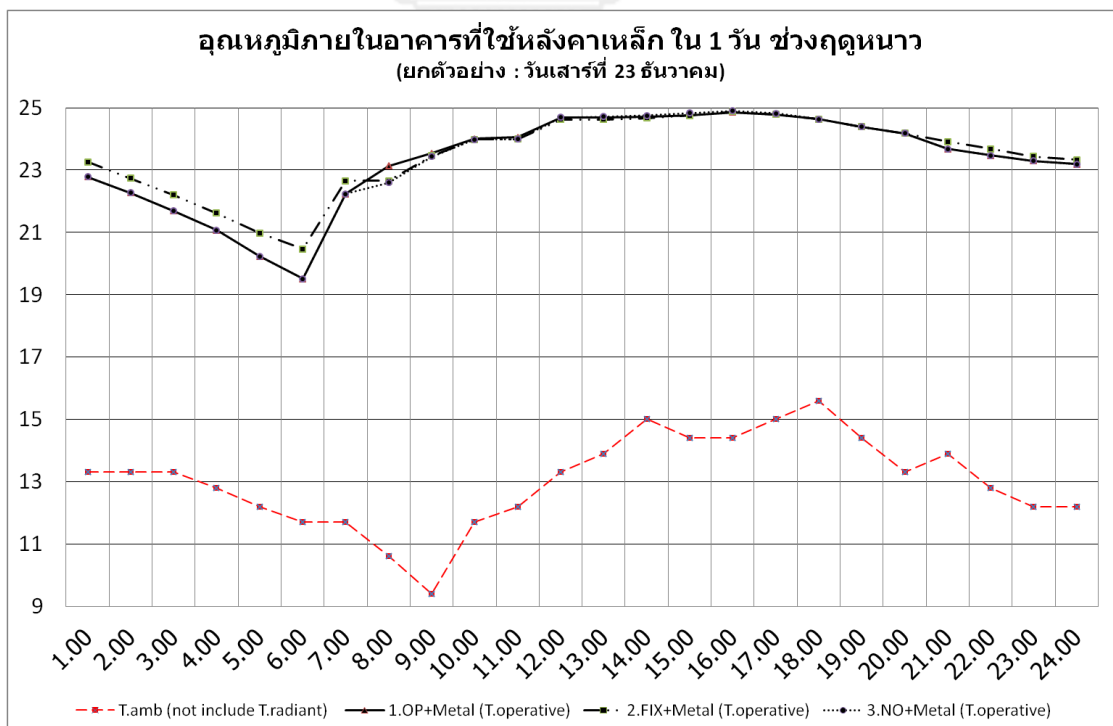
4.5.2.2 วิเคราะห์ภาพรวมการใช้พลังงานรวม, การใช้พลังงานในระบบทำความเย็น, อุณหภูมิ และ ปริมาณการได้รับและสูญเสียพลังงานความร้อน ที่เกิดขึ้นภายใน 1 วัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เพื่อการประยุกต์สำหรับการใช้งานจริง

ทำการยกตัวอย่างพฤติกรรมการใช้พลังงานรวม, การใช้พลังงานในระบบทำความเย็น, อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในอาคาร และ ปริมาณการได้รับและสูญเสียพลังงานความร้อน โดยเลือกการจำลองอาคารที่ใช้หลังคาเหล็กในวันเสาร์ที่ 23 ธันวาคม (ฤดูหนาว) และวันเสาร์ที่ 25 มีนาคม (ฤดูร้อน) มาอธิบายพฤติกรรมดังกล่าว กำหนดการใช้งานเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดทั้งวันเนื่องจากเป็นวันหยุด (เพื่ออธิบายแผนภูมิได้อย่างชัดเจนภายใน 1 วัน) ดังแสดงผลในแผนภูมิที่ 4.21-4.28

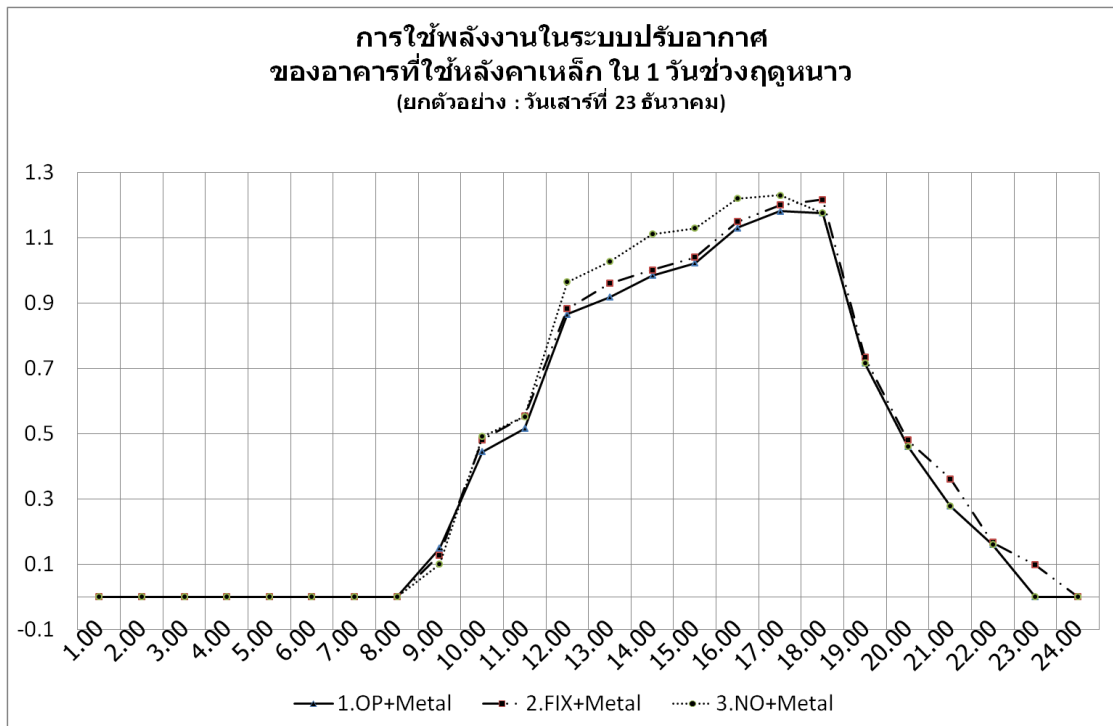
การจำลองอาคารที่ใช้หลังคาเหล็กในวันเสาร์ที่ 23 ธันวาคม (ฤดูหนาว)



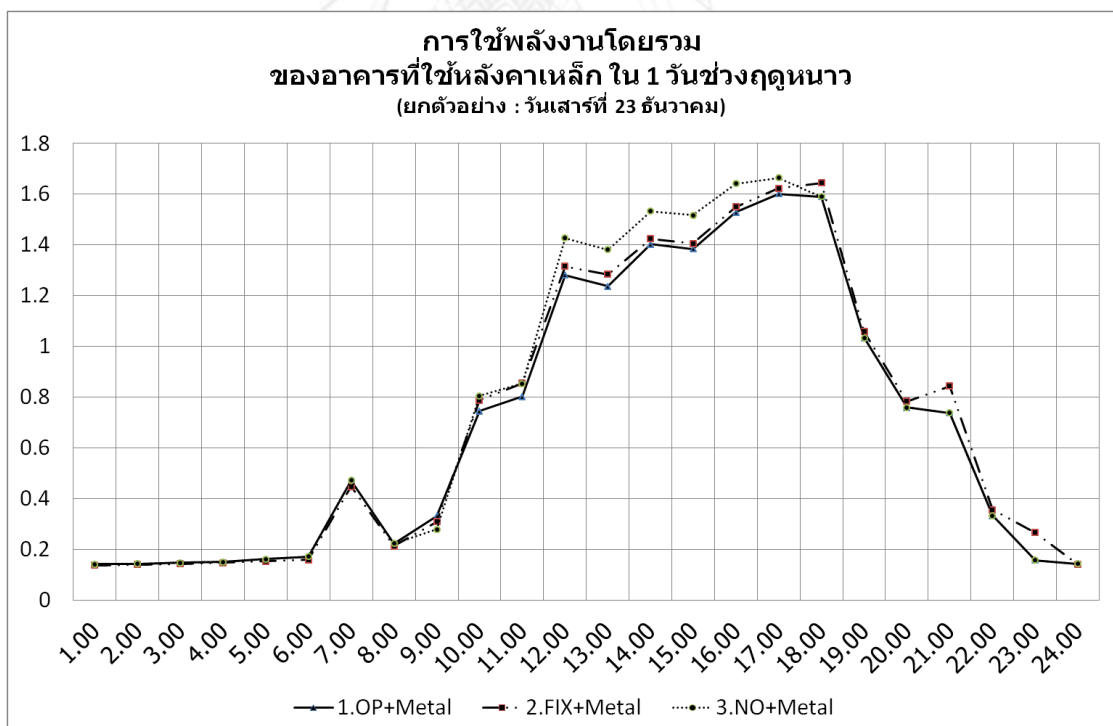
แผนภูมิที่ 4. 21 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)



แผนภูมิที่ 4. 22 อุณหภูมิภายในอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก ใน 1 วัน ช่วงฤดูหนาว (°C)



แผนภูมิที่ 4. 23 การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็กใน 1 วันช่วงฤดูหนาว (kW)



แผนภูมิที่ 4. 24 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก ใน 1 วันช่วงฤดูหนาว (kW)

เวลา 8.00-20.00 - HEAT GAIN

- ในฤดูหนาว ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ควรปิดฝ้าเวลาประมาณ 8.30-9.00 น. เนื่องจากหลังเวลา 9.00 ปริมาณการได้รับความร้อนผ่านทางหลังคาจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (แผนภูมิที่ 4.21) เช่นเดียวกับอุณหภูมิภายนอก (แผนภูมิที่ 4.22) จึงควรปิดฝ้าเพดานเพื่อป้องกันความร้อนจากภายนอก และ เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้แก่อาคาร

- ในฤดูหนาว ช่วงกลางวัน การมีฝ้าเพดานทำให้อาคารประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นได้มากกว่าการไม่มีฝ้าเพดาน หากพิจารณาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในอาคารที่ติดตั้งฝ้าทั้ง 3 แบบจะพบว่ามียุณหภูมิเท่ากันที่ 25 องศาเซลเซียส (แผนภูมิที่ 4.22) แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการทำความเย็นด้วยเครื่องปรับอากาศ ซึ่งหากทำการวิเคราะห์จะพบว่า ในช่วงกลางวัน อาคารที่ไม่มีฝ้าเพดานได้รับความร้อนเข้ามามากกว่าอาคารที่มีฝ้าเพดาน (แผนภูมิที่ 4.21) จึงเป็นผลทำให้อาคารที่ไม่มีฝ้าเพดานต้องใช้พลังงานในการทำความเย็นมากกว่าอาคารที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัวและฝ้าเพดานที่ปรับเปลี่ยนได้ซึ่งอยู่ในสถานะปิดในการทำความเย็นให้แก่อาคาร (แผนภูมิที่ 4.24)

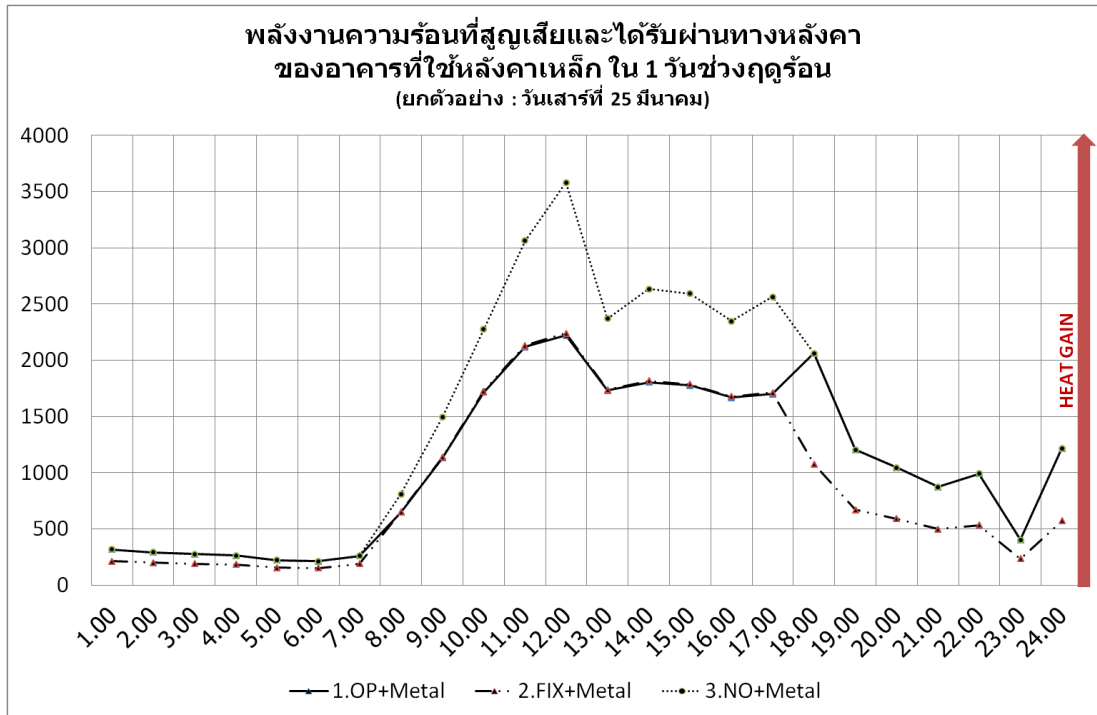
- ในฤดูหนาว ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ยังไม่ควรเปิดฝ้า ณ 18.00 น. จากการตั้งค่าการทดลองเบื้องต้นให้มีการเปิดฝ้าเพดาน ณ เวลา 18.00 น. พบว่าเป็นเวลาที่เร็วเกินไป โดยสามารถอธิบายได้จากแผนภูมิที่ 4.21 พบว่าเวลา 18.00-20.00 น. ยังมีการได้รับความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร อาคารที่ไม่มีฝ้าเพดานจะได้รับความร้อนมากกว่าอาคารที่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน ดังนั้นจึงยังไม่ควรเปิดฝ้าออก โดยทั้งนี้ อุณหภูมิภายในอาคารและการใช้พลังงานในระบบทำความเย็นของอาคารในกรณีต่างๆมีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิภายนอกที่ลดลง

เวลา 20.00 -8.00 น. HEAT LOSS

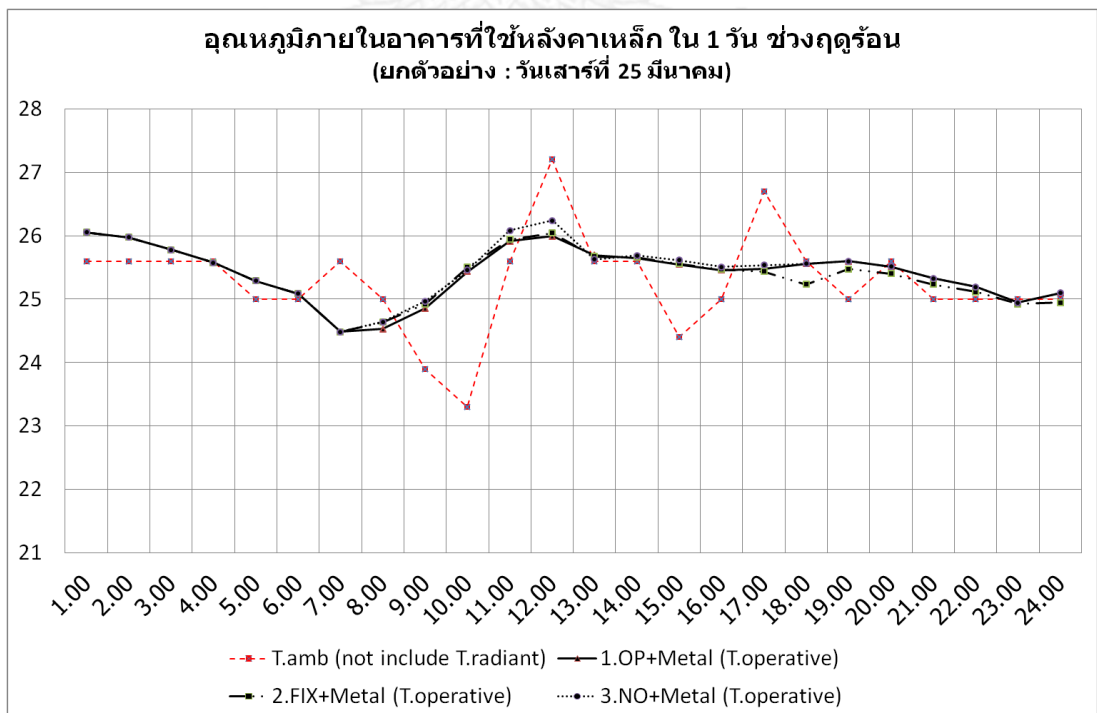
- ในฤดูหนาว ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนควรเปิดฝ้าเวลาประมาณ 20.00 น. เนื่องจากหลังเวลา 20.00 น. เกิดกระบวนการการสูญเสียความร้อน (แผนภูมิที่ 4.21) จึงสามารถเปิดฝ้าเพดานออกเพื่อระบายความร้อนและลดปริมาณการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้แก่อาคาร

- ในฤดูหนาว การไม่มีฝ้าเพดานทำให้อาคารประหยัดพลังงานในการทำความเย็นได้มากกว่าการมีฝ้าในตอนกลางคืน หากพิจารณาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในอาคารที่ติดตั้งฝ้าทั้ง 3 แบบจะพบว่าอาคารที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัวมีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่าอาคารที่ไม่มีฝ้าติดตั้งฝ้าเพดานและอาคารที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ซึ่งอยู่ในสถานะเปิด (แผนภูมิที่ 4.21)

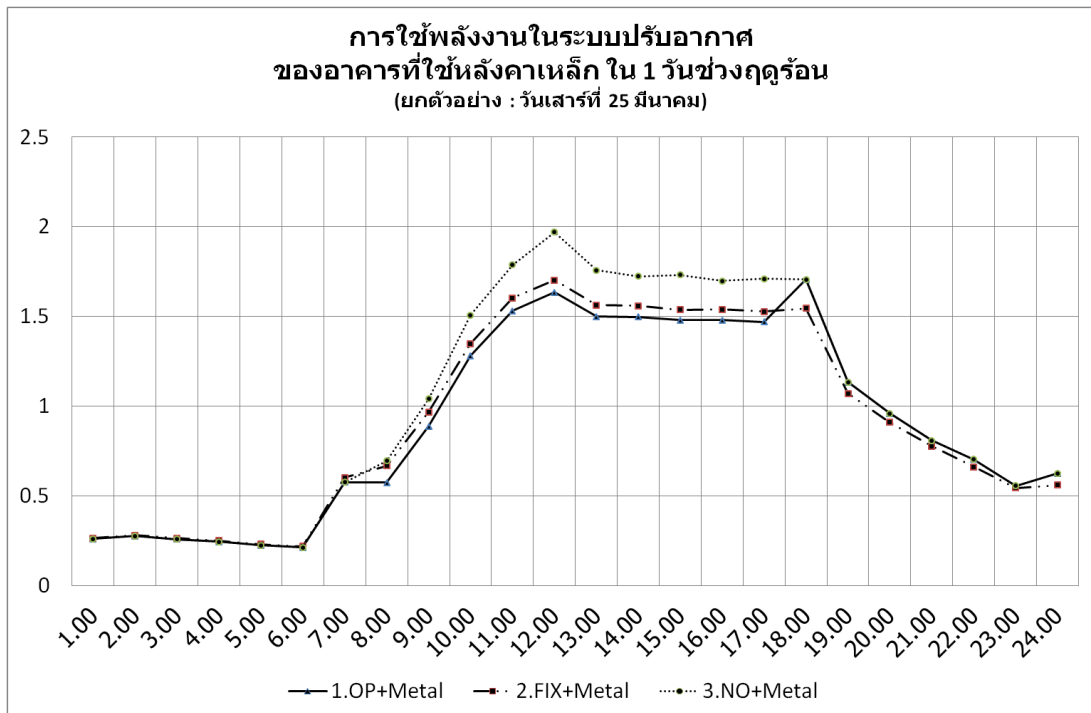
ทำให้อาคารที่มีฝ้าเพดานมีอุณหภูมิที่สูงกว่า อีกทั้งใช้พลังงานในระบบทำความเย็นมากกว่าอาคารที่ไม่มีฝ้า (แผนภูมิที่ 4.23)



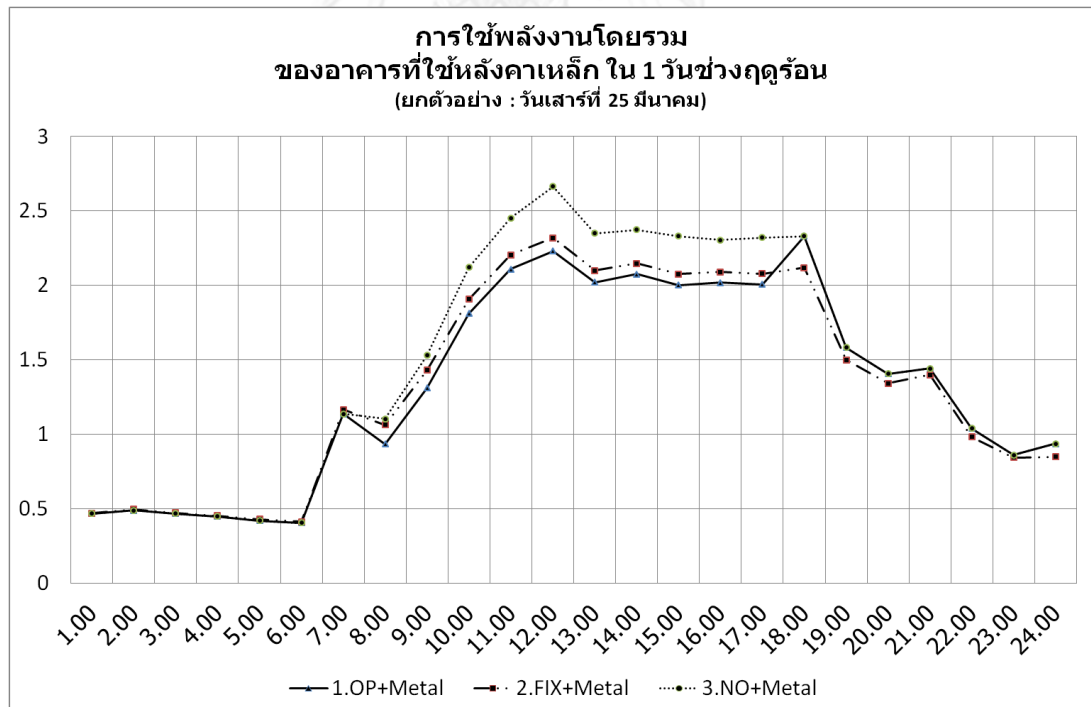
แผนภูมิที่ 4. 25 พลังงานความร้อนที่สูญเสียและได้รับผ่านทางหลังคา (watt)



แผนภูมิที่ 4. 26 อุณหภูมิภายในอาคาร ของอาคารใช้หลังคาเหล็ก ใน 1 วัน ช่วงฤดูร้อน (°C)



แผนภูมิที่ 4. 27 การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก ใน 1 วันช่วงฤดูร้อน (kW)



แผนภูมิที่ 4. 28 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่ใช้หลังคาเหล็ก ใน 1 วันช่วงฤดูร้อน (kW)

เวลา 1.00-24.00 - HEAT GAIN

- ในฤดูร้อน เหมาะสมกับการใช้ฝ้าเพดานแบบตายตัว (หรือฝ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ที่อยู่ในสถานะปิดตลอดเวลา) เนื่องจากมีการได้รับความร้อนจากภายนอกตลอดวัน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.25 ณ เวลา 7.00 น อาคารที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานมีการได้รับความร้อนสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งมากกว่าอาคารที่มีการติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัว และฝ้าเพดานที่ปรับเปลี่ยนได้ที่อยู่ในสถานะปิด ส่วนอาคารที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัวได้รับความร้อนผ่านทางหลังคาน้อยกว่าตลอดทั้งวัน

- ในฤดูร้อน ทั้งกลางวันและกลางคืน การมีฝ้าเพดานทำให้อาคารประหยัดพลังงานในการทำความเย็นได้มากกว่าการไม่มีฝ้าเพดาน หากพิจารณาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในอาคารที่ติดตั้งฝ้าทั้ง 3 แบบจะพบว่า มีอุณหภูมิเท่ากัน (แผนภูมิที่ 4.26) แต่ทั้งนี้ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการทำความเย็นด้วยเครื่องปรับอากาศ โดยอาคารที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานที่ได้รับความร้อนจากภายนอกมากกว่า จะมีการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคารมากกว่าอาคารที่ติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัว (แผนภูมิที่ 4.27)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองด้วยกล่องทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีในเวลากลางคืน ร่วมกับการติดตั้งอุปกรณ์ฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ (Operable Ceiling) ในประเทศไทย และทำการเปรียบเทียบแนวโน้มของปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ภายในระหว่างกรณีที่มีการติดตั้งฝ้าเพดานแบบปรับเปลี่ยนได้ (Operable Ceiling) มีการติดตั้งฝ้าเพดานแบบตายตัว (Fixed Ceiling) และไม่มีการติดตั้งฝ้าภายใน (No Ceiling) ร่วมกับการใช้วัสดุหลังคากระเบื้อง (Clay tile) และวัสดุหลังคาโลหะ (Metal Sheet) รวมทั้งการจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานภายในอาคารและศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของอาคารกรณีศึกษาต่างๆ สามารถทำการสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลองจากการทดลองช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2

จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 หรือการทดลองด้วยกล่องทดลอง (ทำการทดลองในฤดูหนาว) สามารถสรุปได้ว่า ในสภาวะการจำลองอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ ฝ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่างกลางวันและกลางคืน สามารถป้องกันความร้อนได้ดีในตอนกลางวันและเพิ่มอัตราการระบายความร้อนโดยการแผ่รังสีในตอนกลางคืนได้ตามสมมติฐาน โดยสามารถอธิบายได้จากแผนภูมิที่ 4.1-4.4 แสดงผลการเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิ ณ เวลาต่างๆของวันจากกล่องทดลอง พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้จากตำแหน่งกลางกล่องทดลองและตำแหน่งช่องลมออกของกล่องทดลองที่ติดตั้งฝ้าที่สามารถปรับเปลี่ยนได้มีแนวโน้มที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จากตำแหน่งเดียวกันของกล่องทดลองที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าในตอนกลางวัน และจากกล่องทดลองที่ติดตั้งฝ้าแบบติดตายในเวลากลางคืน ซึ่งอุณหภูมิที่วัดได้ดังกล่าวเป็นไปในแนวโน้มนเดียวกันทั้งจากกล่องทดลองที่ใช้หลังคาเหล็ก และกล่องทดลองที่ใช้หลังคากระเบื้องดินเผา ดังนั้น ฝ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่างกลางวันและกลางคืนนั้นจึงนับเป็นการรวมข้อดีของการติดตั้งฝ้าแบบติดตายและ การไม่ติดตั้งฝ้าไว้ในระบบเดียว อีกทั้งเป็นการขจัดข้อเสียของลักษณะการติดตั้งฝ้าทั้งสองชนิด นั่นคือ การกักเก็บและสะสมความร้อนของฝ้าแบบตายตัวในตอนกลางวัน และ การได้รับปริมาณความร้อนโดยตรงของการไม่ติดตั้งฝ้าในตอนกลางวัน หรืออาจกล่าวได้ว่า ระบบฝ้าที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่างกลางวันและกลางคืนนั้นทำให้อาคารเสมือนสามารถปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนไปมาให้มีความเหมาะสมตามช่วงเวลาและสภาพแสงอาทิตย์ในแต่ละวันได้ ซึ่งเอื้อประโยชน์ในการรักษาและทำ ความเย็นแก่พื้นที่ภายในอาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศได้เป็นอย่างดี

จากการทดลองในขั้นตอนที่ 2 หรือขั้นตอนการจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE4.1 (สนใจศึกษาเฉพาะช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน) สามารถสรุปได้ว่าในสภาวะการจำลองอาคารที่มีการปรับอากาศ ฝ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่างกลางวันและกลางคืน สามารถป้องกันความร้อนได้ดีในตอนกลางวัน อีกทั้งเพิ่มอัตราการระบายความร้อนโดยการ

แผงรังสีในตอนกลางคืนได้ในฤดูหนาว (ในช่วงกลางคืนเกิดกระบวนการสูญเสียความร้อน - heat loss) จากการวิเคราะห์ ควรทำการปิดผ้าเวลาประมาณ 8.30-9.00 น. และเปิดผ้าออกเวลาประมาณ 20.00 น. เพื่อการได้รับพลังงานความร้อนจากภายนอกน้อยที่สุดในช่วงกลางวัน และการสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุดในช่วงกลางคืน ซึ่งเป็นผลทำให้มีการใช้พลังงานในระบบทำความเย็นน้อยที่สุด

ในขณะเดียวกัน สภาวะการจำลองอาคารที่มีการปรับอากาศ ผ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่างกลางวันและกลางคืน ไม่สามารถป้องกันความร้อนได้ในช่วงกลางคืนในฤดูร้อน (ในช่วงกลางคืนยังคงเกิดกระบวนการได้รับความร้อน - heat gain) จากการวิเคราะห์ ในฤดูร้อนการใช้ผ้าเพดานแบบตายตัวจะทำให้สามารถป้องกันการได้รับความร้อนจากภายนอกมากกว่า ซึ่งเป็นผลทำให้มีการใช้พลังงานในระบบทำความเย็นได้น้อยกว่า ข้อสรุปดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากความแตกต่างของพฤติกรรมที่ได้รับและสูญเสียความร้อนใน 1 วันของฤดูหนาวและฤดูร้อน , ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น และความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานในระบบทำความเย็น ดังแผนภูมิที่ 4.15-4.28 ทั้งนี้ อาคารที่ใช้หลังคากระเบื้องดินเผามีแนวโน้มในการใช้พลังงานที่สูงกว่าหลังคาเหล็กเมื่อเปรียบเทียบการใช้ผ้าในลักษณะเดียวกัน

5.2 สรุปแนวทางการนำไปใช้ในอาคารจริง

จากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งผ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ในอาคารมีแนวโน้มที่มีความเหมาะสมในฤดูหนาว นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง กล่าวคือผู้ใช้อาคารสามารถปรับเปลี่ยนสถานะของผ้าเพดานได้เองตามสภาวะการเปิดหรือปิดเครื่องปรับอากาศ รวมทั้งขึ้นกับช่วงเวลาต่างๆของวันได้ด้วยตนเอง เช่น **ช่วงกลางวัน** หากไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ ก็สามารถปรับผ้าเพดานให้อยู่ในสถานะปิดเพื่อเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ส่งผ่านมาจากหลังคามีให้เข้าสู่ภายในได้ หรือหากมีการเปิดเครื่องปรับอากาศ การปรับผ้าให้อยู่ในสถานะปิดก็สามารถทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากภายนอกรวมทั้งกักเก็บความเย็นไว้ในพื้นที่ภายใน ซึ่งเป็นการช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานและประหยัดค่าไฟอีกด้วย ในขณะเดียวกัน **ช่วงกลางคืน** หากอากาศภายนอกลดต่ำเพียงพอและผู้ใช้ภายในอาคารไม่ต้องการเปิดเครื่องปรับอากาศ ก็สามารถปรับผ้าให้อยู่ในสถานะเปิดออกเพื่อสนับสนุนกระบวนการแผ่รังสีในตอนกลางคืน ส่งผลให้พื้นที่ภายในสามารถระบายความร้อนที่สะสมอยู่ ออกได้ แต่หากอากาศภายนอกไม่ลดต่ำเพียงพอและผู้ใช้อาคารต้องการเปิดเครื่องปรับอากาศ ก็สามารถปรับผ้าให้อยู่ในสถานะปิดเพื่อป้องกันความร้อนจากภายนอกรวมทั้งกักเก็บความเย็นไว้ในพื้นที่ภายใน ซึ่งเป็นการช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานและประหยัดค่าไฟได้เช่นเดียวกัน ทั้งนี้แนวโน้มดังกล่าวเป็นการสรุปผลจากการทดลองในฤดูหนาวและฤดูร้อนที่อากาศมีความชื้นต่ำเท่านั้น มิได้ครอบคลุมถึงการทดลองในฤดูฝนหรือสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง

จากที่กล่าวมานี้สามารถสรุปได้ว่า การติดตั้งผ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้มีศักยภาพที่จะสามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในอาคารจริงในสภาพอากาศที่มีความเหมาะสม (เช่น ในฤดู

หนาวของประเทศไทย) นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นต่อทั้งพฤติกรรมของผู้ใช้อาคารเพื่อการปรับเปลี่ยนลักษณะการใช้งานตามสภาพอากาศที่มีความแตกต่างกันในแต่ละเวลา ของแต่ละวัน ในแต่ละปี ทำให้สามารถประหยัดพลังงานและค่าไฟ รวมทั้งสามารถสร้างสภาวะน่าสบายที่เหมาะสมให้แก่บริเวณภายในอาคารได้

5.3 สรุปความรู้ที่เกิดขึ้นใหม่

การศึกษาและเก็บข้อมูลอุณหภูมิของระบบฝ้าที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่างกลางวันและกลางคืนนั้นเป็นระบบที่ยังไม่มีการทำการวิจัยในวงกว้างนัก อีกทั้งยังไม่เคยมีการทดลองในประเทศไทยมาก่อน การวิจัยชิ้นนี้ยังเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของของระบบฝ้าที่สามารถปรับเปลี่ยนได้กับลักษณะฝ้าอาคารที่มีการใช้ทั่วไปในปัจจุบัน คือการติดตั้งฝ้าแบบติดตายและการไม่ติดตั้งฝ้าเพดาน ควบคู่กับการเปรียบเทียบในการใช้กับหลังคาเหล็กและหลังคากระเบื้องดินเผา ซึ่งทำให้การรายงานผลทดลองนั้นสามารถเห็นแนวโน้มเป็นภาพที่ชัดเจนมากขึ้น

นอกจากนี้ การวิจัยชิ้นนี้ยังได้ทำการทดลองทั้งการเก็บข้อมูลจากกล่องทดลอง และการจำลองอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.1 ซึ่งเสมือนเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฝ้าเพดานที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่างกลางวันและกลางคืนในกรณีอาคารที่ไม่ปรับอากาศ และ กรณีอาคารที่มีการปรับอากาศ ทำให้สามารถทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานในสภาวะอาคารที่แตกต่างกันได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยชิ้นนี้เป็นการทดลองซึ่งทำการเก็บข้อมูลด้วยกล่องทดลองที่ทำการทดสอบในฤดูหนาว และการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สนใจศึกษาในฤดูหนาวและฤดูร้อนเท่านั้น (เนื่องจากเป็นฤดูที่อากาศมีความชื้นต่ำ ซึ่งมีแนวโน้มทำให้กระบวนการแผ่รังสีในช่วงกลางคืนสามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ) ดังนั้นการทดลองในช่วงที่อากาศมีความชื้นสูงเช่นฤดูฝน รวมทั้งการวิจัยในลักษณะทำการเก็บข้อมูลภายในอาคารจริง จึงเป็นการวิจัยที่มีความน่าสนใจและสมควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำมากขึ้น

รายการอ้างอิง

Agrawal P. (1989). "A review of passive systems for natural heating and cooling of buildings. Solar & Wind Technology " (Energy).

Akbari H., R. L., Taha H., (2003). "Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos." (Landscape Urban Plan).

Amer E. (2006). "Passive options for solar cooling of buildings in arid areas." (Energy).

Fardeheb F. (1987). Natural cooling techniques in hot arid regions of developing countries, Biennial Congress of the International Solar Energy Society.

Givoni B. (1977). "Solar heating and night radiation cooling by a roof radiation trap." (Energy and Buildings).

Givoni B. (1979). Passive cooling of buildings by natural energies, International Center for Theoretical Physics.

Givoni B. (1982). "Review and evaluation cooling by longwave radiation." Passive Solar Journal.

Givoni B., L. R. P. (2002). The Effect of Heat Gain on the Performance of a Radiant Cooling System. PLEA 2002 Conference (Passive and Low Energy Architecture), France.

Givoni B., L. R. P. (2002). Modeling a Radiant Cooling Test Cell with Different Ua Values. PLEA 2002 Conference (Passive and Low Energy Architecture), Toulouse, France.

Givoni B., L. R. P. (2002). Modelling Radiant Cooling System for Developing Countries, UCLA, Los Angeles.

Hassid S., S. M., Papanikolaou M., Linardi A., Klitsikas N., Georgakis C., (2000). "The effect of the Athens heat island on air conditioning load."

Khedari J., W. J., Thepa S., Hirunlabh J., (1999). Field investigation of night radiation cooling under tropical climate. Energy Technology Bangkok, Thailand, School of Energy and Materials, King Mongkut's University of Technology

Kreith F, K. J. (1978). Principles of solar engineering. Washington, McGraw-Hill Book

Orel B., G. M., Krainer ., (1993). "Radiative cooling efficiency of white pigment paints." (Solar Energy).

Santamouris M., P. M., Livada I., Koronakis I., Georgakis C., Argiriou A., (2001). "On the impact of urban climate to the energy consumption of buildings." (Solar Energy).

Santamouris M., P. M., Mihalakakou G., (2007). "Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. Climatic Change ".

Suehrcke H., P. E., Selby N., (2008). "Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate." (Energy).

คำรน สุทธิ. (2554). ผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย. สถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

دنุสรณ์ บัวจจร. (2554). การพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร. สถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตร., ร. ธ. จ. (2550). การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร.

พรณินทร์ สุขเกษม. (2555). การศึกษาบ้านในชุมชนแออัดเพื่อสร้างแนวทางการออกแบบ. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.





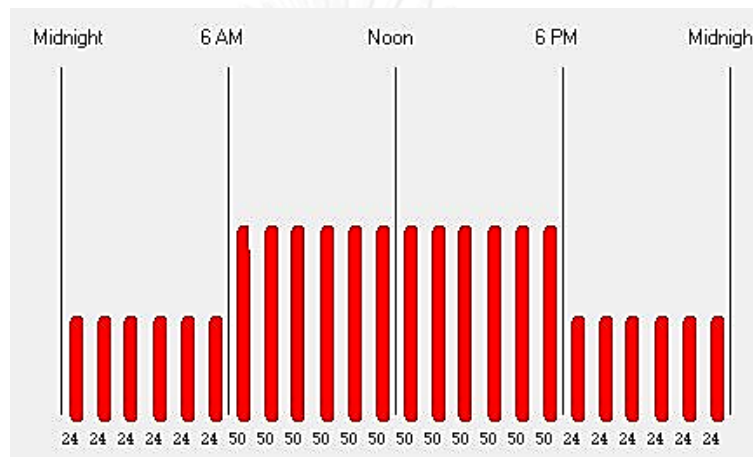
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

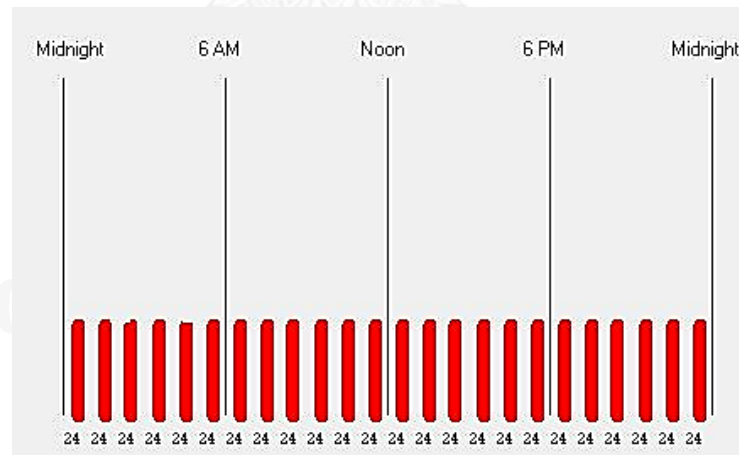
ก. การตั้งค่าระบบต่างๆในการจำลองด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 กรณีอาคารบ้านพักอาศัย (Time Schedule)

การตั้งค่าเวลางานระบบของอาคารกรณีศึกษา ในการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 ได้อ้างอิงการตั้งค่าต่างๆตามงานวิจัยของ (دنุสรณ์ บัวขจร. 2554) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

i. การตั้งค่าระบบปรับอากาศ (พื้นที่ห้องนอนและห้องนั่งเล่น)

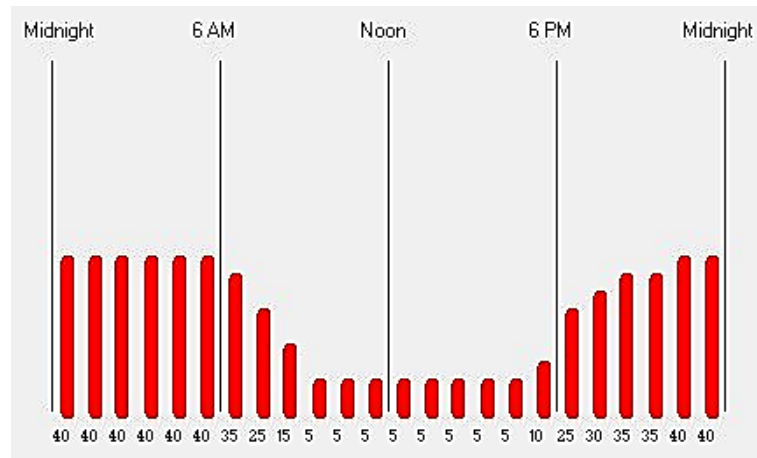


การตั้งค่าการทำงานของระบบปรับอากาศวันจันทร์ – เสาร์

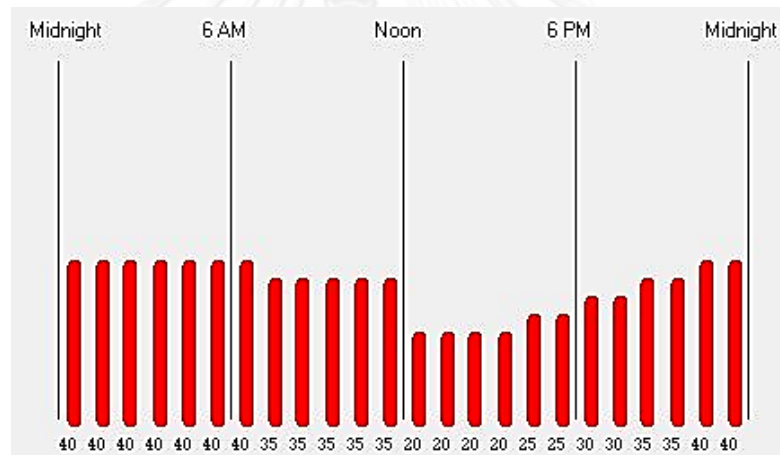


การตั้งค่าการทำงานของระบบปรับอากาศวันอาทิตย์

ii. การตั้งค่าระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (พื้นที่ห้องนอนและห้องนั่งเล่น)

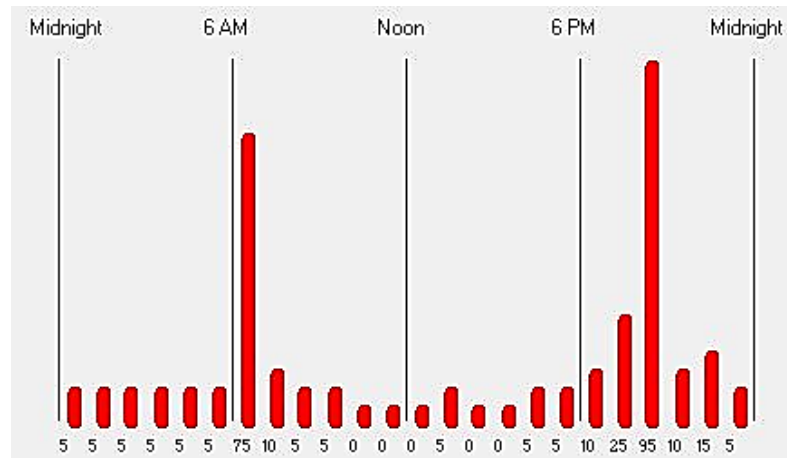


การตั้งค่าการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างวันจันทร์ - ศุกร์

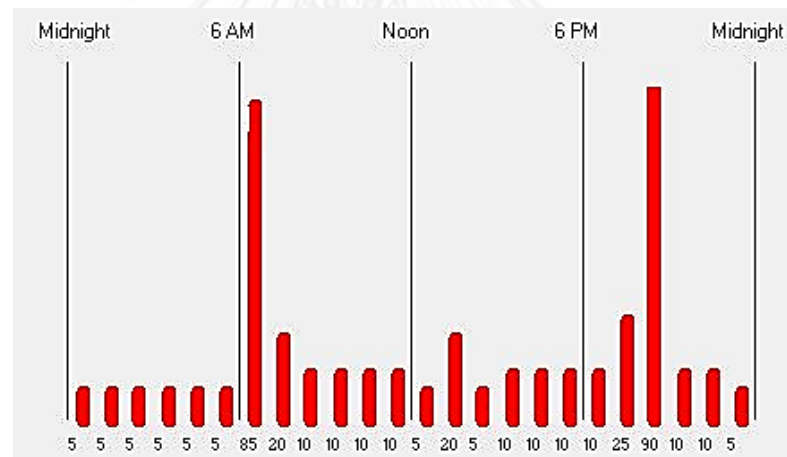


การตั้งค่าการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างวันเสาร์ - อาทิตย์

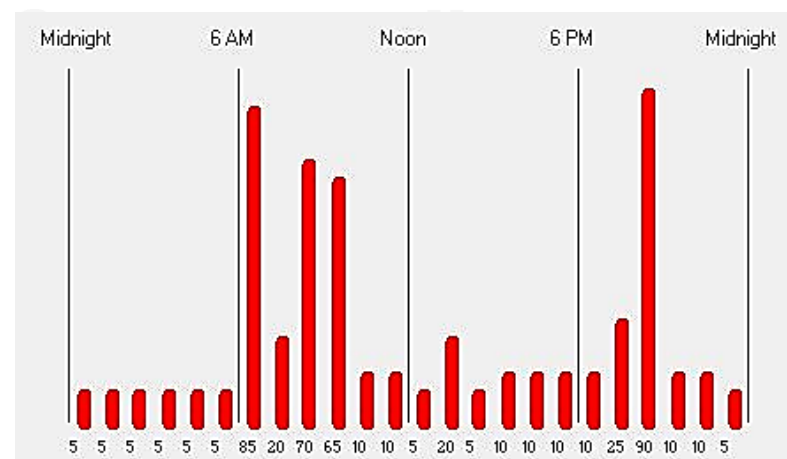
iii. การตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร (พื้นที่ห้องนอนและห้องนั่งเล่น)



การตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันจันทร์ – ศุกร์

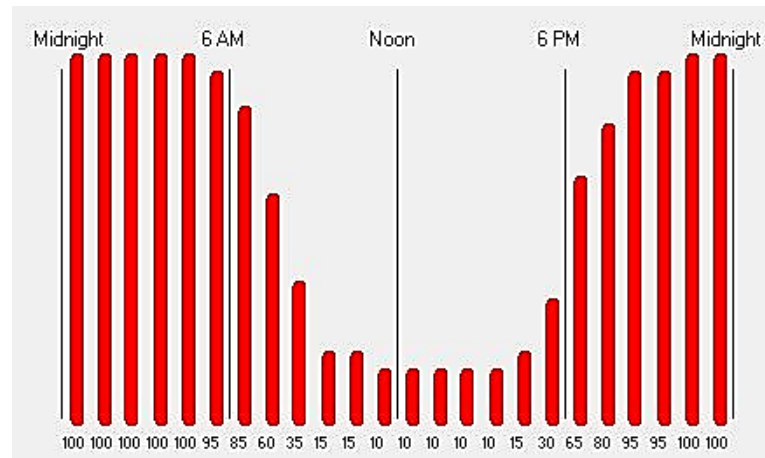


การตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันเสาร์

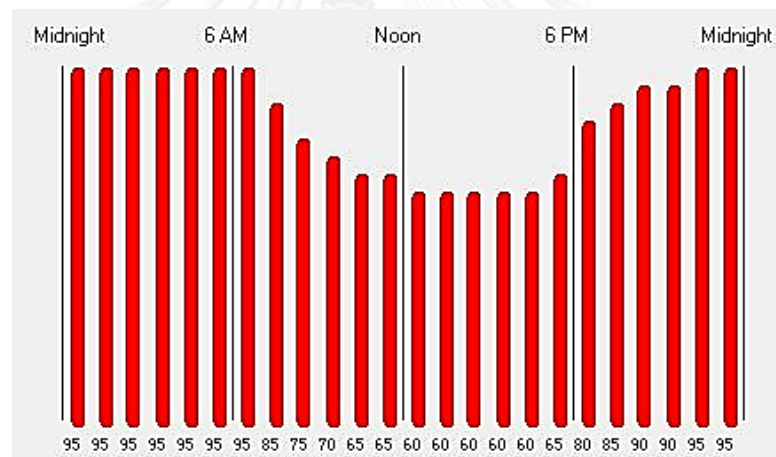


การตั้งค่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าวันอาทิตย์

iv. การตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานอาคาร (พื้นที่ห้องนอน)

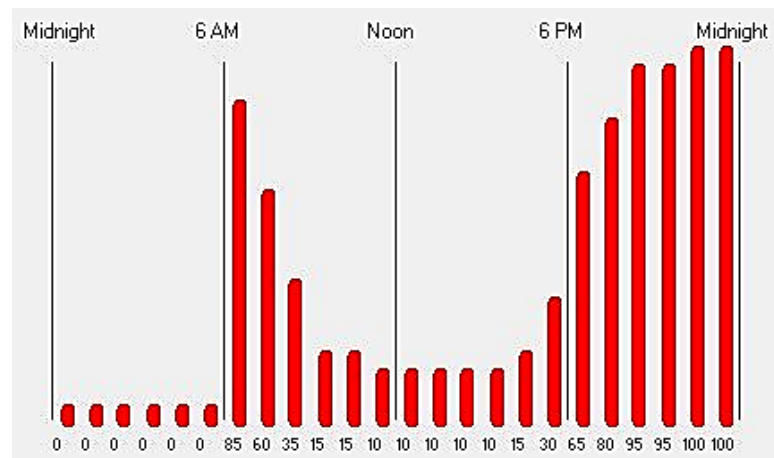


การตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันจันทร์ – ศุกร์

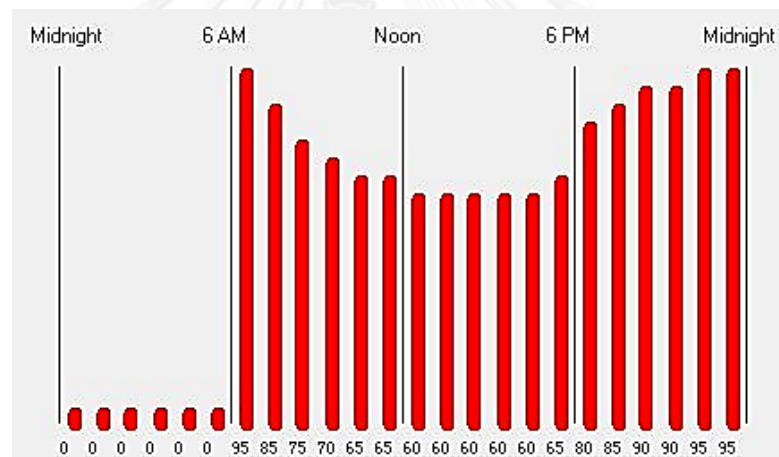


การตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันเสาร์ – อาทิตย์

v. การตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานอาคาร (พื้นที่ห้องนั่งเล่น)



การตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันจันทร์ – ศุกร์



การตั้งค่าความถี่การเข้าใช้งานวันเสาร์ – อาทิตย์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณชมน พูลทรัพย์ เกิดวันที่ 7 กรกฎาคม 2532 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษา
หลักสูตรปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี
การศึกษา 2555 เข้ารับการศึกษาคือต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
สถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2556



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY