



แนวทางการลดความร้อนผ่านผนังทิศตะวันตกที่คุ้มค่าการลงทุน

โดย

นางสาวภัทราภรณ์ ศรีประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

แนวทางการลดความร้อนผ่านผนังทิศตะวันตกที่คุ้มค่าการลงทุน

โดย

นางสาวภัทราภรณ์ ศรีประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

THE MOST COST - EFFECTIVE METHOD IN REDUCING HEAT GAIN  
THROUGH WEST WALL

By

Patrapron Sreeparsird

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF ARCHITECTURE

Department of Architecture

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2008

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ แนวทางการลดความ  
ร้อนผ่านผนังทิศตะวันตกที่คั่นค่าการลงทุน ” เสนอโดย นางสาวภัทราภรณ์ ศรีประเสริฐ เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชาญา มหัทธนะวิ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ทศพล เขตเจนการ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์)

...../...../.....

49054209 : สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คำสำคัญ : ผนังตะวันตก/ ผนังคอนกรีตมวลเบา/ ผนังโพนEPS/ ลดความร้อน

ภัทรภรณ์ ศรีประเสริฐ : แนวทางการลดความร้อนผ่านผนังทิศตะวันตกที่คุ้มค่าการลงทุน. อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.พันธุ์ทิพย์ กาญจนะจิราภิวัฒน์. 161 หน้า.

ผนังทางทิศตะวันตกได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ตั้งแต่บ่ายถึงเย็น และถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร การใช้วัสดุผนังที่ไม่เหมาะสมทำให้สิ้นเปลืองพลังงานการปรับอากาศ ในเวลาบ่ายจนถึงกลางคืนได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการลดความร้อนผ่านผนังทิศตะวันตกที่มีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยเปรียบเทียบการเลือกใช้วัสดุต่างๆ กับผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวฉาบปูนทั้งสองด้าน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอาคารพักอาศัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในการศึกษาได้จำลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศของห้องขนาด 4x4 ม. ซึ่งมีผนังภายนอกหันไปทางทิศตะวันตก ส่วนผนังด้านอื่นเป็นผนังภายใน โดยการใช้โปรแกรม Energy Plus วัสดุผนังที่เปรียบเทียบแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ (1) วัสดุที่มีมวลสารมากและมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำ คือ ใช้ผนังอิฐมวลเบา 1 ชั้น และ 2 ชั้น ผนังความหนา (2) ผนังที่มีมวลสารน้อยแต่มีความต้านทานความร้อนสูงคือผนังที่ใช้โพนโฟลีสไตรีนแบบเบ่งขยายตัว (Expanded polystyrene, EPS) อยู่นอกโครงคร่าวหนา 2 นิ้วและ 4 นิ้วและ (3) การใช้วัสดุที่มีมวลสารและค่าความต้านทานความร้อนค่อนข้างสูงคือใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียว และสองชั้น

ผลการศึกษาพบว่า (1) เมื่อเป็นผนังทึบ ปรับอากาศกลางวัน ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ประหยัดพลังงานสูงสุด 15.86% คืนทุน 8 ปี แต่ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น คืนทุนเร็วสุด 1.1 ปี (2) เมื่อเป็นผนังทึบ ปรับอากาศกลางวัน ผนังโพน 4 นิ้ว ประหยัดพลังงานสูงสุด 4.24% แต่คืนทุนนานถึง 56 ปี และน่าสังเกตว่าการเพิ่มความหนาโพนจาก 2 นิ้วเป็น 4 นิ้ว ไม่ช่วยประหยัดพลังงานมากนัก แต่ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวลดการใช้พลังงาน 3.34% และคืนทุนเร็วสุด 4.1 ปี และจะเห็นว่าอิฐมวลเบา 2 ชั้น ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 3.93% จึงไม่ควรใช้ทำผนังในเวลานี้ (3) เมื่อมีหน้าต่างและปรับอากาศกลางวัน ผนังทั้งหมดใช้พลังงานมากขึ้น 17.48% ส่วนค่าก่อสร้างผนังคอนกรีตมวลเบาสองชั้นจะแพงกว่าผนังชนิดอื่น เพราะมีราคาเอ็นสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากต้องการประหยัดพลังงานและคืนทุนเร็วไม่ควรทำหน้าต่าง ซึ่งลำดับการใช้พลังงานเหมือนกับข้อ 1 คือ ผนังคอนกรีตมวลเบาสองชั้นประหยัดพลังงานมากที่สุด 10.57% คืนทุน 16.5 ปี แต่ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวลดการใช้พลังงานได้ 8.62% คืนทุนเร็วสุด 2.4 ปี (4) เมื่อมีหน้าต่างและปรับอากาศกลางวัน ผนังโพน 2 นิ้ว ลดการใช้พลังงานได้ 2.33 % แต่คืนทุนกว่า 60 ปี ส่วนอิฐมวลเบาสองชั้น ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 4.06% จึงไม่ควรใช้ ซึ่งการเพิ่มหน้าต่างนั้น ทำให้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น จึงไม่ควรทำหน้าต่างถ้าไม่จำเป็น (5) เมื่อมีการบังแดด ปรับอากาศกลางวันพบว่า อิฐมวลเบา 1 ชั้น มีค่าพลังงานลดลงมากที่สุด เมื่อเทียบกับผนังทึบถึง 7.66 % ส่วนผนังอื่นๆ 0.22-1.90% จะเห็นว่า ผนังที่กันความร้อนได้ดีอยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องบังแดด (6) เมื่อมีการบังแดด ปรับอากาศกลางวัน พบว่า อิฐมวลเบา 2 ชั้น ใช้พลังงานลดลง 3.58 % ส่วนผนังอื่นๆ ลดลงเพียง 0.14-1.43 % ซึ่งลำดับการใช้พลังงานเหมือนกับข้อ 2 คือผนังโพน 4" ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดถึง 4.43% ซึ่งผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียว คืนทุนได้เร็วสุด 3.5 ปี และเป็นที่น่าสนใจว่า การใช้อิฐมวลเบาสองชั้น จะใช้พลังงานมากขึ้นจึงไม่ควรใช้ (7) กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน เมื่อเป็นผนังทึบ ใช้งานกลางวัน พบว่า คอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น เหมาะสมที่จะใช้งานมากที่สุด เนื่องจาก Time Lag = 5 ชม. สามารถต้านทานความร้อนได้เป็นอย่างดี (8) กรณีไม่ปรับอากาศ เมื่อเป็นผนังทึบ ใช้งานกลางวัน พบว่า อิฐมวลเบา 1 ชั้น เหมาะสมที่สุด แม้ว่าช่วงกลางวันอุณหภูมิอากาศภายในจะสูงมากถึง 35 °C ก็ตาม แต่เนื่องจากมีค่า R น้อย (0.26 m<sup>2</sup>.°C/W) สามารถถ่ายเทความร้อนที่สะสมในตอนกลางวันได้รวดเร็ว (9) กรณีไม่ปรับอากาศ เมื่อเป็นผนังทึบ ใช้งานตลอดทั้งวัน พบว่า คอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น มีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในเพียง 2.80 °C และค่าก่อสร้างไม่สูงมากสามารถคืนทุนได้เร็วสุด (ราคา 850 บาทต่อตร.ม.) จึงถือว่าเหมาะสมที่สุด

49054209 : MAJOR : ARCHITECTURE

KEY WORD : WEST WALL / AERATED WEIGHT CONCRETE BLOCK WALL / EXPANDED  
POLYSTYRENE FOAM WALL / REDUCING HEAT GAIN

PATRAPRON SREEPARSIRD : THE MOST COST - EFFECTIVE METHOD IN REDUCING  
HEAT GAIN THROUGH WEST WALL. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. PANTUDA PUTHIROJ, Ph.D.  
161 pp.

Heat gain from solar radiation will transfer through west wall from the afternoon until late evening. Using unsuitable material can cause high electricity consumption for air conditioning. Thus, the objective of this research is to study the effect of using different wall materials on energy consumption, comparing the money saved with the investment cost. The comparison was conducted using single layer brick wall, which is widely used in residential building from the past until present as a benchmark. The air-conditioning electricity consumption was simulated by the program EnergyPlus, based on a 4x4 m. room size with one side facing west, with three internal walls. The wall materials in this study consisted of 3 groups, which are (1) High mass material with low thermal resistance using one layer and double-layer brick which delay heat transfer (2) Low mass material with high thermal resistance, using 2-inch and 4 inch expanded polystyrene (EPS) foam fixing on the exterior side of wall stud (3) Relatively high mass and high thermal resistance material, aerated concrete block wall with one layer and two layers.

The results indicate that (1) In case where all of them are opaque walls with regulated the temperature in the room in day time, Double layered Aerated Weight Concrete Block Wall will save highest energy 15.86% and can pay back within 8 years, however single layer Aerated Weight Concrete Block Wall will pay back fastest within 1.1 year. (2) In case where all of them are opaque walls and regulated the temperature in the room in night time, the 4" Foam Wall will save highest energy, 4.24% but it takes 56 years to pay back. Remarkably, changing the Foam's thickness from 2" to 4" didn't drastically much saving energy. Single layer Aerated Weight Concrete Block reduced energy 3.34% and could pay back within 4.1 years, a shorter time period than all wall types and will deem that Double Brick Wall use energy 3.93% more. (3) When there are windows that regulated the temperature in the room in day time, all wall types will use more energy 17.48% and a construction cost of Double layers Aerated Weight Concrete Block Wall will be the most expensive because of lintel. If saving energy and return investment are priorities, a window shouldn't be used. The order of energy using is same as (1) That means Double layers Aerated Weight Concrete Block Wall can save most energy, 10.57% and can pay back within 16.5 years while but single layers Aerated Weight Concrete Block Wall can reduce using energy 8.62% and pay back within 2.4 years. (4) When there are windows that regulated the temperature in the room in night time, The result of the 2" Foam Wall reduced energy 2.33 % with pay back more than 60 years while the Double Brick Wall used 4.06% more energy. Adding a window to the west side with any wall types increases energy 10% and shouldn't be used if not a necessary. (5) When there is protection from the sunshine for West Wall and regulate the room in day time, The result is Single layer Brick Wall have most reduced energy value when compare with opaque walls 7.66 %, with other wall 0.22-1.90%. Deemly the wall that already use less energy won't need to add protecting sunshine. (6) When there is protection from the sunshine for West Wall and regulate the temperature in the room in night time, The result is Double Brick Wall use reduced energy 3.58 % and other walls reduce only 0.14-1.43 % which order of using energy is same as all opaque walls is 4" Foam Wall can reduce most using energy 4.43% which Single layer Aerated Weight Concrete Block Wall can pay back fastest 3.5 year and remarkable using Double Brick Wall will use more energy. (7) In case don't regulate the room all day when all are opaque walls and use in day time, the double layers Aerated Weight Concrete Block Wall will be most suitable because of Time Lag equal 5 hrs. can resist heat nicely. (8) In case don't regulate the room, use in night time. The result is Single Brick Wall is the most becoming. Even if the day time the inside air temperature of Single Brick Wall is 35 °C because of there is less R Value (0.26 m<sup>2</sup>.-°C/W), the wall can transfer accumulated heat in day time very quickly. (9) In case don't regulate the room, use the opaque walls all day. The effect is Double layers Aerated Weight Concrete Block Wall has modification value of inside air temperature equal 2.80 °C and construction cost can pay back rapidly (cost 850 baht/sq.m) is most appropriate.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ต่องานวิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งในการเขียนงานวิจัยฉบับนี้ด้วย และ ผศ.ดร.ปรีชญา มหัทธนะทวิ ซึ่งท่านให้คำปรึกษาเรื่องการใส่โปรแกรม EnergyPlus โดยตลอดเช่นกัน ข้าพเจ้าจึงใคร่ ขอขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความช่วยเหลือขณะทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่สาวพี่ชาย สำหรับโอกาสและ กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา ตลอดจนบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือซึ่งไม่ได้กล่าวในที่นี้ด้วย

## สารบัญ

|                                                            | หน้า |
|------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....                                      | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....                                   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                       | ฉ    |
| สารบัญตาราง.....                                           | ญ    |
| สารบัญภาพ .....                                            | ฐ    |
| สารบัญแผนภูมิ.....                                         | ฒ    |
| บทที่                                                      |      |
| 1    บทนำ.....                                             | 1    |
| ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา .....                    | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....                               | 3    |
| ขอบเขตของการศึกษา.....                                     | 4    |
| ขั้นตอนการศึกษา .....                                      | 4    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                             | 4    |
| 2    ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                    | 5    |
| ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....                                   | 5    |
| การได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์.....  | 6    |
| การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร.....                         | 8    |
| ระบบการก่อสร้างผนังของบ้านพักอาศัยในประเทศไทย.....         | 15   |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน .....                                     | 15   |
| ผนังคอนกรีตมวลเบา .....                                    | 18   |
| ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก(EIFS) .....                  | 22   |
| แนวทางและวิธีการที่ใช้ในการลดความร้อนให้กับผนังอาคาร ..... | 28   |
| การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร .....                        | 28   |
| การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน .....                          | 33   |
| การลดความร้อนโดยการบังเงาให้กับผนังอาคาร.....              | 38   |

| บทที่ | หน้า                                                                    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|
| 3     | การดำเนินงานวิจัย..... 41                                               |
|       | ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มวัสดุและวิธีการก่อสร้างผนัง โดยใช้วิธี               |
|       | การลดความร้อนในแบบต่างๆ แบ่งได้ 3 วิธี ดังนี้..... 41                   |
|       | การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร..... 43                                   |
|       | การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน..... 43                                     |
|       | การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน+มวลสาร..... 44                              |
|       | ขั้นตอนการกำหนดกรณีศึกษาต่างๆ แบ่งได้ 2 กรณี..... 45                    |
|       | ขั้นตอนการหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปีและหาค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ..... 48 |
|       | หาค่าอุณหภูมิอากาศภายใน, ผิวภายในและผิวภายนอก                           |
|       | ของวัสดุผนังทั้ง 6 ชนิด โดยการจำลองกล่องทดสอบขนาด                       |
|       | 60x60x60 ซม. ด้วยโปรแกรม EnergyPlus และเลือกผนัง                        |
|       | ที่ลดความร้อนได้ดีที่สุด 2 ชนิด ..... 50                                |
|       | นำผนังที่ลดความร้อนได้ดีที่สุด 2 ชนิด มาสร้างกล่องทดลอง                 |
|       | และวัดผลอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในสถานะการณ์จริงและ                     |
|       | เปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมและการวัดจริง ..... 50                     |
|       | หากผลที่ได้ (จากข้อ 2) ไม่ถูกต้อง จะกลับไปแก้ไขค่าที่นำเข้าไปใน         |
|       | โปรแกรม (ในข้อ 1) เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่ถูกต้อง..... 54         |
|       | ทำการจำลองหาค่าพลังงานในการปรับอากาศของห้องที่ใช้                       |
|       | ในงานวิจัย ซึ่งใช้ค่าที่เหมาะสมจากการแก้ไขในข้อ 3 เพื่อจำลอง            |
|       | หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีในกรณีต่างๆ..... 61                         |
|       | จำลองห้องที่ใช้ในงานวิจัยในกรณีไม่ปรับอากาศ..... 64                     |
|       | ขั้นตอนการหาความคุ้มค่าในการลงทุน..... 66                               |
| 4     | ผลการทดลอง..... 67                                                      |
|       | กรณีปรับอากาศ ..... 71                                                  |
|       | เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด..... 71                                         |
|       | กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.) ..... 71                      |
|       | กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน (21.00-06.00 น.) ..... 75                      |
|       | เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย ซึ่งเป็นเกณฑ์    |

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 .....      | 78  |
| กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.) .....            | 81  |
| กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน (21.00-06.00 น.) .....            | 86  |
| เมื่อมีการบังเงาให้แก่ผนังทิศตะวันตก.....                  | 91  |
| กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.) .....            | 91  |
| กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน (21.00-06.00 น.) .....            | 96  |
| กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน (24ชม.) เมื่อผนังทางทิศตะวันตก |     |
| เป็นผนังที่บัพเพียงอย่างเดียว .....                        | 101 |
| อภิปรายผล.....                                             | 109 |
| 5   สรุปผลการทดลอง .....                                   | 111 |
| สรุปผลการทดลอง .....                                       | 111 |
| ปัญหาที่พบในงานวิจัย .....                                 | 123 |
| ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป .....                     | 123 |
| ประโยชน์ในการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ .....               | 123 |
| บรรณานุกรม .....                                           | 124 |
| ภาคผนวก .....                                              | 127 |
| ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ใส่ในโปรแกรม Energy Plus.....          | 128 |
| ภาคผนวก ข. การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน .....          | 138 |
| ภาคผนวก ค. การคำนวณหาค่า OTTV .....                        | 144 |
| ภาคผนวก ง. การคำนวณหาราคาวัสดุ .....                       | 158 |
| ประวัติผู้วิจัย .....                                      | 161 |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                                                | หน้า |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | แสดงการให้ค่าคะแนนในเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท<br>ความร้อนรวมของผนัง .....                                                                                                                 | 12   |
| 2        | แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ของวัสดุ.....                                                                                                                                     | 14   |
| 3        | แสดงคุณสมบัติเฉพาะของอิฐมวลเบา .....                                                                                                                                                           | 17   |
| 4        | แสดงคุณสมบัติเฉพาะของคอนกรีตมวลเบา.....                                                                                                                                                        | 20   |
| 5        | คุณสมบัติเฉพาะของฉนวนโฟมโพลีสไตรีน .....                                                                                                                                                       | 26   |
| 6        | ความแตกต่างของช่วงเวลาอุณหภูมิสูงสุดของผิวภายนอกและ<br>ภายในผนัง วันที่ 13-17 เมษายน 2544 .....                                                                                                | 30   |
| 7        | แสดงค่า Thermal mass ( $J/m^2.K$ ), ค่า R ( $m^2-^{\circ}C/W$ ),<br>ค่า U ( $W/m^2-^{\circ}C$ ) และค่ามวลรวมของวัสดุ ( $kg/m^2$ ) .....                                                        | 68   |
| 8        | แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าก่อสร้าง และระยะ<br>เวลาคืนทุนของผนังรูปแบบต่างๆ กรณีเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด<br>ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00 -17.00 น. ....                   | 72   |
| 9        | แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าก่อสร้าง และระยะ<br>เวลาคืนทุนของผนังรูปแบบต่างๆ กรณีเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด<br>ปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น. ....                    | 75   |
| 10       | แสดงค่า OTTV (วัดต่อ ตร.ม.) ของผนังทั้ง 6 ชนิด.....                                                                                                                                            | 79   |
| 11       | แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าก่อสร้าง และระยะเวลา<br>คืนทุนของผนังรูปแบบต่างๆ เมื่อเพิ่มขนาดช่องเปิด 10% ของพื้นที่<br>ห้องฯ กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น..... | 81   |
| 12       | เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ใช้ต่อปี กรณีเมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อ<br>เพิ่มหน้าต่าง 10% (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00น.) .....                                                      | 83   |
| 13       | แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าต่อปี ค่าก่อสร้าง และระยะเวลาคืน<br>ทุนของผนัง 6 ชนิด เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องฯ<br>กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน (21.00-06.00 น.) .....           | 86   |

| ตารางที่ | หน้า                                                                                                                                                                  |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14       | เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า(kWh)ที่ใช้ต่อปี กรณีเมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อ<br>เพิ่มหน้าต่าง 10% ฯ (ปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00น.)... 88                             |
| 15       | เปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้าง กรณีผนังทึบทั้งหมด<br>และกรณีเพิ่มหน้าต่าง 10% ..... 89                                                                                    |
| 16       | แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าต่อปี ค่าก่อสร้าง และระยะเวลา<br>คืนทุนของผนังรูปแบบต่างๆ เมื่อมีการบังแดด<br>กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น. .... 92  |
| 17       | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบ<br>กับเมื่อมีการบังแดดให้แกผนังทิศตะวันตก<br>(ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.) ..... 93       |
| 18       | แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าต่อปี ค่าก่อสร้าง และระยะ<br>เวลาคืนทุนของผนังรูปแบบต่างๆ เมื่อมีการบังแดด<br>กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น. .... 96  |
| 19       | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบ<br>ทั้งหมดกับเมื่อมีการบังแดดให้แกผนังทิศตะวันตก<br>(ปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น.)..... 97 |
| 20       | แสดงช่วงเวลากการหน่วงความร้อน (Time Lag) ชั่วโมง..... 103                                                                                                             |
| 21       | แสดงค่า Thermal Mass ( $J/m^2.K$ ), ค่า $R$ ( $m^2.^{\circ}C/W$ ), ค่า $U$ ( $W/m^2.^{\circ}C$ ),<br>ค่ามวลรวมของวัสดุ ( $kg/m^2$ )..... 112                          |
| 22       | เปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้าง กรณีผนังทึบทั้งหมดและ<br>กรณีเพิ่มหน้าต่าง10% ..... 113                                                                                    |
| 23       | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีกรณีผนังทึบทั้งหมดและ<br>เพิ่มหน้าต่าง 10%..... 115                                                                                 |
| 24       | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบ<br>กับเมื่อมีการบังแดดให้แกผนังทิศตะวันตก<br>(ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.) ..... 117      |

| ตารางที่ |                                                                                                                                                  | หน้า |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 25       | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh)<br>กรณีเมื่อเป็นผนังที่บดทั้งหมดกับเมื่อมีการบังแดด<br>(ปรับอากาศช่วงกลางวัน 21.00-06.00 น.)..... | 119  |
| 26       | คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการจำลองโปรแกรม.....                                                                                                    | 132  |
| 27       | คุณสมบัติของวัสดุกระจก.....                                                                                                                      | 133  |
| 28       | แสดงการใส่ข้อมูลการบังแดดให้กับผนัง .....                                                                                                        | 135  |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                                                                      | หน้า |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | แสดงวัสดุผนังที่นิยมใช้ทั่วไป .....                                                                                  | 1    |
| 2      | แสดงบ้านสายลมแสงแดด ผนังชั้นล่างใช้อิฐมวลเบา, ผนังชั้นบนใช้<br>โครงคร่าวเหล็กกรวยปัดมุมบอร์ด และไม่เทียม.....        | 2    |
| 3      | แสดงบ้านแบบ Active วัสดุผนัง EIFS ที่ตั้ง อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี.....                                                | 3    |
| 4      | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายใน ทั้ง 4 ทิศ .....                                                              | 7    |
| 5      | แสดงผนังก่ออิฐมวลเบา และผนังก่อคอนกรีตบล็อก.....                                                                     | 15   |
| 6      | แสดงอิฐมวลเบาที่ใช้กันทั่วไป .....                                                                                   | 16   |
| 7      | แสดงการก่อสร้างผนังคอนกรีตมวลเบา.....                                                                                | 19   |
| 8      | แสดงผนังระบบโครงคร่าว .....                                                                                          | 22   |
| 9      | แสดงลักษณะผนัง EIFS.....                                                                                             | 23   |
| 10     | แสดงส่วนประกอบผนัง EIFS .....                                                                                        | 24   |
| 11     | แสดงปัญหาความชื้นจากฝนที่สาดโดนผนัง .....                                                                            | 25   |
| 12     | แสดงผนังคอนกรีตสำเร็จรูป .....                                                                                       | 27   |
| 13     | วัตถุที่มีความจุความร้อนมากจะหน่วงความร้อนได้นานกว่า<br>อุปมาเหมือนการไหลของน้ำในภาพ.....                            | 29   |
| 14     | แสดงการหาช่วงเวลาการหน่วงความร้อน.....                                                                               | 29   |
| 15     | แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบน้ำ 1 ลบ.ม. จุความร้อนหรือมี<br>ความร้อนอยู่ในตัวเท่ากับคอนกรีตหรือหิน 3 ลบ.ม.....         | 31   |
| 16     | แสดงการใช้ผนังสองชั้นเพื่อบังแดดทางทิศตะวันตก ของบ้านประหยัด<br>พลังงาน มหาวิทยาลัยศิลปากร (ที่ตั้ง จ. นครปฐม) ..... | 38   |
| 17     | การใช้ต้นไม้ในการปรับสภาพแวดล้อม.....                                                                                | 39   |
| 18     | แสดงลักษณะกล่องทดลอง .....                                                                                           | 50   |
| 19     | แสดงรูปตัดกล่องทดลอง และตำแหน่งติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิต่างๆ .....                                                      | 51   |
| 20     | ตำแหน่งการวางกล่องทดลอง และตำแหน่งติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิต่างๆ.....                                                    | 51   |
| 21     | เครื่องมือและอุปกรณ์ ที่ใช้ในงานวิจัย.....                                                                           | 52   |

| ภาพที่ |                                                                                                              | หน้า |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 22     | แสดงการติดตั้งสายสายเทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple)<br>เพื่อทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย ..... | 53   |
| 23     | แสดงการติดตั้งสายสายเทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple)<br>เพื่อทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย ..... | 53   |
| 24     | แสดงลักษณะอาคารที่ใช้ในการจำลอง ขนาด 4.00x4.00x2.50 m. ....                                                  | 61   |
| 25     | ลักษณะห้องที่ใช้ในงานวิจัยเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด.....                                                       | 62   |
| 26     | ลักษณะห้องที่ใช้ในงานวิจัยเมื่อมีหน้าต่างขนาด 10%<br>ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย.....                     | 63   |
| 27     | แสดงลักษณะห้องที่ใช้ในงานวิจัย เมื่อมีการบังแดด .....                                                        | 64   |
| 28     | ลักษณะห้องที่ใช้ในงานวิจัยเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด.....                                                       | 65   |
| 29     | เมื่อผนังทางทิศตะวันตกเป็นผนังทึบทั้งหมด .....                                                               | 71   |
| 30     | ลักษณะอาคารกรณีออกแบบให้ผนังทางทิศตะวันตกมีพื้นที่<br>หน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง.....                       | 78   |
| 31     | แสดงลักษณะ เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก.....                                                         | 91   |
| 32     | ลักษณะอาคารที่ใช้ในการจำลองขนาด 4.00 x 4.00 x 2.50 m. ....                                                   | 129  |
| 33     | แสดงการแบ่ง ZONE.....                                                                                        | 131  |
| 34     | ลักษณะการบังแดดให้กับผนังทางทิศตะวันตก.....                                                                  | 136  |

## สารบัญแผนภูมิ

| แผนภูมิที่ |                                                                                                                                                                      | หน้า |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1          | อุณหภูมิภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ,20 และ 30 ซม.<br>ทดลองวันที่ 16 -17 เม.ย. 2544 .....                                                                       | 32   |
| 2          | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของวัสดุ 5 ชนิด .....                                                                                                              | 34   |
| 3          | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องทดสอบระหว่างผนังที่ใส่<br>ฉนวนโฟมนอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคารกับใส่ฉนวนโฟมใน<br>ช่องคร่าวในช่วง 1 วัน.....                  | 36   |
| 4          | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องทดสอบระหว่างผนังที่ใส่ฉนวน<br>โฟมนอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคารกับใส่โฟมนอกช่องคร่าว<br>แต่อยู่ด้านในอาคาร ในช่วง 1 วัน ..... | 37   |
| 5          | แสดงขั้นตอนการแบ่งกลุ่มวัสดุและวิธีการก่อสร้างผนังทั้ง 6 ชนิด .....                                                                                                  | 45   |
| 6          | แสดงการกำหนดกรณีศึกษาต่างๆ ชำ้ดต้น .....                                                                                                                             | 47   |
| 7          | แสดงขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี<br>และหาค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ.....                                                                     | 49   |
| 8          | แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน จากการใช้โปรแกรม (ครั้งที่ 1) .....                                                                                                | 54   |
| 9          | แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน จากการใช้โปรแกรม (ครั้งที่ 1) .....                                                                                                  | 55   |
| 10         | แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวนอก จากการใช้โปรแกรม (ครั้งที่ 1) .....                                                                                                    | 55   |
| 11         | เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน จากการวัดจริง<br>วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551 .....                                                                                       | 56   |
| 12         | เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน จากการวัดจริง<br>วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551 .....                                                                                         | 57   |
| 13         | เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวนอก จากการวัดจริง<br>วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551 .....                                                                                           | 57   |
| 14         | เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน จากการใช้โปรแกรม<br>วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551 .....                                                                                    | 58   |
| 15         | เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน จากการใช้โปรแกรม<br>วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551 .....                                                                                      | 59   |

| แผนภูมิที่ |                                                                                                                                                                           | หน้า |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 16         | เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอก จากการใช้โปรแกรม<br>วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551 .....                                                                                          | 59   |
| 17         | เปรียบเทียบค่ามวลอุณหภาพ (thermal mass) ( $\text{J/m}^2\cdot\text{K}$ ) .....                                                                                             | 68   |
| 18         | เปรียบเทียบค่า R ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ ) และค่า U ( $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ) .....                                                               | 69   |
| 19         | เปรียบเทียบค่ามวลรวมของวัสดุ .....                                                                                                                                        | 70   |
| 20         | เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อเป็น<br>ผนังทึบทั้งหมด ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00 -17.00 น.....                                              | 72   |
| 21         | เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีของผนังทั้ง 6 ชนิด กรณีปรับอากาศ<br>ช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น. เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด .....                                         | 76   |
| 22         | เปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังทดสอบทั้ง 6 ชนิด เมื่อเป็นผนังทึบ<br>กับเมื่อมีหน้าต่าง10%ของพื้นที่ห้อง .....                                                                 | 79   |
| 23         | เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อเพิ่มขนาดช่องเปิด<br>10% ของพื้นที่ห้อง ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 กรณีปรับอากาศ<br>ช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น. .... | 82   |
| 24         | เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh)ที่ใช้ต่อปี กรณีเมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อ<br>เพิ่มหน้าต่าง 10% (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00น.) .....                                  | 83   |
| 25         | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี กรณีเพิ่มขนาดช่องเปิด10%<br>ของพื้นที่ห้อง ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39<br>(ปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น.).....                  | 87   |
| 26         | เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ใช้ต่อปี กรณีเมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อ<br>เพิ่มหน้าต่าง 10% ๑ (ปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00น.).....                                | 88   |
| 27         | เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อมีการบังแดด<br>กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น. ....                                                  | 92   |
| 28         | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบ<br>กับเมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก<br>(ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.).....              | 94   |

| แผนภูมิที่ | หน้า                                                                                                                                                                       |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 29         | เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก<br>กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น. .... 97                                                   |
| 30         | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังที่บ<br>้ทั้งหมดกับเมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก<br>(ปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น.) ..... 98  |
| 31         | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในผนังทั้ง 6 ชนิด<br>(วันที่ 17-19 เม.ย.) ..... 102                                                                                      |
| 32         | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในและผิวภายนอก<br>ของผนังอิฐมวลเบา 1 ชั้น และ 2 ชั้น (วันที่ 17-18 เม.ย.) ..... 104                                                        |
| 33         | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในและผิวภายนอก<br>ของผนังโฟม 2" และ 4" (วันที่ 17-18 เม.ย.) ..... 105                                                                      |
| 34         | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในและผิวภายนอก<br>ของผนังมวลเบา 1 ชั้น และ 2 ชั้น (วันที่ 17-18 เม.ย.)..... 106                                                            |
| 35         | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอก ผนังทั้ง 6 ชนิด<br>(วันที่ 17-18 เม.ย.) ..... 107                                                                                      |
| 36         | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในผนังทั้ง 6 ชนิด (วันที่ 17-19 เม.ย.)..... 108                                                                                            |
| 37         | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) กรณีผนังที่บ้ทั้งหมดและ<br>กรณีเพิ่มหน้าต่าง 10% ฯ ..... 116                                                                           |
| 38         | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังที่บ<br>้ทั้งหมดกับเมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก<br>(ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.) ..... 117 |
| 39         | เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังที่บ<br>้ทั้งหมดกับเมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก<br>(ปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น.) ..... 119 |
| 40         | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในผนังทั้ง 6 ชนิด<br>(วันที่ 17-19 เม.ย.) ,..... 121                                                                                     |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

ความร้อนจากแสงแดดที่ผ่านเข้ามาทางเปลือกอาคารสามารถแบ่งออกเป็นความร้อนที่มาจากหลังคาและผนังอาคารเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงความร้อนที่ผ่านผนังอาคารทางทิศตะวันตก ซึ่งเป็นผนังที่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ในช่วงบ่ายถึงเย็นเป็นเวลาหลายชั่วโมง และถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร มีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิอากาศภายในห้องนั้นๆ ในเวลากลางคืน ซึ่งหากเป็นอาคารพักอาศัยและใช้งานมากในเวลากลางคืน จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องสูงเกินขอบเขตสภาวะน่าสบาย อาจจะทำให้จำเป็นต้องปรับอากาศ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่าย



(ก) ผนังก่ออิฐฉาบปูน



(ข) ผนังคอนกรีตมวลเบา

ภาพที่ 1 แสดงวัสดุผนังที่นิยมใช้ทั่วไป

ที่มา : (ข) ความรู้เรื่องอิฐมวลเบา [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 28 เมษายน 2552, เข้าถึงได้จาก [www.pongjadesada.com](http://www.pongjadesada.com).

แม้ว่าในอดีตจะได้มีการศึกษาวัสดุผนังอื่นๆที่เป็นทางเลือกในการออกแบบ นอกเหนือจากการใช้อิฐมวลเบามากมาย ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทยมาแต่ดั้งเดิมจนถึงปัจจุบัน แต่การศึกษาเท่าที่พบ มักมิได้กล่าวถึงทางเลือกที่ทั้งประหยัดพลังงานและคุ้มค่าต่อการลงทุนด้วย โดยเฉพาะในสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบันเจ้าของอาคารจะให้ความสำคัญต่อความคุ้มค่าในการลงทุนเพื่อประหยัดพลังงานมากขึ้น



ภาพที่ 2 บ้านสายลมแสงแดด ผนังชั้นล่างใช้อิฐมวลเบา, ผนังชั้นบนใช้โครงคร่าวเหล็กกรุิปฐัม-บอร์ด และไม่เทียม

ที่มา : บ้านประหยัดพลังงาน ประเภทบ้านเดี่ยว สำหรับกรุงเทพมหานครหรือจังหวัดใกล้เคียง โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ของ สนพ. (ที่ตั้ง จ.นครปฐม)



ภาพที่ 3 บ้านแบบ Active วัสดุผนัง EIFS ที่ตั้ง อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี  
ที่มา : บ้านประหยัดพลังงาน ประเภทบ้านเดี่ยว สำหรับกรุงเทพมหานครหรือจังหวัดใกล้เคียง  
ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน โดย ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางการลดความร้อนให้แก่ผนังทิศตะวันตก โดยเปรียบเทียบการใช้วัสดุและวิธีการก่อสร้างผนังในรูปแบบต่างๆ โดยที่ผนังที่ทำการศึกษานั้น เป็นผนังที่พบในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในประเทศไทยในปัจจุบัน ทั้งบ้านทั่วไปและบ้านที่ต้องการประหยัดพลังงาน

### วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของวัสดุต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว ในกรณีปรับอากาศ
2. หาค่าความคุ้มค่าในการลงทุน โดยเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงกับราคาผนังที่เพิ่มขึ้น
3. ศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เมื่อใช้วัสดุแต่ละชนิดในสภาพไม่ปรับอากาศ

## ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้ใช้สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครเท่านั้น

## ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้อง
2. ทดสอบคุณสมบัติในการลดความร้อนของผนังภายนอกอาคาร โดยการหาค่าการใช้พลังงานในกรณีปรับอากาศและ หาค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Energy Plus
3. นำผลการวิเคราะห์มาสรุปถึงประโยชน์ข้อดีข้อเสีย เพื่อนำไปสู่แนวทางการเลือกใช้หาข้อผิดพลาด จากความคลาดเคลื่อนในการทดลองที่เกิดขึ้น ว่ามีสาเหตุหรือปัจจัยอะไรบ้าง พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางให้กับผู้ที่จะวิจัยในครั้งต่อไป

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังในแต่ละชนิดได้ดียิ่งขึ้น
2. สามารถเลือกใช้วัสดุได้เหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะปรับและไม่ปรับอากาศ สำหรับงานที่ต้องการความคุ้มค่าในการลงทุน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางการลดความร้อนให้แก่ผนังทิศตะวันตก โดยเปรียบเทียบการใช้วัสดุและวิธีการก่อสร้างผนังรวม 6 ชนิด โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบผนังอาคาร ทั้งในด้านคุณสมบัติการประหยัดพลังงาน, ด้านราคาและการก่อสร้าง โดยในบทที่ 2 นี้ จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

#### 1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนัง
- 2 วัสดุผนังที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในประเทศไทย
- 3 แนวทางและวิธีการที่ใช้ในการลดความร้อนให้กับผนังอาคาร
  - การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร
  - การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน
  - การลดความร้อนโดยการบังแดดให้กับผนังอาคาร

#### 1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารมีมากมาย เพื่อที่เราจะสามารถเข้าใจและนำมาใช้งานในการออกแบบผนังได้อย่างถูกต้องและมีความเหมาะสม ดังนั้นจึงทำการศึกษาถึงเรื่องที่เกี่ยวข้องต่างๆ แบ่งได้ 2 ข้อ ดังนี้

- 1) การได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์
- 2) การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร มีเรื่องที่เกี่ยวข้องดังนี้
  - ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร
  - ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนัง

## 1) การได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์

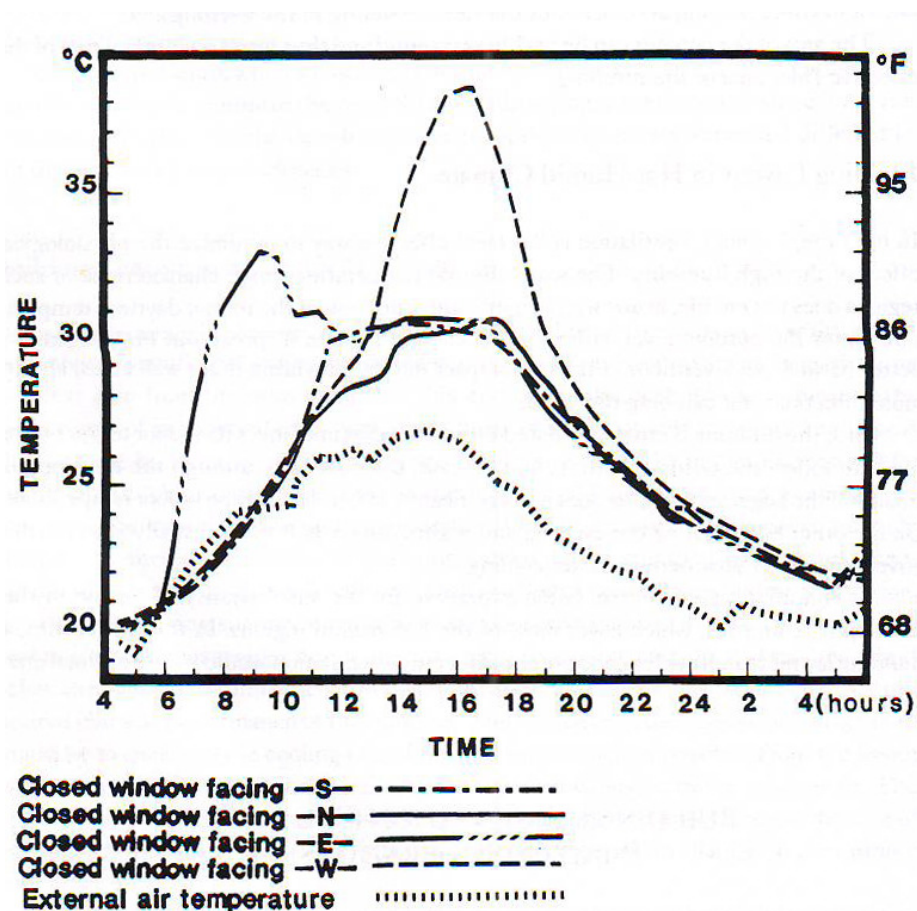
การได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ มีผลมากที่สุดต่อการสะสมความร้อนให้กับเปลือกอาคาร การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์แผ่มายังโลกนั้นจะผ่านชั้นบรรยากาศของโลก รังสีบางส่วนจะถูกสะท้อนออกไปโดยก้อนเมฆที่ลอยอยู่บางส่วนจะถูกดูดซับ โดยชั้นบรรยากาศ บางส่วนสามารถผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลกได้ โดยรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาภายในอาคารจะเกิดขึ้นได้จาก

- **รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง** (Direct radiation) เป็นรังสีที่ส่องเข้ามายังบรรยากาศของโลก โดยทั่วไปโลกจะโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ซึ่งปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามายังบรรยากาศโลกจะเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ค่ามากที่สุดถึงน้อยที่สุดตามระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

- **รังสีกระจาย** (Diffuse radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อนของแสงกับเมฆหรือไอน้ำในอากาศ การกระจายที่เกิดขึ้นจะไม่สม่ำเสมอ แต่จะมีความเข้มสูง

- **รังสีสะท้อน** (Reflected Radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อน มาจากพื้นดินหรืออาคารข้างเคียง จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการสะท้อนรังสีของสีผิว พื้นผิวของวัสดุที่อยู่รอบๆอาคาร

การได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ สู่ผนังอาคารในแต่ละทิศ นั้นต่างกันตามช่วงเวลา ดังนี้



ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายใน ทั้ง 4 ทิศ

ที่มา : Baruch Givoni, *Passive and low energy of building* (Canada : John Wiley & Sons, 1994), 24.

จากภาพที่ 4 เป็นผลจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อหาความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ (โดยปิดหน้าต่าง ไม่มีลมเข้าออก และไม่มีการบังแดด) ซึ่งจะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดประมาณ 26°C ส่วนอุณหภูมิผิวภายในทิศตะวันออกสูงสุดประมาณ 33°C (ซึ่งสูงกว่าอากาศภายนอกอยู่ 9°C) ส่วนทิศตะวันตกอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดประมาณ 38°C (สูงกว่าอากาศภายนอกถึง 12°C) ซึ่งสูงกว่าทิศอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ส่วนทิศใต้และเหนือมีอุณหภูมิผิวภายในใกล้เคียงกัน ประมาณ 30°C (สูงกว่าอากาศภายนอก 4°C)

ดังนั้นความเข้าใจในเรื่องการวางอาคารให้ถูกทิศทาง เช่น ให้ด้านแคบของอาคารหันไปทางตะวันตก และเลือกวัสดุผนังที่เหมาะสมกับทิศทางนั้นๆ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับสถาปนิกอย่างมาก

## 2) การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร<sup>1</sup>

โดยทั่วไปความร้อนจากภายนอกที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคารได้ 3 วิธี คือ การนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation)

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Heat Transfer by Conduction) เป็นการถ่ายเทจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่ง หรือการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านตัวกลางหรือมวลวัตถุ เช่น การถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังหรือกำแพง เป็นต้น

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุโดยการนำความร้อนขึ้นกับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุ วัสดุที่นำความร้อนได้ดีจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง เช่น โลหะ หิน และคอนกรีต เป็นต้น วัสดุที่ช่วยลดการนำความร้อนต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ เช่น โยแกว และฉนวนความร้อน เป็นต้น

2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Heat Transfer by Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนตัวของอากาศเป็นสื่อกลาง เช่น ภายในอาคารความร้อนจะผ่านผนังเข้ามาโดยการนำ (Conduction) จากนั้นผิวของผนังด้านในจะร้อนขึ้น ทำให้อากาศรอบๆ กำแพงด้านในร้อนขึ้น อากาศที่ร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำน้ำหนักเบา ก็จะลอยตัวสูงขึ้นอากาศภายในห้องที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะหมุนเวียนไปแทนที่ เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพา

3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Heat Transfer by Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีผ่านอากาศหรือสุญญากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) ไม่ใช่ตัวกลางเป็นสื่อ เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ถ่ายเทผ่านสุญญากาศมายังโลก เป็นต้น อาคารต่างๆ จะได้รับความร้อนโดยการแผ่รังสีทั้งจากรังสีตรง, รังสีกระจายและรังสีสะท้อน ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ และจากรังสีความร้อนคลื่นยาวที่แผ่มาจากวัตถุ หรืออาคารอื่นรอบๆ

---

<sup>1</sup> ตริังใจ บุรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพมหานคร : อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2543), 31

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) กระทำผิววัสดุที่บดแสง บางส่วนจะถูกดูดกลืนและสะท้อนบางส่วนออกมา ส่วนที่ถูกดูดกลืนจะทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะถ่ายเทความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยการแผ่รังสี การพาความร้อน และถ่ายเทเข้าไปภายในตัวของมันเองโดยการนำความร้อน

การดูดกลืนรังสีของวัสดุขึ้นกับคุณสมบัติของผิววัสดุในการดูดกลืนรังสี หรือเรียกกันทั่วไปว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน ( Absorptivity ) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-1 โดยวัตถุสามารถดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบผิวได้ทั้งหมดจะมีสภาพดูดกลืนเท่ากับ 1

วัตถุโดยทั่วไปจะไม่สามารถดูดกลืนรังสีตกกระทบได้ทั้งหมดแต่จะมีบางส่วนสะท้อนออกไป ความสามารถในการสะท้อนรังสีนี้เรียกว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflectivity) วัตถุที่สะท้อนรังสีที่ตกกระทบได้ทั้งหมดจะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 1

วัตถุโดยทั่วไปจะมีการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีสเปกตรัม (Spectrum) และความเข้มขึ้นกับอุณหภูมิ ความสามารถในการคายรังสีของวัตถุจะบอกในรูปของสัมประสิทธิ์การเปล่งรังสี (Emissivity) ค่าของสัมประสิทธิ์การเปล่งรังสีของวัตถุธรรมดาจะเทียบกับสัมประสิทธิ์เปล่งรังสีของวัตถุดำ (Black Body) ซึ่งสามารถดูดกลืนรังสีเท่ากับ 1 หรือ 100% วัตถุอย่างอื่นจะมีค่าสัมประสิทธิ์การเปล่งรังสีน้อยกว่าวัตถุดำที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยทั่วไปวัตถุที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม (Ambient Temperature) จะแผ่รังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อน

รังสีความร้อนที่ตกกระทบผิวหน้าวัตถุ บางส่วนจะถูกดูดกลืนและส่วนที่เหลือจะถูกสะท้อนออกมา ผลรวมของรังสีความร้อนที่ถูกดูดกลืนและรังสีที่ถูกสะท้อน จะเท่ากับ 1 หรือ 100% รังสีความร้อนที่ตกกระทบผิวหน้าวัตถุนั้น ถ้าวัตถุที่มีการดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีก็จะเปล่งรังสีความร้อนได้ดีด้วย โดยทั่วไปการแผ่รังสีของวัตถุจะแปรตามอุณหภูมิและสัมประสิทธิ์การเปล่งรังสี (Emissivity) ของผิววัตถุนั้น<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> ตรึงใจ บุรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพมหานคร : อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2543), 32

## ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร

ความร้อนจะเคลื่อนที่จากสสารที่ร้อนสู่อุณหภูมิที่เย็นกว่าเสมอ และถ้าสสารใดๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแล้วก็จะไม่มีการถ่ายเทความร้อน การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการนำสามารถหาได้จากสูตรการคำนวณ 2 สูตร คือ

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

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

|        |            |   |                                                                                                      |
|--------|------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| โดยที่ | Q          | = | ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (วัตต์)                                                          |
|        | U          | = | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวม (วัตต์/ตารางเมตร)                                                    |
|        | A          | = | พื้นที่ๆ ความร้อนจะถ่ายเทผ่านวัสดุนั้นๆ (ตารางเมตร)                                                  |
|        | $\Delta T$ | = | ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอก<br>(องศาเซลเซียส)                                        |
|        | CLTD       | = | ค่าความแตกต่างภาระการทำความเย็นหรือเทียบเท่า<br>(Cooling Load Temperature Difference (องศาเซลเซียส)) |

### ความแตกต่างในการเลือกใช้สูตรแต่ละสูตรนั้นขึ้นอยู่กับ

1.  $\Delta T$  จะใช้ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งอุณหภูมิที่ผิววัสดุและอุณหภูมิอากาศจะมีค่าเท่ากันและความแตกต่างของระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกคงที่ (Steady State Condition)

2. ค่า CLTD จะใช้ในกรณีที่มีอิทธิพลจากแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง แสงแดดเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังเข้าสู่อาคารมากที่สุด เมื่อผนังโดนแดดก็จะร้อนขึ้นเนื่องจากการดูดกลืนรังสีความร้อนจากแสงแดด ทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารเปลี่ยนไป การปรับเปลี่ยนค่า CLTD เป็นการปรับให้เข้ากับอิทธิพลภายนอก เพราะในความเป็นจริงแล้วค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารไม่คงที่แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะอากาศตลอดเวลา โดยจะใช้องค์ประกอบ เช่น วัน เดือน เวลา อิทธิพลของแสงแดดอิทธิพลของมวลสารผนัง การถ่ายเทความร้อนจากผิวนอก การหน่วงเวลา สภาพแวดล้อม โดยการปรับเปลี่ยนค่าให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น จะใช้ค่าความแตกต่าง ระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอก ไม่ได้เนื่องจากค่าที่ได้จะแตกต่างจากความเป็นจริงมาก

### ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนัง

จากการหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารในหัวข้อที่กล่าวมาพบว่า เราสามารถลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาในอาคารได้ จึงทำการศึกษาถึงเรื่องที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### - สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$U = 1 / R_T$$

เมื่อ U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส)

$R_T$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม (ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์)

จากการหาค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทึบที่ได้มาจากผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวมและค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอก ( $Q = U \times A \times \Delta T$ ) พบว่า ไม่ว่าผนังนั้นๆ จะหันหน้าไปทางทิศใด ควรเลือกใช้ผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมต่ำ จะสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ และยังสอดคล้องกับการให้ค่าคะแนนในแบบประเมินอาคาร (ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) ดังตารางที่ 1 โดยจะเห็นว่า ค่า U ที่มีค่าไม่เกิน 0.6 ได้คะแนนมากที่สุด

ตารางที่ 1 แสดงการให้ค่าคะแนนในเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง

| ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง<br>(U-Value; W/m <sup>2</sup> °C) | คะแนน |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| อาคารพักอาศัย : บ้านเดี่ยว, บ้านแถว, อาคารอยู่อาศัยรวม                       |       |
| ไม่เกิน 1.2                                                                  | 1     |
| ไม่เกิน 1.0                                                                  | 2     |
| ไม่เกิน 0.6                                                                  | 3     |

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “คู่มือการประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารพักอาศัย : บ้านเดี่ยว, บ้านแถว, อาคารอยู่อาศัยรวม” (อัดสำเนา)

#### - ความต้านทานความร้อน (Resistivity)

ค่าความต้านทานความร้อน หรือ ค่า “R-Value” จะเป็นค่าที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุตามแนวที่ความร้อนไหลผ่านกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ กรณีที่วัสดุซ้อนกันหลายชั้น ค่าความต้านทานความร้อนรวมจะเท่ากับผลบวกของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุที่กำหนดแต่ละชั้นรวมกัน และค่าความต้านทานความร้อนจะมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็นส่วนกลับกัน กล่าวคือ ถ้าค่าการต้านทานความร้อนสูง วัสดุนั้นก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ

ค่าการต้านทานความร้อน หรือ ค่า “R-Value” สามารถหาคำนวณได้จาก

$$R = 1 / C \quad \text{หรือ} \quad \Delta x / k$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อน (ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์)

C คือ ค่าความนำความร้อน (วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส)

$\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ (เมตร)

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส)

#### - ความนำความร้อน

ค่าความนำความร้อนของวัสดุใดๆ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$C = k / \Delta x$$

เมื่อ C คือ ค่าความนำความร้อน (วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส)

$\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ (เมตร)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส)

#### - ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity)

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือ ค่า “K-Value” สามารถบอกถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุเพียงชนิดเดียว โดยวัดค่าในรูปของอัตราปริมาณความร้อนไหลต่อหน่วยเวลาจากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่าน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K – Value) ของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ของวัสดุ

| วัสดุ                                  | ค่า K<br>วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส |
|----------------------------------------|------------------------------------|
| อิฐ                                    |                                    |
| (ก) แห้ง และฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสก | 0.807                              |
| (ข) ความชื้น 6%                        | 1.211                              |
| (ค) ผนัง (ไม่ฉาบปูน)                   | 1.154                              |
| คอนกรีต                                | 1.442                              |
| แผ่นยิปซัม                             | 0.191                              |
| โลหะ                                   |                                    |
| (ก) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา     | 211                                |
| (ข) ทองแดง ที่มีขายเชิงพาณิชย์         | 385                                |
| (ค) เหล็กกล้า                          | 47.6                               |
| วัสดุทำพื้น pvc                        | 0.173                              |
| ไม้                                    |                                    |
| ไม้เนื้ออ่อน                           | 0.125                              |
| ไม้เนื้อแข็ง                           | 0.138                              |
| ไม้อัด                                 | 0.138                              |
| หินล้าง                                | 0.115                              |
| กรวดล้าง                               | 0.115                              |

ที่มา : กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, “ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง และค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์,” 2535.

## 2 ระบบการก่อสร้างผนังของบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

ระบบการก่อสร้างผนังของบ้านพักอาศัยที่พบเห็นได้ทั่วไป แบ่งได้ 3 ประเภท คือ ผนังระบบก่อ, ผนังระบบโครงคร่าว และผนังสำเร็จรูป มีรายละเอียดดังนี้

1) ผนังระบบก่อ หมายถึง ผนังที่มีมวลสารยึดติดกันทั่วทั้งผนัง ผนังระบบก่อนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในประเทศไทย เนื่องจากการก่อสร้างไม่ยุ่งยาก ช่างทั่วไปสามารถก่อสร้างได้ ราคาไม่แพงและคงทนจึงเป็นที่นิยมมาก



ภาพที่ 5 ผนังก่ออิฐฉาบปูน และผนังก่อคอนกรีตบล็อก

วัสดุที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ในผนังระบบก่อ เช่น อิฐฉาบปูน, คอนกรีตมวลเบา, ซีเมนต์บล็อกและอิฐสองรู เป็นต้น จึงขอยกตัวอย่างผนังอิฐฉาบปูนและคอนกรีตมวลเบามาเป็นตัวอย่างดังนี้

### ผนังก่ออิฐฉาบปูน<sup>3</sup>

ลักษณะทั่วไป อิฐฉาบปูน เป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการนำดินเหนียวมาเผาเพื่อให้ได้วัสดุที่คงรูปและมีความแข็งแรง โดยมีการใช้อิฐฉาบปูนในระบบการก่อสร้างมากกว่าหลายสิบปี จึงเป็นวัสดุที่เป็นที่รู้จักและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากความเชื่อมั่นในความคงทน

<sup>3</sup> กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "เอกสารเผยแพร่แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน" (อัครา)

และเป็นวัสดุที่ผลิตได้เองในประเทศจากแรงงานท้องถิ่นที่มีกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ที่ใช้มากเช่น อิฐอุยธยา (อ่างทอง) และอิฐพานทองที่จะเป็นอิฐที่ขนาดใหญ่กว่าอิฐอุยธยา การเผาที่ใช้ไม้ฟืนในการเผา ส่วนอิฐอุยธยาใช้แกลบในการเผาและก้อนอิฐก็จะมีขนาดเล็กกว่าอิฐพานทอง ราคาอิฐของอุยธยาจึงถูกกว่าอิฐพานทอง

คุณสมบัติของอิฐมอญเป็นวัสดุที่ยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่าย และยังดูดเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานานกว่าจะเย็นตัวลง จะสังเกตได้จากเมื่อใช้มือสัมผัสผนังภายในบ้านในตอนบ่ายที่ถูกแดดร้อนจัด ผนังจะร้อนมาก และยังคงร้อนอยู่จนถึงช่วงหัวค่ำแล้วจึงเย็นลงใกล้เคียงกับอากาศปกติ เนื่องจากอิฐมอญมีความจุความร้อนสูงทำให้สามารถกักเก็บความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุได้มาก ก่อนที่จะค่อยๆถ่ายเทสู่ภายนอก จึงเหมาะกับการใช้กับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะช่วงกลางวัน



ภาพที่ 6 อิฐมอญที่ใช้กันทั่วไป

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของอิฐมอญ

| รูปแบบกายภาพ                                                           | หน่วย                  |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| ราคาต่อหน่วย (บาท)                                                     | 0.6                    |
| ราคารวมต่อตร.ม (บาท)                                                   | 100 - 190              |
| ค่าวัสดุ+ค่าแรง / ตรม. (บาท)                                           | 425 - 440              |
| ขนาด (Volume) (cm. <sup>3</sup> )                                      | 7x16x3.5               |
| ความหนาแน่น (kg./m <sup>3</sup> )                                      | 1615 - 1650            |
| จำนวนก้อนต่อตร.ม. (ก้อน,แผ่น)                                          | 145                    |
| น้ำหนักต่อตร.ม. (kg./m <sup>2</sup> )                                  | 130                    |
| น้ำหนักรวมปูนฉาบต่อตร.ม. (kg./m <sup>2</sup> )                         | 200                    |
| ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม "Q" (Thermal Transfer) (Watt/m <sup>2</sup> )  | 30-45                  |
| ค่าการนำความร้อน "K" (Conductivity – K value) (W/m.K)                  | 0.473                  |
| ค่าการต้านทานความร้อน "R" (Resistivity – R value) (m <sup>2</sup> K/W) | 0.15                   |
| ค่าความจุความร้อน "C" (Thermal Capacity) (J/kg.K)                      | 800-1000               |
| ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Thermal Expansion / °C)                     | $4.6 \times 10^{-6}$   |
| การหดตัวเมื่อแห้ง                                                      | 1.8                    |
| การต้านทานแรงอัด (kg./cm <sup>2</sup> )                                | 35 kg./cm <sup>2</sup> |
| การกันเสียง (dB)                                                       | 36-40                  |
| การทนไฟ (ชั่วโมง)                                                      | 0.5 - 2                |
| การปลดดกดิน                                                            | ไม่มีกดิน              |
| อัตราการซึมน้ำ (%)                                                     | 30-40%                 |
| การยืดหดตัวของวัสดุ (มม./ม.)                                           | 0.18                   |
| จำนวนผู้ผลิต                                                           | มาก                    |
| ปริมาณการผลิตเทียบกับความต้องการ                                       | เพียงพอ                |
| ขั้นตอนการก่อสร้างและการบำรุงรักษา                                     | ง่าย                   |

| รูปแบบกายภาพ | หน่วย                                                                                                      |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| อายุใช้งาน   | มากกว่า 50 ปี                                                                                              |
| ข้อดี        | เป็นที่ยอมรับทั่วไป, ช่างชำนาญ, แข็งแรง,ทนราคาถูก, หาซื้อง่ายไม่เป็นพิษ<br>มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน |
| ข้อเสีย      | คุณภาพและขนาดไม่แน่นอน, น้ำหนักมาก, ใช้เวลานานในการก่อสร้าง<br>เสียหายขณะขนส่ง, ขาดแคลนช่วงฤดูฝน           |

ที่มา : กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "เอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน" (อัดสำเนา)

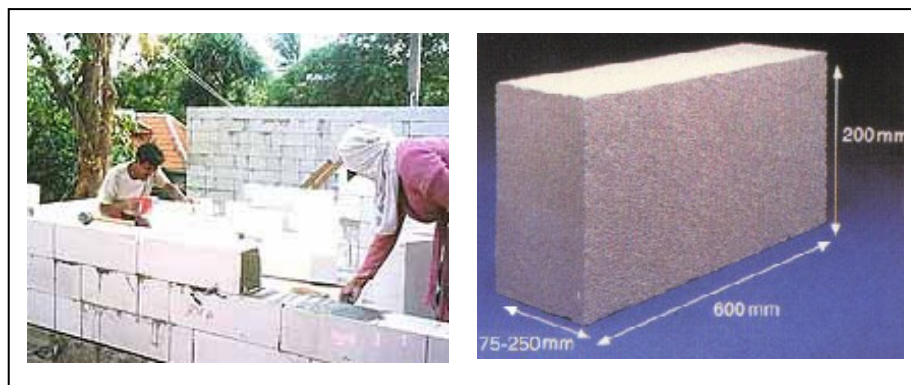
#### ผนังคอนกรีตมวลเบา<sup>4</sup>

ลักษณะทั่วไป คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุที่มีกรรมนำมาใช้ และเป็นที่ยอมรับมากขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่นที่มีมา โดยตัววัสดุเองมีส่วนผสมมาจาก หินขี้เถ้า ปูนขาว น้ำ ยิปซัม และผงอลูมิเนียมผสมรวมกัน แต่ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือฟองอากาศเล็กๆ เป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่อง (Disconnecting Voids) ที่อยู่ในเนื้อวัสดุประมาณ 75% ทำให้น้ำหนักเบา ซึ่งผลของความเบาจะช่วยให้ประหยัดโครงสร้าง อีกทั้งฟองอากาศเหล่านั้นยังเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีคอนกรีตมวลเบาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามกรรมวิธีการผลิต คือ

1. Cellular Lightweight (CLC) ผลิตโดยไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การใช้วัสดุที่เบากว่าทดแทน เช่น ขี้เถ้า ขี้เถ้า และการใช้สารเคมีเพิ่ม หรือเรียกว่า คอนกรีตมวลเบาแบบ CLC โดยเติมสารเคมีให้คอนกรีตฟู

2. Autoclaved Aerated Concrete (AAC) ผลิตด้วยการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ การใช้ปูนขาวเป็นหลักในการผลิต หรือ Lime Base และ ใช้ปูนซีเมนต์เป็นหลักในการผลิต เรียกว่า Cement Base

<sup>4</sup> กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "เอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน" (อัดสำเนา)



ภาพที่ 7 การก่อสร้างผนังคอนกรีตมวลเบา

ที่มา : คำถามเรื่องอิฐมวลเบา [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 28 เมษายน 2552, เข้าถึงได้จาก [www.thaionlinemarket.com/question](http://www.thaionlinemarket.com/question).

คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา ทั้ง 2 ประเภทนี้ แตกต่างกันไปเช่น คอนกรีตมวลเบาประเภทแรก สามารถใช้ปูนก่อและปูนฉาบทั่วๆ ไปได้ แต่ยังไม่มีการรองรับในเรื่องอัตราการดูดซึมน้ำและการหดตัวซึ่งเป็นสาเหตุให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย และไม่ค่อยแข็งแรง ต้องบ่มให้ได้อายุจึงจะใช้งานได้ ส่วนประเภทที่ 2 ต้องใช้ปูนก่อและปูนฉาบเฉพาะสำหรับคอนกรีตมวลเบาเท่านั้น แต่ใช้ปริมาณปูนก่อ-ฉาบน้อยกว่า ปูนก่อหนาเพียง 2-3 มม. ขณะที่ปูนฉาบหนาเพียง 0.5-1.0 ซม. เท่านั้นดังนั้นในการเลือกใช้งานผู้ใช้ควรศึกษาถึงข้อมูลวัสดุให้ละเอียดก่อน

ข้อด้อยของวัสดุชนิดนี้ที่พบปัญหาบ่อย คือ การแตกร้าวของปูนฉาบเมื่อแห้งแล้ว และปัญหาเรื่องการดูดซึมน้ำที่ค่อนข้างสูง จึงมักเป็นเหตุให้เกิดข้อสงสัยแก่ผู้ออกแบบถึงประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจริงเมื่อผนังถูกฝน โอกาสที่น้ำฝนจะแทรกซึมผ่านผนัง และเพิ่มความชื้นในเนื้อวัสดุจะสามารถเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับระบบปรับอากาศหรือไม่ มากน้อยเพียงใด เพราะเป็นภาระความร้อนที่มีอยู่ในรูปของความร้อนแฝง และประเทศไทยมีฝนตกชุกในหลายพื้นที่

ดังนั้นแนวทางแก้ไขที่ดีที่สุด คือควรฝึกอบรมให้ช่างก่อสร้างทั่วไปมีความสามารถ และมีความรู้ที่ถูกต้องในการใช้งานกับวัสดุชนิดนี้ให้มากยิ่งขึ้น และควรเลือกใช้ปูนฉาบให้เหมาะสมกับตัววัสดุเองด้วย

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของคอนกรีตมวลเบา

| รูปแบบกายภาพ                                                           | หน่วย                     |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| ราคาต่อหน่วย (บาท)                                                     | 25.21 – 37.80             |
| ราคารวมต่อตร.ม (บาท).                                                  | 315 - 412                 |
| ค่าวัสดุ+ค่าแรง / ตรม. (บาท)                                           | 450 - 646                 |
| ขนาด (Volume) (cm. <sup>3</sup> )                                      | 7.5x20x60                 |
| ความหนาแน่น (kg./m <sup>3</sup> )                                      | 550 - 640                 |
| จำนวนก้อนต่อตร.ม. (ก้อน,แผ่น)                                          | 8                         |
| น้ำหนักต่อตร.ม. (kg./m <sup>2</sup> )                                  | 46.5                      |
| น้ำหนักรวมปูนฉาบต่อตร.ม. (kg./m <sup>2</sup> )                         | 90 - 100                  |
| ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม “Q”                                            | 32-42                     |
| (Thermal Transfer) (Watt/m <sup>2</sup> )                              | 15                        |
| ค่าการนำความร้อน “K” (Conductivity – K value) (W/m.K)                  | 0.089 - 0.132             |
| ค่าการต้านทานความร้อน “R” (Resistivity – R value) (m <sup>2</sup> K/W) | 0.58                      |
| ค่าความจุความร้อน “C” (Thermal Capacity) (J/kg.K)                      | น้อยกว่าวัสดุผสม 2.5 เท่า |
| ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Thermal Expansion / °C)                     | $8-10 \times 10^{-6}$     |
| การหดตัวเมื่อแห้ง                                                      | 0.2                       |
| การต้านทานแรงอัด (kg./cm <sup>2</sup> )                                | 40-50                     |
| ความแข็งแรงทางกล (kg./cm <sup>2</sup> )                                | 23                        |
| การกันเสียง (dB)                                                       | 38-43                     |
| การทนไฟ (ชั่วโมง)                                                      | 4                         |
| อัตราการซึมน้ำ (%)                                                     | 30%                       |
| การยืดหดตัวของวัสดุ (มม./ม.)                                           | -0.2                      |
| จำนวนผู้ผลิต                                                           | มาก                       |
| ปริมาณผลิตเทียบกับความต้องการ                                          | กำลังผลิตไม่เพียงพอ       |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง                                                     | ต้องการช่างเฉพาะ          |
| การบำรุงรักษา                                                          | ง่าย                      |

| รูปแบบกายภาพ                           | หน่วย                                                     |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| อายุใช้งาน                             | ยังไม่คงที่                                               |
| ข้อดี                                  | คุณภาพคงที่, น้ำหนักรวมน้อยและ ป้องกันความร้อนดี          |
| ข้อเสีย                                | ไม่ค่อยแข็งแรง, ไม่ทนน้ำ, ราคาสูง, ขั้นตอนก่อสร้างยุ่งยาก |
| ผู้ผลิตน้อยราย เกิดการผูกขาดทางการตลาด |                                                           |

ที่มา : กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "เอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน" (อัดสำเนา)

ด้วยเหตุที่คุณสมบัติการป้องกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบา อยู่ในระดับที่ดีและเพียงพอแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการหรือวัสดุประกอบอื่นๆเข้ามาช่วยเสริม เพราะจะยิ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายมากขึ้น เนื่องจากลำพังตัววัสดุเองก็มีราคาค่อนข้างสูงอยู่แล้ว

แต่เพื่อเป็นการแก้ปัญหาเรื่องการแตกร้าวและการซึมน้ำ จึงขอเสนอวิธีการก่อเป็นผนังคอนกรีตมวลเบาสองชั้นและมีช่องว่างตรงกลาง เมื่อผนังมีความหนาเพิ่มขึ้น สามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกได้เต็มที่ และจากงานวิจัยของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์ เรื่องการศึกษาเปรียบเทียบพลังงานในการปรับอากาศระหว่างการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น<sup>5</sup> แสดงให้เห็นว่าการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาสองชั้นสามารถให้ผลดีในการประหยัดพลังงานได้มากกว่าการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวทั้งกลางวันและกลางคืน และแม้แต่ในสภาพที่มีฝนตก และมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยมีระยะเวลาคู่มือทุนระหว่าง 3.5-5 ปี

**2) ผนังระบบโครงคร่าว** หมายถึง ผนังที่มีโครงคร่าวเป็นโครงสร้างของผนัง และบุแผ่นวัสดุปิดผิวด้านนอกและด้านใน วัสดุที่ใช้เป็นโครงคร่าว เช่น เหล็กชุบสังกะสีอลูมิเนียมและไม้ เป็นต้น ส่วนวัสดุปิดผิวที่ใช้กันทั่วไปตามความเหมาะสมในการใช้งาน ได้แก่ แผ่นไม้สังเคราะห์ แผ่นยิปซัมบอร์ด แผ่นกระเบื้องใยหิน แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด แผ่นวิวบอร์ด และแผ่นอลูโคบอนด์ (Alucobond) เป็นต้น

<sup>5</sup> การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานในการปรับอากาศระหว่างการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 20 ธันวาคม 2551, เข้าถึงได้จาก



ภาพที่ 8 ผนังระบบโครงคร่าว

ที่มา : ขั้นตอนการก่อสร้าง [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 24 เมษายน 2552, เข้าถึงได้จาก [www.freshflowservice.com](http://www.freshflowservice.com).

ปัจจุบันผนังระบบโครงคร่าว เข้ามาในประเทศไทยและใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้นทั้ง บ้านทั่วไปและบ้านที่ต้องการประหยัดพลังงาน เช่น ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS)

ผนัง EIFS ย่อมาจาก Exterior Insulation and Finished System เป็นระบบผนังที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งฉนวนกันความร้อน ส่วนประดับตกแต่ง และการปกป้องผนังภายนอกอาคาร ซึ่งสามารถติดตั้งได้กับทุกระบบการก่อสร้าง ผนังชนิดนี้เริ่มใช้ในประเทศเยอรมันและเผยแพร่เป็นที่รู้จักกันในยุโรปเมื่อราวปลายทศวรรษที่ 1950 โดยในระยะแรกใช้สำหรับหุ้มผนังก่ออิฐหรือผนังก่ออิฐฉาบปูนภายนอกเพื่อกันการแตกร้าวและใช้เป็นฉนวนกันความร้อน-หนาวให้กับอาคารต่อมาได้แพร่เข้าไปในเกือบทุกมุมโลกและได้แพร่เข้าไปในประเทศสหรัฐอเมริการาวปลายปี 1969 ซึ่งได้พัฒนาต่อไปจนได้รับความนิยมสูงมากในราวปี 1974 และในระยะหลังมานี้ประเทศไทยก็เริ่มนำผนังนี้มาใช้กันมากขึ้น โดยจะพบเห็นในงานออกแบบอาคารประหยัดพลังงานหลายแห่ง



ภาพที่ 9 แสดงลักษณะผนัง EIFS

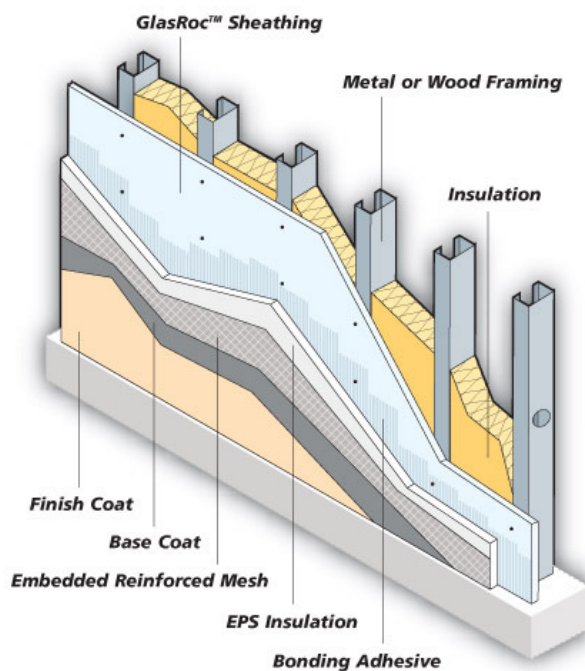
ที่มา : Polycraftfoam, images [Online], Accessed 28 April 2009. Available from <http://www.polycraftfoam.com/images>

ผนัง EIFS<sup>6</sup> เป็นผนังที่มีฉนวนกันความร้อนติดอยู่นอกโครงคร่าวทางด้านนอกอาคาร เพื่อดำเนินงานสภาพอากาศภายนอก โดยมีส่วนประกอบคือ

1. แผ่นสำหรับรองฉนวน (Substrate) โดยแผ่นนี้จะติดอยู่นอกโครงคร่าวมาทางด้านนอกอาคารซึ่งสามารถจะเลือกใช้วัสดุได้หลายชนิด เช่น ยิปซัม แผ่นไม้อัด แผ่นไม้อัดผสมซีเมนต์เป็นต้น
2. กาว (Adhesive) ใช้ทำให้แผ่นฉนวนโฟมติดกับแผ่นรอง ที่อยู่ด้านหลัง ซึ่งบางกรณีอาจใช้อุปกรณ์ยึด (Mechanical Fastener) ฉนวนโฟมเข้ากับแผ่นรองด้านหลังแทน
3. แผ่นฉนวน ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้กันมากคือ ฉนวนโฟมโพลีสไตรีนชนิดเบ่งขยายตัว (Expanded Polystyrene Foam) หรือ EPS
4. ตาข่ายเสริมความแข็งแรง (Reinforcing mesh) ช่วยในการรับแรงกระแทก โดยจะมีรองพื้น (Base coat) ทาทับบนตาข่าย เพื่อช่วยด้านทนสภาพอากาศภายนอก
5. ผิวตกแต่งชั้นสุดท้าย (Finish Coat) ซึ่งมักจะเป็นปูนสังเคราะห์ผสมสีในตัว มีหลายสีให้เลือก และมักฉาบแบบขรุขระมีลวดลายในตัว คล้ายการฉาบปูนหยาบๆ หรือ Stucco

---

<sup>6</sup> พันธดา พุฒิปาโรจน์, “ปัญหาของการใช้ผนัง EIFS ที่เกิดขึ้นในสหรัฐอเมริกา,” หน้าจั่ว, 21 (2547-2548) : 96.



ภาพที่ 10 แสดงส่วนประกอบผนัง EIFS

ที่มา : [Insulation](http://www.bpb-na.com) [Online], Accessed 28 April 2009. Available from [www.bpb-na.com](http://www.bpb-na.com).

### ปัญหาของผนัง EIFS

- ปัญหาด้านราคาที่สูงเมื่อเทียบกับวัสดุผนังอื่นๆ เช่น ผนังอิฐมวลเบา, ผนังคอนกรีตมวลเบา เป็นต้น
- ปัญหาด้านความแข็งแรงทนทาน เนื่องจากผิวหน้าของ Finish Coat ที่มีความอ่อนบางอาจเกิดความเสียหายได้ง่ายไม่ทนต่อแรงกระแทกและเป็นรูได้ง่าย
- การติดตั้งและการดูแลรักษา ต้องให้ได้มาตรฐาน ช่างทั่วไปไม่สามารถทำได้
- การเกิดการควบแน่นของหยดน้ำภายในผนัง ปัญหาความชื้นเข้าบริเวณรอยต่อ โดยก่อให้เกิดการแยกชั้นของวัสดุหรือทำให้แผ่นยิปซัมโก่งงอ



ภาพที่ 11 ปัญหาความชื้น จากฝนที่สาดโดนผนัง

ที่มา : สถานที่บ้านประหยัดพลังงาน ประเภทบ้านเดี่ยว สำหรับกรุงเทพมหานครหรือจังหวัด

ใกล้เคียงของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน โดย ศ.ดร.สุนทร บุญญธิการ

ตารางที่ 5 คุณสมบัติเฉพาะของฉนวนโฟมโพลีสไตรีน

| รายการวัสดุ                                                        | ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน<br>Polystyrene Foam       |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| รูปแบบกายภาพ                                                       | หุ้ม ปิด บู                                 |
| ราคาต่อหน่วย (บาท)                                                 | 112 (100 มม.)                               |
| ราคารวมต่อตร.ม. (บาท)                                              | 700(40 มม.)                                 |
| วัสดุ+ค่าแรง+ติดตั้ง / ตรม. (บาท)                                  | 720(40 มม.)                                 |
| ขนาด (Volume)(cm. <sup>3</sup> )                                   | 10x60x120                                   |
| ค่าอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสม °C                                     | <80                                         |
| ค่าความหนาแน่น(kg./m <sup>3</sup> )                                | 1 ปอนด์ / ลบ.ฟ. , 16                        |
| ค่าการนำความร้อน (Conductivity – K value) (W/m.K)                  | 0.035 - 0.038                               |
| ค่าการต้านทานความร้อน (Resistivity – R value) (m <sup>2</sup> K/W) | 0.758 - 0.850                               |
| ค่าการต้านทานแรงอัด                                                | 0.25 – 11                                   |
| การทนไฟ                                                            | 150 – 180 °F<br>ไม่ทนไฟ(ต้องใช้วัสดุปิดผิว) |
| การปลดออก                                                          | ไม่มีกลิ่น                                  |
| การทนต่อการกัดกร่อน                                                | ทนกรด ด่างได้พอสมควร                        |
| อัตราการซึมผ่าน (%)                                                | ต่ำ                                         |
| การยืดหดตัวของวัสดุ (มม./ม.)                                       | มีความยืดหยุ่นดี ไม่หดตัว                   |
| จำนวนผู้ผลิต                                                       | มาก                                         |
| ปริมาณผลิตเทียบกับความต้องการ                                      | เพียงพอ                                     |

ที่มา : กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "เอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน". (อัคราณา)

3) **ผนังสำเร็จรูป** เช่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งมักจะใช้กับงานโครงการขนาดใหญ่เช่น บ้านจัดสรร ที่ต้องการความรวดเร็ว



ภาพที่ 12 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ที่มา : ผนังสำเร็จรูป [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 24 เมษายน 2552, เข้าถึงได้จาก [www.bloggang.com](http://www.bloggang.com).

ผนังสำเร็จรูป เป็นการก่อสร้างที่นำเข้ามาในประเทศไทยระยะหนึ่งแล้ว แต่ยังไม่ค่อยแพร่หลาย การก่อสร้างระบบสำเร็จรูปในบ้านเรา แบ่งออกเป็นสองแบบคร่าวๆ

แบบแรก เป็นแบบที่ยังมีโครงสร้างเสาและคานเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กเทกบที่หรือเป็นเหล็ก ส่วนที่เป็นวัสดุหล่อสำเร็จจะเป็นเพียงผนังและพื้นอาคารเท่านั้น เช่น ที่ใช้กับห้างสรรพสินค้าในปัจจุบัน

แบบที่สอง เป็นแบบชนิดที่โครงสร้างทั้งหมดเป็นวัสดุหล่อสำเร็จ บ้านประเภทนี้จะไม่มีเสาเลยแต่จะใช้ผนังหล่อสำเร็จเป็นตัวรับน้ำหนัก ซึ่งระบบนี้มีบริษัทรับสร้างบ้านและโครงการหมู่บ้านจัดสรรหลาย ๆ โครงการใช้อยู่ ส่วนประกอบอาคารจะถูกหล่อขึ้นด้วยคอนกรีตจากโรงงานแล้วยกมาติดตั้งยังหน่วยงานก่อสร้าง โดยการเชื่อมยึดแผ่นเหล็กในส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน ผนังของอาคาร ดังนั้นการออกแบบผนังจะต้องมีรายละเอียดแบบทั้งหมดก่อนลงมือหล่อขึ้นส่วน เพราะจะต้องมีการเว้นช่องหน้าต่าง ประตู หรือช่องเปิดอื่นๆ รวมทั้งมีการฝังท่อ ร้อยสายไฟและกล่องสำหรับติดตั้งสวิตช์ไฟฟ้าไว้ตั้งแต่ตอนหล่อขึ้นส่วน

สรุปข้อดี-ข้อเสียของการใช้ผนังสำเร็จรูปได้ดังนี้

ข้อดี

- สามารถก่อสร้างได้รวดเร็ว
- พื้นผิวที่เรียบร้อยเพราะสามารถควบคุมคุณภาพการทำงานได้

ข้อเสีย

- ต้องมีทีมงานที่มีความรู้ความชำนาญเฉพาะทางเท่านั้น
- ค่าก่อสร้างแพงกว่าระบบก่ออิฐ จึงไม่นิยมในการนำมาสร้างบ้านเดี่ยว
- ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงการใช้สอย เช่น ทุบหรือผนัง, ตัดเจาะผนังเพื่อเพิ่ม

หน้าต่างหรือประตูได้เพราะจะทำให้ความแข็งแรงของอาคารลดลง

- กรณีติดตั้งไม่เป็นไปตามมาตรฐานก็อาจเกิดปัญหาเรื่องน้ำรั่วซึมตามรอยต่อของผนังได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องสนิมบริเวณจุดเชื่อมต่อตามมาทำให้อาคารมีความแข็งแรงลดลงได้

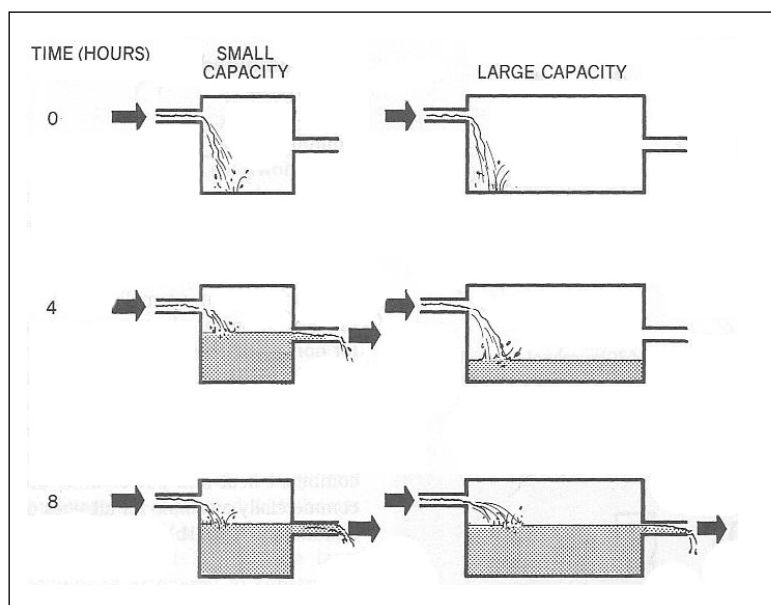
### 3 แนวทางและวิธีการที่ใช้ในการลดความร้อนให้กับผนังอาคาร

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังและวัสดุผนังที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในประเทศไทย ได้นำมาหาแนวทางในการลดความร้อนของผนังดังนี้

- การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร
- การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน
- การลดความร้อนโดยการบังแดดให้กับผนังอาคาร

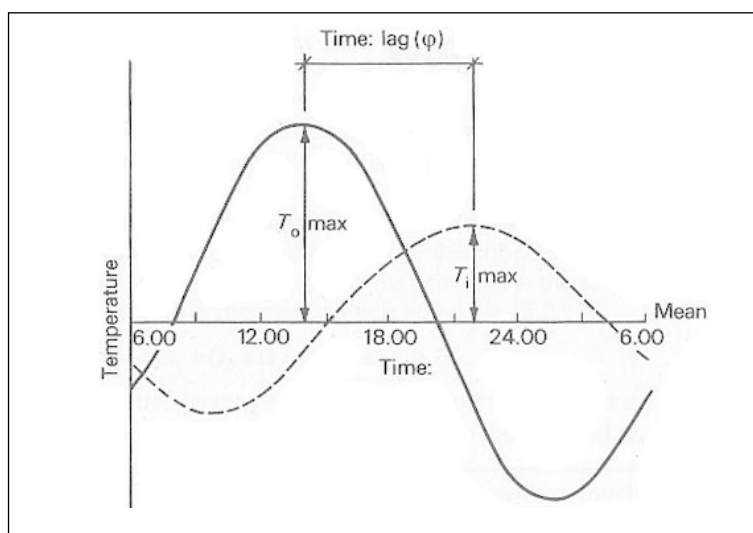
**3.1 การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร (Thermal Mass)** ด้วยการหน่วงการไหลผ่านความร้อน ก่อนที่ความร้อนจะผ่านเข้ามาในอาคาร ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

**การหน่วงความร้อน (Time Lag)** คือช่วงเวลาที่วัสดุสามารถเก็บกักปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาไว้ได้เป็นระยะเวลาหนึ่งจนวัสดุอิ่มตัวและคายความร้อนออกมาสู่ภายในซึ่งจะเลื่อนการเกิดความร้อนสูงสุดภายในออกไปจากช่วงเวลาการเกิดความร้อนสูงสุดที่ภายนอกได้เป็นระยะเวลาหนึ่งๆ วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูงกว่ามวลสารน้อย (ดังภาพที่13)



ภาพที่ 13 วัตถุที่มีความจุความร้อนมากจะหน่วงความร้อนได้นานกว่า อุปมาเหมือนการไหลของน้ำในภาพ

ที่มา : Lechner Norbert, Heating, cooling, lighting : design methods for architects (New York : John Wiley & Sons, 2001), 47.



ภาพที่ 14 แสดงการหาช่วงเวลาการหน่วงความร้อน

ที่มา : O.H.Koenigsberger, Manual of tropical housing and building (London : Longman, 1974), 84.

จากการวิจัยของ ญัฐกานต์ เกษประทุม เรื่องพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทดสอบความหนาของผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. โดยหาช่วงเวลาการหน่วงความร้อนของวัสดุข้างต้นได้ดังตารางที่ 5 จะเห็นว่า เมื่อความหนาวัสดุมากการหน่วงความร้อนก็มากขึ้น

ตารางที่ 6 แสดงความแตกต่างของช่วงเวลาอุณหภูมิสูงสุดของผิวภายนอกและผิวภายในผนัง วันที่ 13-17 เมษายน 2544

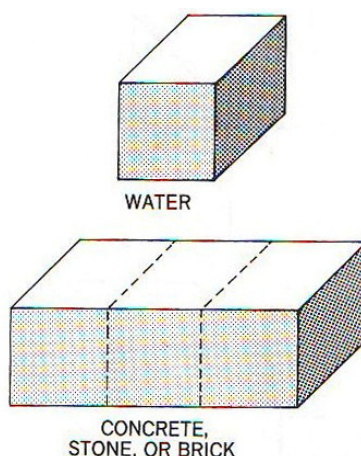
| วัน     | ผนัง 10 ซม.                    |                               |             | ผนัง 20 ซม.                    |                               |             | ผนัง 30 ซม.                    |                               |             |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------|
|         | อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก | อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน | ความแตกต่าง | อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก | อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน | ความแตกต่าง | อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก | อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน | ความแตกต่าง |
| 14 เมย. | 15:45                          | 17:45                         | 2           | 14:45                          | 19:45                         | 5           | 14:45                          | 20:45                         | 6           |
| 15 เมย. | 14:45                          | 15:45                         | 1           | 14:45                          | 17:45                         | 3           | 14:45                          | 18:45                         | 4           |
| 16 เมย. | 15:45                          | 16:45                         | 1           | 15:45                          | 18:45                         | 3           | 15:45                          | 20:45                         | 5           |

ที่มา : ญัฐกานต์ เกษประทุม, “พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก” (วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543), 113

**ความจุความร้อน (Thermal Capacity)** ความจุความร้อนของสสาร จะเท่ากับผลคูณของมวลสารกับความจุความร้อนจำเพาะ ซึ่งความจุความร้อนจำเพาะของสสาร (Specific Heat Capacity) เป็นค่าที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและอุณหภูมิ เนื่องจากความจุความร้อนจำเพาะของสสารเป็นปริมาณพลังงานความร้อนที่ทำให้สสารที่มีมวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา โดยมีหน่วยวัดเป็น Cal/g-°C หรือ J/kg.°C หรือบางครั้งใช้เป็น Wh/kg.°C ตัวอย่างค่าความจุความร้อนของวัสดุจำพวกอิฐคอนกรีต มีค่าเท่ากับ 800 – 1000 J/kg.°C น้ำมีค่าเท่ากับ 4176 J/kg.°C และอากาศแห้งมีค่าเท่ากับ 1005 J/kg.°C เป็นต้น

ค่าความจุความร้อนของวัสดุ จะไม่สามารถบอกได้โดยตรงว่าควรจะมีค่ามากหรือน้อยจึงจะดี เพราะถ้าความจุความร้อนน้อยการส่งผ่านความร้อนสู่ภายในจะมากและส่งผ่านได้เร็ว ซึ่ง

จะเหมาะกับส่วนที่มีการใช้งานเฉพาะกลางวัน แต่ในทางกลับกันการที่สามารถเก็บความร้อนไว้ในตัวเองได้มาก ความร้อนที่ถูกส่งผ่านต่อมายังในอาคารก็จะน้อยลงหรือส่งผ่านได้ช้าลง (Time Lag) ซึ่งเหมาะกับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะกลางวัน จะเห็นว่าการส่งผ่านความร้อนเนื่องจากค่าความจุความร้อนของวัสดุมีความเกี่ยวข้องกับช่วงเวลาที่จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม



ภาพที่ 15 ตัวอย่างการเปรียบเทียบน้ำ 1 ลบ.ม. จุความร้อนหรือมีความร้อนอยู่ในตัวเท่ากับคอนกรีต หรือหิน 3 ลบ.ม.

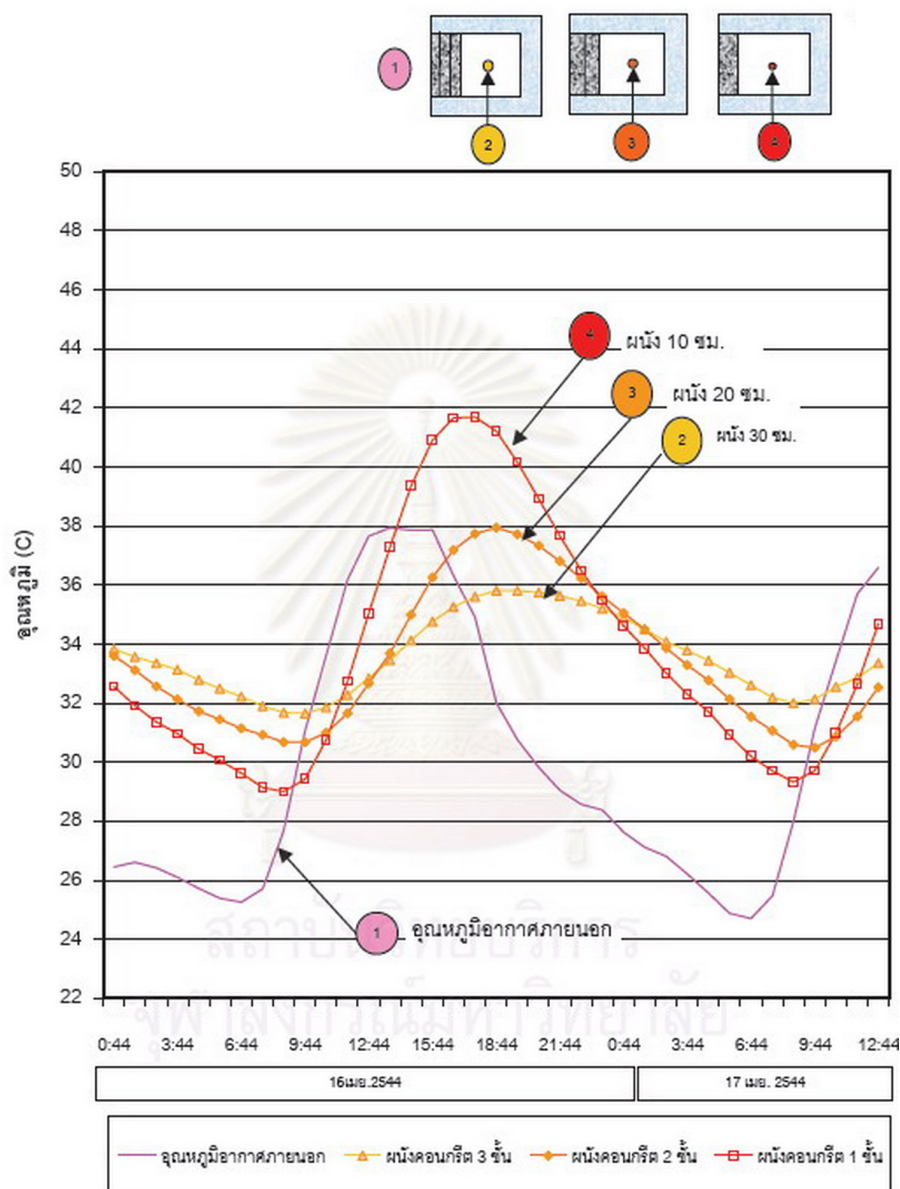
ที่มา : Lechner Norbert, Heating, cooling, lighting : design methods for architects (New York : John Wiley & Sons, 2001), 45.

ในการลดความร้อนด้วยการใช้มวลสารนี้ได้มีงานวิจัยของ ณัฐกานต์ เกษประทุม เรื่อง พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทดสอบ ความหนาของผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. พบว่า

(1) อาคารไม่ปรับอากาศและใช้งานในช่วงกลางวันเหมาะกับการใช้ผนังมวลสารมากที่มีความหนาเพื่อเพิ่มค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนทำให้อุณหภูมิภายในต่ำกว่าภายนอกในช่วงเวลากลางวัน แม้อุณหภูมิภายในจะไม่อยู่ในเขตสบายแต่สามารถใช้การพัดพาของอากาศเพื่อปรับอุณหภูมิให้เข้าสู่เขตสบายได้

(2) ในช่วงเวลากลางคืนหรือการใช้งานตลอดทั้งวันไม่เหมาะสมกับการใช้ผนังมวลสารมาก เนื่องจากจะมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอกในช่วงเวลากลางคืน

(3) อาคารที่ปรับอากาศไม่ตลอด 24 ชั่วโมงไม่เหมาะสมกับการใช้ผนังมวลสารมาก เนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะใช้พลังงานในการลดความร้อนสะสมในผนังเป็นปริมาณมากเพื่อจะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ



แผนภูมิที่ 1 อุณหภูมิภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ,20 และ 30 ซม. ทดลองวันที่ 16-17 เม.ย. 2544

ที่มา : ธรรมนูญ เกษประทุม, “พฤติกรรมถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก” (วิทยานิพนธ์ปริญญา-สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543), 105.

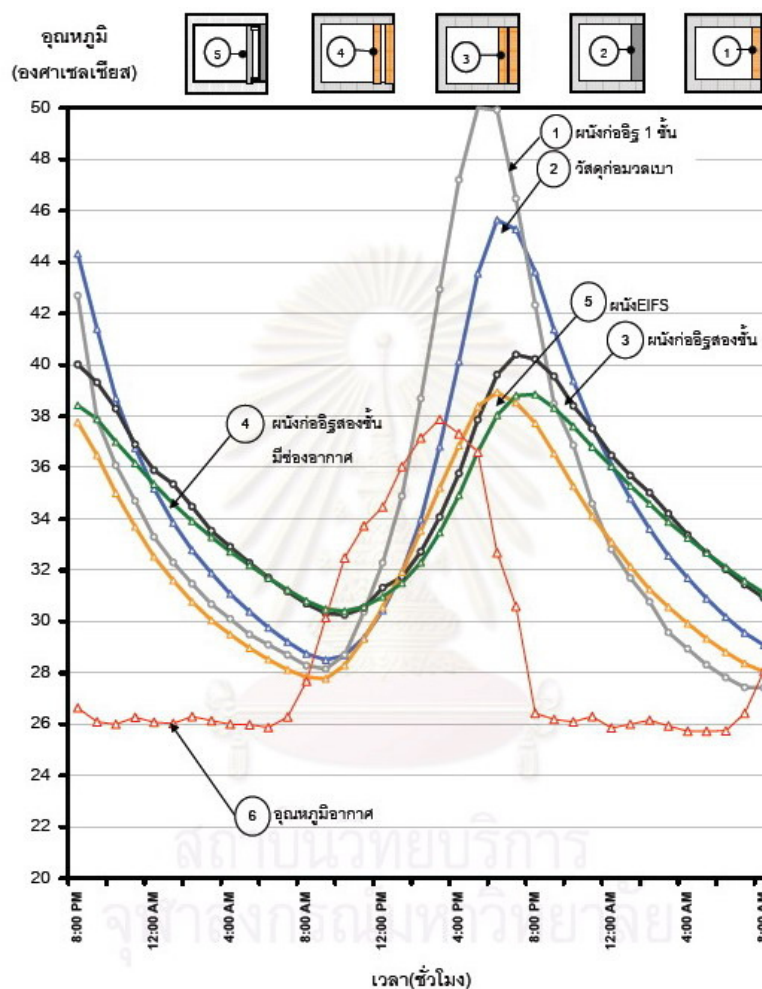
มวลของผนังและความจุความร้อนของวัสดุผนังมีส่วนในการหน่วงการถ่ายเทความร้อน ศักยภาพในการหน่วงความร้อนเป็นสัดส่วนกับผลคูณความหนาของผนัง (Thickness, m) ความหนาแน่น (Density, kg/m<sup>3</sup>) และความจุความร้อนของวัสดุ (Specific Heat, kJ/kg-K) ผลคูณนี้อาจเรียกว่า มวลอุณหภาพ (Thermal Mass) ในช่วงกลางคืนผนังจะคายความร้อนสู่บรรยากาศทำให้ผนังที่มีมวลอุณหภาพสูงเย็นลงเนื่องจากผ่านการคายความร้อนในช่วงกลางคืน ผนังดังกล่าวจะสามารถหน่วงการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในช่วงกลางวัน ในบริเวณอาคารที่ปรับอากาศที่เปิดใช้เฉพาะบางช่วงเวลาจากช่วงเช้า ผนังที่มีมวลอุณหภาพสูงจะช่วยหน่วงการถ่ายเทความร้อน ทำให้การะการปรับอากาศน้อยลงได้ ในทางตรงกันข้าม ในบริเวณอาคารที่ปรับอากาศที่เปิดใช้บางช่วงเวลาจากช่วงบ่ายจะได้รับความร้อนที่ผนังที่มีมวลอุณหภาพสูงดูดซับและเก็บไว้ตั้งแต่เช้า<sup>7</sup>

**3.2 การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน** เพื่อเพิ่มการต้านทานความร้อน มิให้ความร้อนผ่านจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งของผนังได้สะดวก โดยที่ใช้วัสดุที่เป็นฉนวนต้านทานการนำความร้อนโดยการสกัดกั้น ทำให้พลังงานความร้อนผ่านเข้าไปได้น้อยลง

จากวิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม (เทคโนโลยีอาคาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังวัสดุก่อของอาคารพักอาศัยในเขตร้อนชื้น โดย อุทัย ศุภิสกุลวงศ์ ได้ทำการทดสอบผนัง 5 ชนิดดังนี้ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว, ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้ว, ผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 นิ้วมีช่องอากาศ, ผนังวัสดุก่อมวลเบา และระบบผนังที่มีฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 3 นิ้ว พบว่า การใช้ผนัง EIFS กับอาคารไม่ปรับอากาศก็มีความร้อนผ่านเข้ามาในอาคารน้อยและในสภาวะที่ปรับอากาศก็สามารถประหยัดพลังงานได้สูงสุดเมื่อเทียบกับผนังหมด

---

<sup>7</sup> กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "เอกสารเผยแพร่แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน" (อัดสำเนา)



แผนภูมิที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของวัสดุ 5 ชนิด

ที่มา : อุตัย ศุภิสกุลวงศ์, “การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังวัสดุก่อของอาคารพักอาศัยในเขตร้อนชื้น” (วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543), 65.

### ตำแหน่งในการติดตั้งฉนวนที่ผนังอาคาร

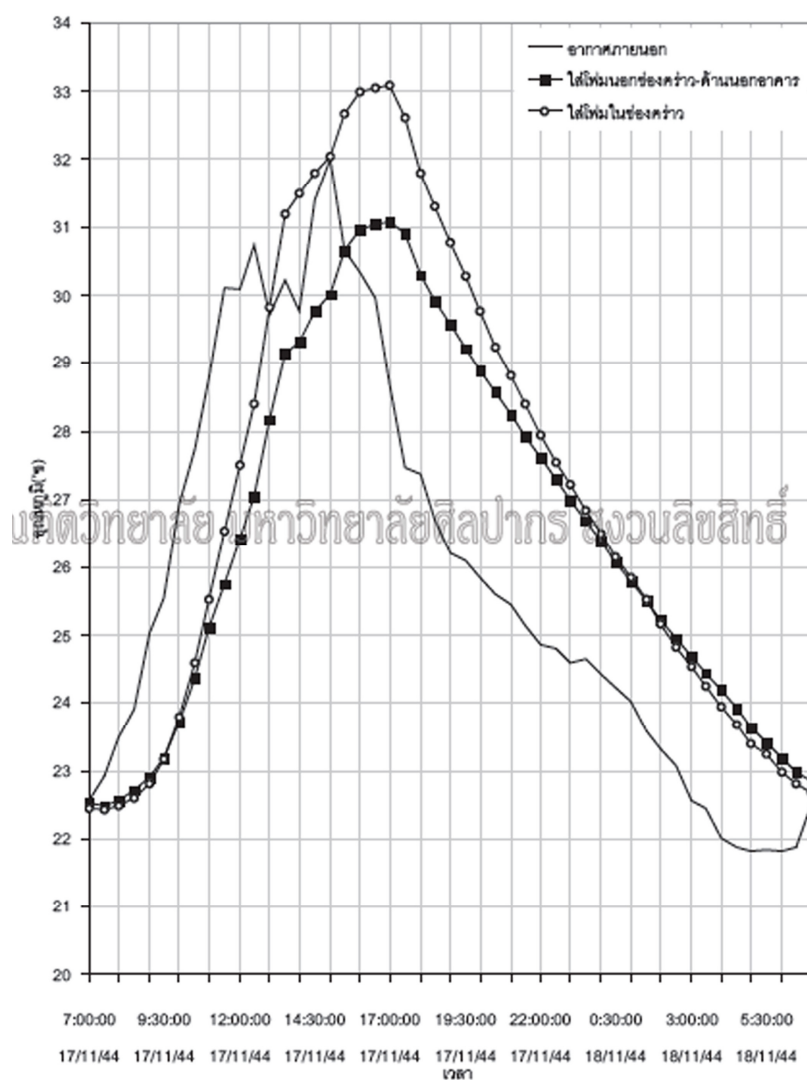
การใส่ฉนวนป้องกันความร้อนให้กับผนังอาคารนั้น นอกจากการเลือกใช้ฉนวนที่มีมากมายให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว ตำแหน่งในการติดตั้งก็เป็นอีกอย่างที่ต้องคำนึงในการใช้งานอีกด้วย ตำแหน่งในการติดตั้งฉนวนที่ผนังอาคารสามารถติดตั้งได้ 3 ตำแหน่ง คือ

1) ติดตั้งฉนวนไว้ด้านนอกอาคาร (Exterior Insulation) การใส่ฉนวนไว้ที่ด้านนอกอาคารจะสามารถลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้มากกว่าใส่ไว้ในตำแหน่งอื่นๆ

2) ติดตั้งฉนวนในช่องว่างระหว่างผนังชั้นนอกกับผนังชั้นใน (Cavity Insulation) โดยทั่วไปจะใช้กับอาคารที่อยู่ในภูมิอากาศแบบอบอุ่นหรือเขตที่มีฝนตกชุกและมีลมแรง ซึ่งช่องว่างอากาศจะช่วยป้องกันความชื้นให้กับผนังชั้นใน ในช่วงแรกฉนวนที่ใช้มักเป็นแบบพ่น เช่น โพลียูรีเทนโฟม (Polyurethane Foam) ซึ่งฉนวนประเภทนี้จะมีความต่อเนื่อง ไม่มีรอยต่อ จึงสามารถป้องกันความชื้นได้ดี ต่อมาจึงใช้ฉนวนโฟมแบบแผ่นซึ่งจะมีข้อดีในการช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับผนังชั้นในด้วย แม้ว่าการใส่ฉนวนไว้ในช่องว่างอากาศจะช่วยป้องกันฉนวนกันความร้อนจะสภาพภูมิอากาศได้ แต่ก็มีข้อจำกัด คือ ความหนาของฉนวนจะขึ้นอยู่กับความกว้างของช่องอากาศ รวมทั้งอาจเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำในช่องว่างอากาศซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ฉนวนและผนังได้ ดังนั้นจึงควรออกแบบให้สามารถระบายความชื้นได้โดยให้เหลือช่องว่างระหว่างแผ่นฉนวนกับผนังชั้นนอกเล็กน้อย

3) ติดตั้งฉนวนไว้ด้านในอาคาร (Interior Insulation) มักใช้ในกรณีที่ไม่สามารถใส่ฉนวนไว้ด้านนอกอาคารได้ เช่น ผนังอาคารที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์หรือมีคุณค่าทางสุนทรียภาพ ที่ต้องการรักษาไว้ หรือในกรณีที่อาคารไม่มีช่องว่างอากาศ ซึ่งมีข้อควรคำนึงถึง คือ ตำแหน่งของสวิตช์ เต้ารับ และสายไฟ การปิดผิวฉนวนที่ใส่ไว้ด้านในอาคารสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การฉาบผิวด้วยวัสดุฉาบ การปิดทับด้วยวัสดุแผ่น การปิดทับด้วยวัสดุก่อ เป็นต้น

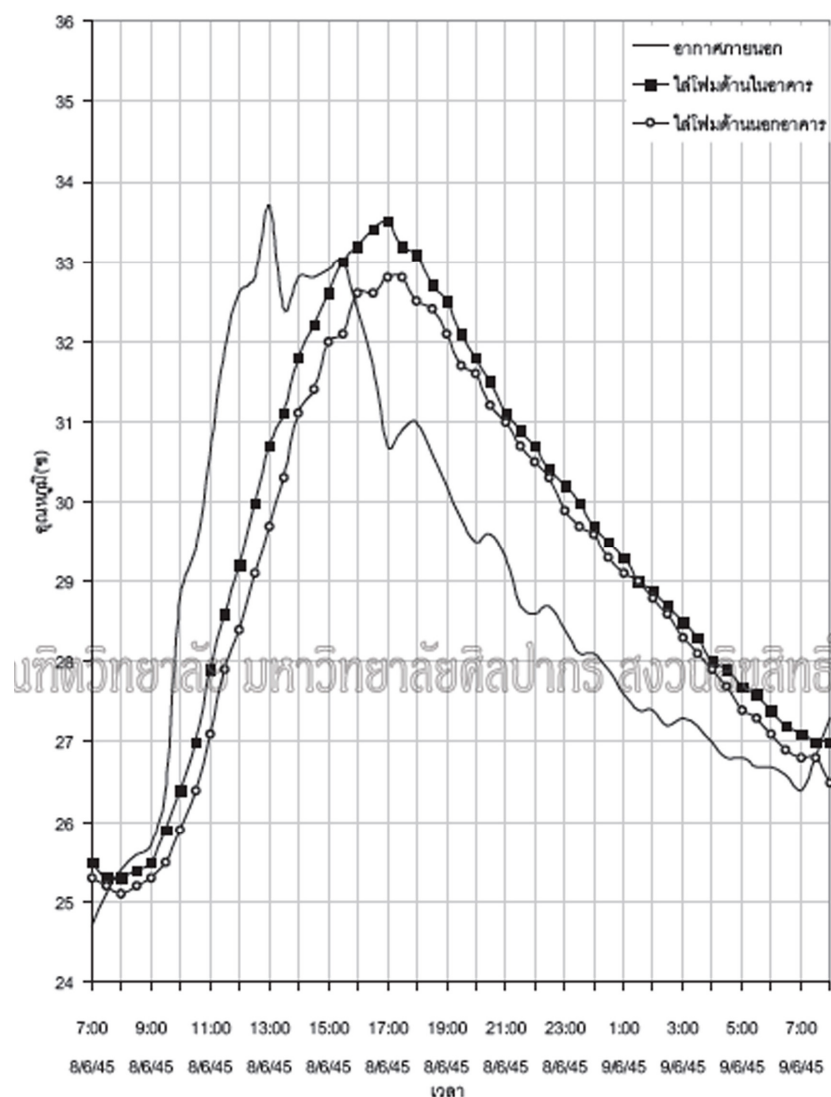
จากการวิจัยของ สกนธ์ ศรีวิไลสกุลวงศ์ เรื่องการพัฒนาระบบผนังโฟมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อน วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตยกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ทำการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติในการลดความร้อนของผนังโฟม ที่มีตำแหน่งการใส่ฉนวนโฟมที่โครงสร้างผนังแตกต่างกัน 3 ลักษณะ คือ ใส่ฉนวนโฟมนอกช่องค้ำและอยู่ด้านนอกอาคาร ใส่ฉนวนโฟมในช่องค้ำ และ ใส่ฉนวนโฟมนอกช่องค้ำแต่อยู่ด้านในอาคาร



แผนภูมิที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องทดสอบระหว่างผนังที่ใส่นวนโฟม

นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคารกับใส่นวนโฟมในช่องคร่าว ในช่วง 1 วัน

ที่มา : สกนธ์ ศรีวิไลสกุลวงศ์, “การพัฒนาระบบผนังโฟมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อน” (วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2545), 92.



แผนภูมิที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องระหว่างผนังที่ใส่นวนโพนนอกช่อง

คร่าวและอยู่ด้านนอกอาคารกับใส่โพนนอกช่องคร่าว แต่อยู่ด้านในอาคารในช่วง 1 วัน  
ที่มา : สกนธ์ ศรีวิไลสกุลวงศ์, “การพัฒนาระบบผนังโพนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อน” (วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2545), 98.

ผลการทดสอบพบว่า ผนังที่มีการใส่นวนโพนที่โครงสร้างผนังในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะข้างต้น จะมีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่คล้ายคลึงกัน โดยผนังที่ใส่โพนนอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคารจะสามารถลดความร้อนได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ผนังที่ใส่โพน นอกช่องคร่าวแต่อยู่ด้านในอาคาร และผนังที่ติดโพนในช่องคร่าว ตามลำดับ

จากการศึกษาเรื่องตำแหน่งของฉนวนโฟมของสภนธ์ ศรีวิไลสกุลวงศ์ พบว่ามีความสอดคล้องกับการวิจัยเรื่อง อิทธิพลของการห่อหุ้มเหี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน โดย รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ ดังนี้ ในการศึกษาเพื่อหาตำแหน่งฉนวนและมวลสารที่เหมาะสมได้ใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนา 1 นิ้ว ติดตั้งกับมวลสารคอนกรีตความหนา 4 นิ้ว 2 ชุด การติดตั้งฉนวนได้ทำการติดตั้งฉนวนด้านนอกแผ่นคอนกรีตทั้งกลางแผ่นคอนกรีต และด้านในแผ่นคอนกรีต

จากการทดสอบพบว่าตำแหน่งของฉนวนและมวลสารที่เหมาะสม คือ การใช้วัสดุฉนวนด้านนอกเพื่อลดอิทธิพลที่รุนแรงจากสภาพภูมิอากาศภายนอก และใช้วัสดุมวลสารที่มีค่าความจุความร้อนสูงไว้ด้านในเพื่อห่อหุ้มเหี่ยวความร้อนที่ผ่านวัสดุฉนวนเข้ามา พบว่าควรใช้การติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารด้านในทั้งสองกรณี อย่างไรก็ตามมีข้อควรระวังในการเลือกใช้ปริมาณมวลสารภายในสภาพปรับอากาศ เนื่องจากมวลสารปริมาณมากทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการลดความร้อนสะสมภายในมวลสารเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ

**3.3 การลดความร้อนโดยการบังแดดให้กับผนังอาคาร** โดยป้องกันไม่ให้ผนังได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยตรงเพื่อลดปริมาณความร้อนที่สะสมด้านนอก

การบังแดดให้กับผนังอาคารสามารถบังเงาโดยใช้วัสดุต่างๆมาบังให้เกิดร่มเงาแก่ผนัง เช่น การใช้ผนัง 2 ชั้น, การใช้แผงกันแดดหรือการจัดสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม การใช้ต้นไม้ยืนต้นในการปรับสภาพแวดล้อม ป้องกันการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์



ภาพที่ 16 แสดงการใช้ผนังสองชั้นเพื่อบังแดดทางทิศตะวันตก ของบ้านประหยัดพลังงานมหาวิทยาลัยศิลปากร (ที่ตั้ง จ. นครปฐม)



ภาพที่ 17 การใช้ต้นไม้ในการปรับสภาพแวดล้อม

การลดความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร โดยใช้ต้นไม้ในการปรับสภาพแวดล้อม ป้องกันการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เป็นแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้อีกทางหนึ่งโดยไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและส่งผลดีในระยะยาว

จากวิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม (เทคโนโลยีอาคาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เรื่อง การใช้ต้นไม้ยืนต้นในการปรับสภาพแวดล้อม เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร โดย กาญจนา สิริภัทรวณิช พบว่า การวัดปริมาณการแผ่รังสีแนวตั้งภายใต้ร่มเงาต้นไม้ร่มเงา ซึ่งเสมือนเกิดที่ผนังอาคารทั้ง 8 ทิศเปรียบเทียบกับกลางแจ้ง ทำให้ทราบถึงความสำคัญของร่มเงา และพุ่มใบที่สามารถลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการลดอุณหภูมิซิล-แอร์ ประสิทธิภาพของพุ่มใบต้นไม้จึงขึ้นอยู่กับทรงพุ่มและความหนาแน่น รวมทั้งขึ้นอยู่กับปริมาณการแผ่รังสีที่ผ่านลงมา ซึ่งมีความสัมพันธ์สำคัญกับช่วงเวลาและสัดส่วนสภาพท้องฟ้า โดยถ้าสัดส่วนสูงต้นไม้ยืนต้นจะมีประสิทธิภาพในการสกัดกั้นรังสีดวงอาทิตย์ได้มาก จากการวิจัยพบว่า ต้นพิกุลสามารถลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าต้นจามจุรี ณ ผิวผนังทิศตะวันออก, ทิศใต้, ทิศตะวันตก, ทิศเหนือ, ทิศตะวันออกเฉียงใต้, ทิศตะวันตกเฉียงใต้, ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ, และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เท่ากับ 0.8%, 0.9%, 4.7%, 0%, 0.3%, 3.5% 0.5% และ 0.6% ตามลำดับ สำหรับในเดือนที่มีการใช้พลังงานสูงสุด พบว่าต้นจามจุรี และต้นพิกุลสามารถลดภาระปรับอากาศลงได้ 11.88% และ 13.52% และการใช้ค่าพลังงานในอาคารลดลงได้ 13.85% และ 15.63% ต่อปี โดยเปรียบเทียบกับผนังที่ไม่มีการบังแดด

ผลการวิจัยพบว่า สามารถลดปริมาณการแผ่รังสีได้ดี และสามารถลดอุณหภูมิให้แก่ผิวหนังภายนอกอาคารได้แตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะทรงพุ่มและความหนาแน่น และผลการวิจัยเปรียบเทียบต้นพิกุล สามารถสกัดกั้นรังสีดวงอาทิตย์ได้ดีกว่าต้นจามจุรี ทั้งรังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีสะท้อน เนื่องจากใบพุ่มใบมีความหนา และลักษณะทรงพุ่มกลม โดยต้นไม้ทั้ง 2 ชนิดนี้ สามารถสกัดกั้นรังสีดวงอาทิตย์ได้ดีในทิศที่มีการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์เป็นช่วงเวลานาน และทิศที่สกัดกั้นได้น้อย คือทิศเหนือ ซึ่งเป็นทิศที่ส่วนใหญ่ของปีเป็นรังสีกระจายและรังสีสะท้อน

### บทที่ 3

#### การดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางการลดความร้อนให้แก่ผนังทิศตะวันตก โดยเปรียบเทียบการใช้วัสดุและวิธีการก่อสร้างผนังรวม 6 ชนิด (42 รูปแบบ) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

#### 1. ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มวัสดุและวิธีการก่อสร้างผนัง โดยใช้วิธีการลดความร้อน ในแบบต่างๆ แบ่งได้ 3 วิธี ดังนี้

- 1) การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร
- 2) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน
- 3) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน+มวลสาร

#### 2. ขั้นตอนการแบ่งสถานการณ์ต่างๆ แบ่งได้ 2 กรณี ดังนี้

- 1) กรณีปรับอากาศ (เวลากลางวัน 08.00-17.00 น.และกลางคืน 21.00-06.00 น.)
  - เมื่อเป็นผนังที่บัพทั้งหมด
  - เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย ซึ่งเป็นเกณฑ์ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 39
  - เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก
- 2) กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน (24ชม.) เมื่อผนังทางทิศตะวันตกเป็นผนังที่บัพเพียงอย่างเดียว

#### 3. ขั้นตอนการหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี และหาค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ

- 1) หาค่าอุณหภูมิอากาศภายใน, ผิวภายในและผิวภายนอก ของวัสดุผนังทั้ง 6 ชนิด โดยการจำลองกล่องทดสอบขนาด 60x60x60 ซม. ด้วยโปรแกรม EnergyPlus และเลือกผนังที่ลดความร้อนได้ดีที่สุด 2 ชนิด

2) นำผนังที่ลดความร้อนได้ดีที่สุด 2 ชนิด (จากข้อ 1) มาสร้างกล่องทดลองและวัดผลอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในสถานะการณ์จริงและเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมและการวัดจริง

3) หากผลที่ได้ (จากข้อ 2) ไม่ถูกต้อง จะกลับไปแก้ไขค่าที่นำเข้าไปในโปรแกรม (ในข้อ 1) เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่ถูกต้อง

4) ทำการจำลองหาค่าพลังงานในการปรับอากาศของห้องที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งใช้ค่าที่เหมาะสมจากการแก้ไขในข้อ 3 เพื่อจำลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีในกรณีต่างๆ

5) จำลองห้องที่ใช้ในงานวิจัย (เหมือนข้อ 4) ในกรณีไม่ปรับอากาศ เพื่อทำการศึกษาค่าอุณหภูมิอากาศภายใน, อุณหภูมิผิวภายในและอุณหภูมิผิวนอก ที่เกิดขึ้นจากการจำลองด้วยโปรแกรม

#### 4. ขั้นตอนการหาความคุ้มค่า

ซึ่งทั้ง 4 ขั้นตอนข้างต้น มีรายละเอียดการดำเนินงาน ดังนี้

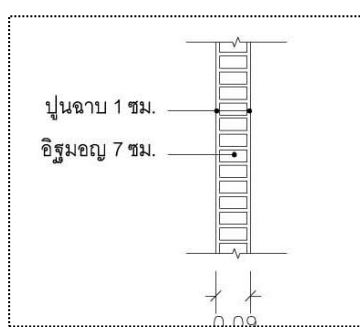
## 1. การแบ่งกลุ่มวัสดุและวิธีการก่อสร้างผนัง

ในการแบ่งกลุ่มวัสดุ จะแบ่งโดยการใช้วิธีลดความร้อน 3 วิธีคือ การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร, การใช้ฉนวนและการใช้ฉนวน+มวลสาร เพื่อจะได้ผนังที่ทำการทดสอบทั้งหมด 6 ชนิดดังนี้

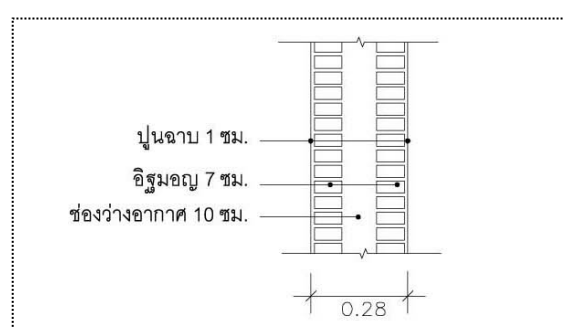
1) การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร เพื่อการหน่วงความร้อน ก่อนที่ความร้อนจะผ่านเข้ามาในอาคาร ผนังที่ทำการทดสอบ 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น

แบบที่ 2 ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.



แบบที่ 1 ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น



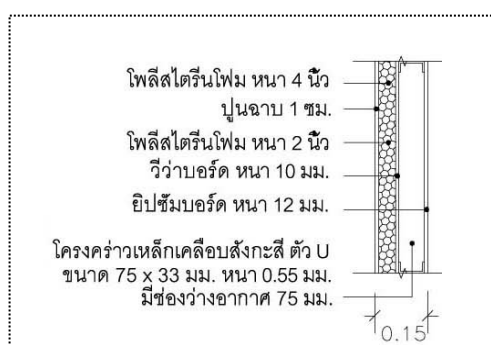
แบบที่ 2 ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 2 ชั้น  
มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

2) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน โดยเพิ่มการต้านทานความร้อน มิให้ความร้อนผ่านจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งของผนังได้สะดวก โดยที่ใช้วัสดุที่เป็นฉนวนต้านทานการนำความร้อน ผนังที่ทำการทดสอบ 2 แบบ คือ

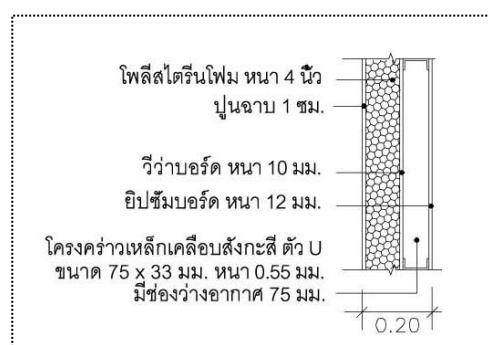
แบบที่ 3 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 4 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

โดยที่ผนังแบบที่ 3 และ 4 ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมชนิดเบ่งขยายตัว (Expanded polystyrene foam, EPS)



แบบที่ 3 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าว  
และอยู่ด้านนอกอาคาร

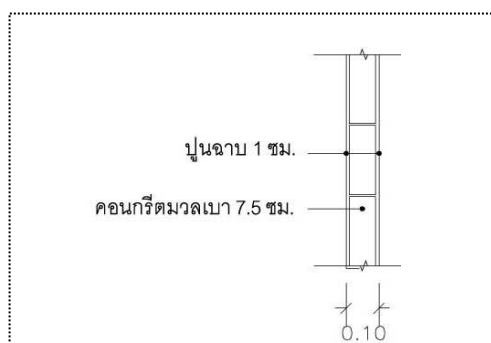


แบบที่ 4 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าว  
และอยู่ด้านนอกอาคาร

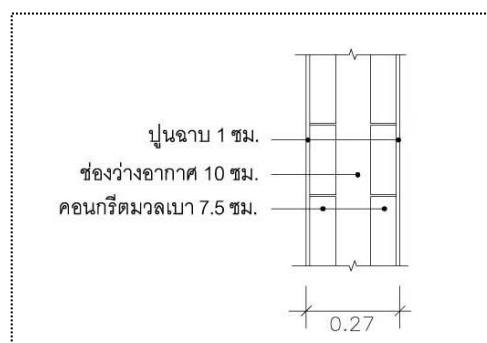
3) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวนรวมกับมวลสาร โดยเป็นการเพิ่มการ  
ต้านทานและการหน่วงความร้อนให้กับผนัง ซึ่งผนังที่ทำการทดสอบ 2 แบบคือ

แบบที่ 5 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น ฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 6 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. และ  
ฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน



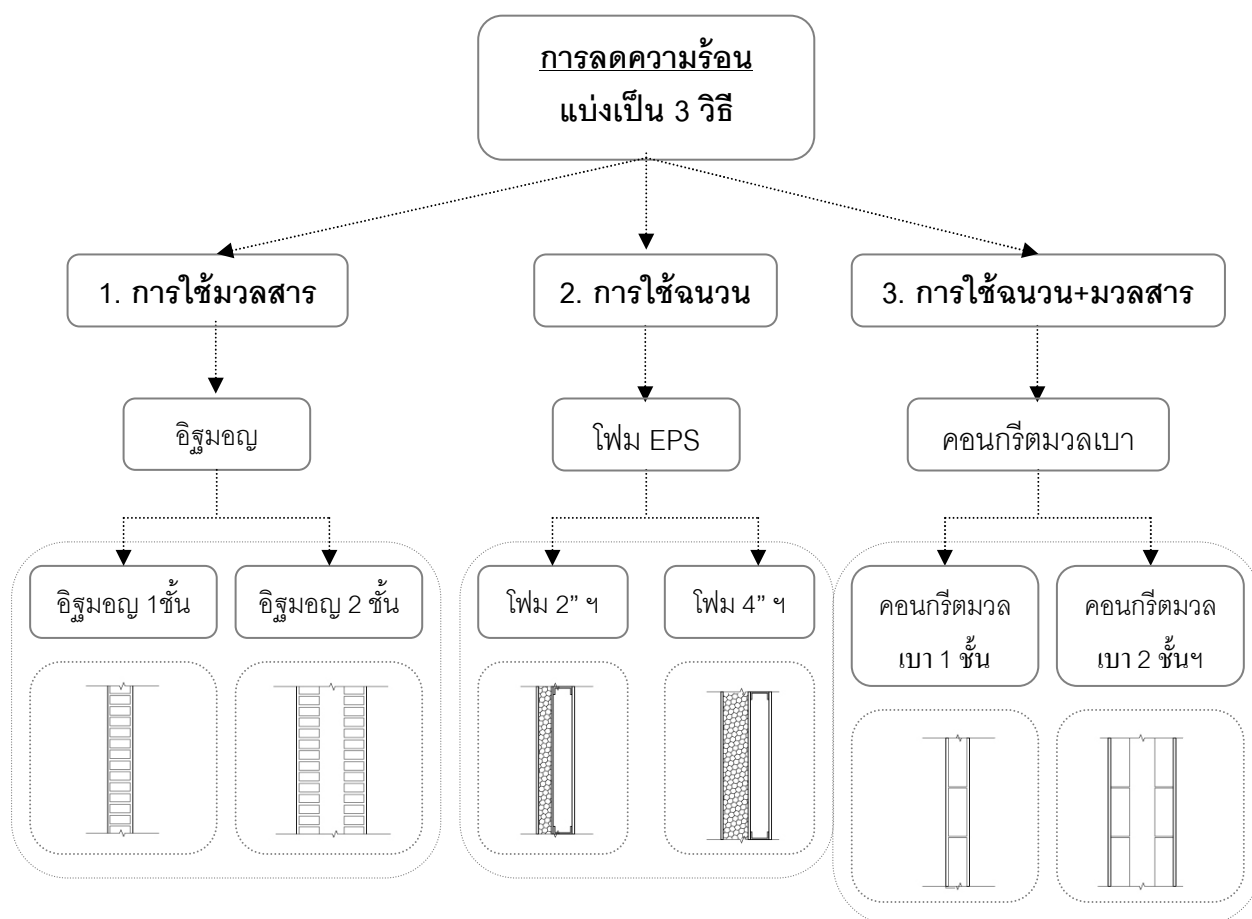
แบบที่ 5 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น



แบบที่ 6 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น  
มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

โดยผนังทั้งหมด 6 ชนิด ข้างต้นที่เลือกศึกษานี้ เป็นผนังที่พบในการก่อสร้างบ้านพัก  
อาศัยในประเทศไทยในปัจจุบัน ทั้งบ้านทั่วไปและบ้านที่ต้องการประหยัดพลังงาน

จากขั้นตอนการแบ่งกลุ่มวัสดุและวิธีการก่อสร้างผนังข้างต้น สามารถนำมาสรุปเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 5 แสดงขั้นตอนการแบ่งกลุ่มวัสดุและวิธีการก่อสร้างผนังทั้ง 6 ชนิด

## 2. การแบ่งสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

การกำหนดสถานการณ์ต่างๆ ในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 กรณีหลักคือ กรณีปรับอากาศและไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน โดยแบ่งตามลักษณะการใช้งานจริงที่พบเห็นได้ในบ้านพักอาศัยทั่วไป

ในที่นี้ยังได้แบ่ง การออกแบบผนังทางทิศตะวันตกออกเป็น 3 กรณีคือ (1) เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด, (2) เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย ซึ่งเป็นเกณฑ์ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎหมายฉบับที่ 39, (3) เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก โดยสามารถลำดับกรณีศึกษาต่างๆ เป็นหัวข้อได้ ดังนี้

### 1. กรณีปรับอากาศ

#### 1.1 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด

1.1.1 กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.)

1.1.2 กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน (21.00-06.00 น.)

1.2 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย ซึ่งเป็นเกณฑ์ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎหมายฉบับที่ 39

1.2.1 กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.)

1.2.2 กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน (21.00-06.00 น.)

#### 1.3 เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก

1.3.1 กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.)

1.3.2 กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน (21.00-06.00 น.)

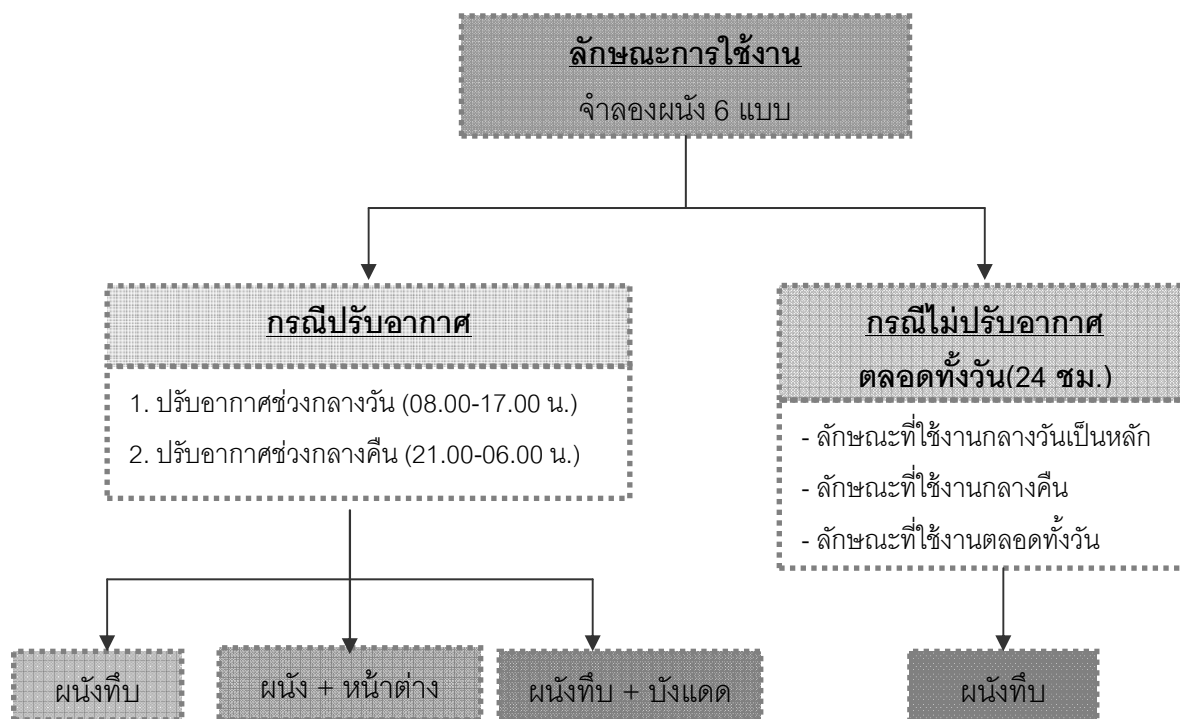
2. กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน (24ชม.) เมื่อผนังทางทิศตะวันตกเป็นผนังทึบเพียงอย่างเดียว

2.1 ลักษณะที่ใช้งานกลางวันเป็นหลัก

2.2 ลักษณะที่ใช้งานกลางคืน

2.3 ลักษณะที่ใช้งานตลอดทั้งวัน

จากการกำหนดกรณีศึกษาต่างๆ ข้างต้น สามารถนำมาสรุปเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 6 แสดงการกำหนดกรณีศึกษาต่างๆ ข้างต้น

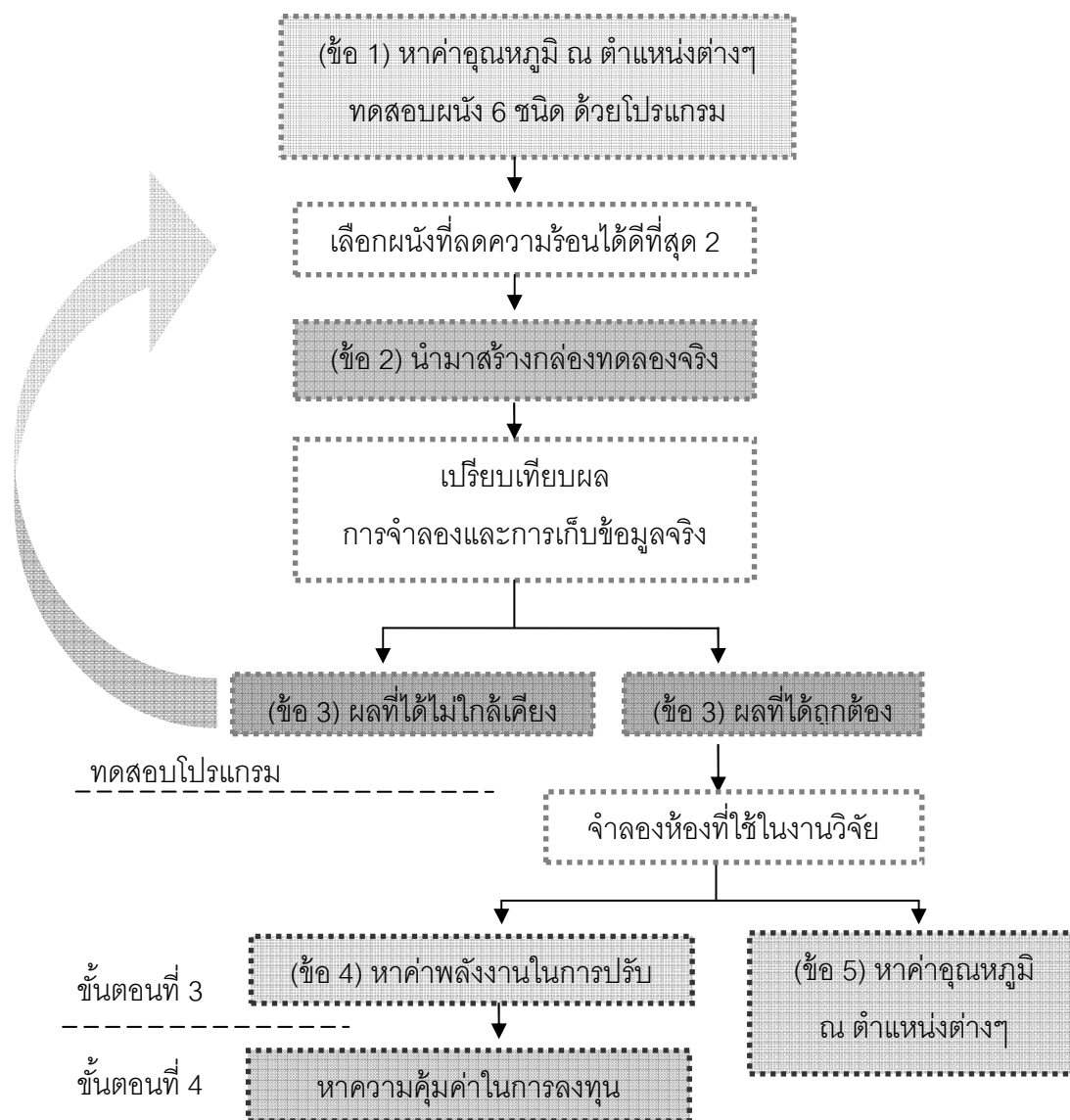
### 3. การหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีและหาค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ใช้การจำลองผนังทดสอบด้วยโปรแกรม EnergyPlus เพื่อหาค่าพลังงานการใช้ไฟฟ้าและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ แทนการสร้างผนังทดสอบจริง เนื่องจากถ้าทำการก่อสร้างจริงจะทดลองได้เพียงกล่องทดสอบเท่านั้น เพราะข้อจำกัดต่างๆ เช่น ด้านสถานที่, ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่างๆ และยังใช้เวลานานอีกด้วย เป็นต้น ดังนั้นจึงใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการศึกษางานวิจัยชิ้นนี้

ในขั้นตอนนี้ได้มีการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมและทดสอบค่าที่นำเข้าไปในโปรแกรม ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจริงก่อนการนำมาใช้จำลองห้องที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดดังนี้

- 1) หาค่าอุณหภูมิอากาศภายใน, ผิวภายในและผิวภายนอก ของวัสดุผนังทั้ง 6 ชนิด โดยการจำลองกล่องทดสอบขนาด 60x60x60 ซม. ด้วยโปรแกรม EnergyPlus และเลือกผนังที่ลดความร้อนได้ดีที่สุด 2 ชนิด
- 2) นำผนังที่ลดความร้อนได้ดีที่สุด 2 ชนิด (จากข้อ 1) มาสร้างกล่องทดลองและวัดผลอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในสถานะการณ์จริงและเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมและการวัดจริง
- 3) หากผลที่ได้ (จากข้อ 2) ไม่ถูกต้อง จะกลับไปแก้ไขค่าที่นำเข้าไปในโปรแกรม (ในข้อ 1) เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่ถูกต้อง
- 4) ทำการจำลองหาค่าพลังงานในการปรับอากาศของห้องที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งใช้ค่าที่เหมาะสมจากการแก้ไขในข้อ 3 เพื่อจำลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีในกรณีต่างๆ
- 5) จำลองห้องที่ใช้ในงานวิจัย (เหมือนข้อ 4) ในกรณีไม่ปรับอากาศ เพื่อทำการศึกษาค่าอุณหภูมิอากาศภายใน, อุณหภูมิผิวภายในและอุณหภูมิผิวภายนอก ที่เกิดขึ้นจากการจำลองด้วยโปรแกรม

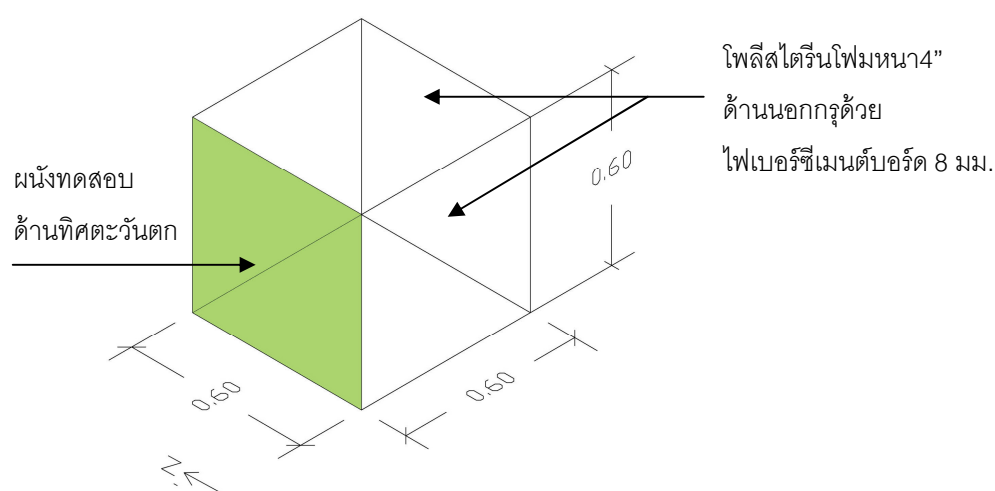
ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีและหาค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ



แผนภูมิที่ 7 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีและหาค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ

1.1) หาค่าอุณหภูมิอากาศภายใน, ผิวภายในและผิวนอก ของวัสดุผนังทั้ง 6 ชนิด โดยการจำลองกล่องทดสอบขนาด 60x60x60 ซม. ด้วยโปรแกรม EnergyPlus และเลือกผนังที่ลดความร้อนได้ดีที่สุด 2 ชนิด

โดยที่ กล่องทดสอบมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีขนาดภายในกล่อง กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 60 x 60 x 60 ซม. ผนังทั้ง 5 ด้านเป็นโพลีไธรีนโฟม 4" ด้านนอกกรุด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 8 มิลลิเมตร

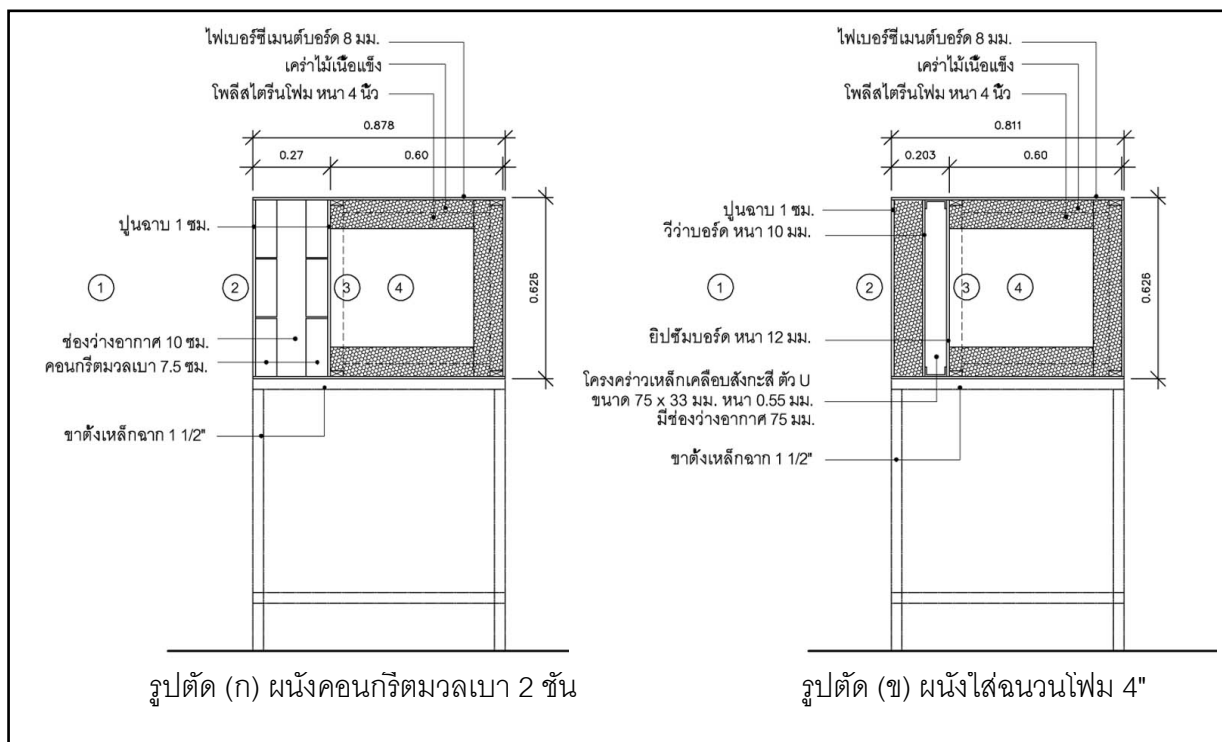


ภาพที่ 18 แสดงลักษณะกล่องทดสอบ

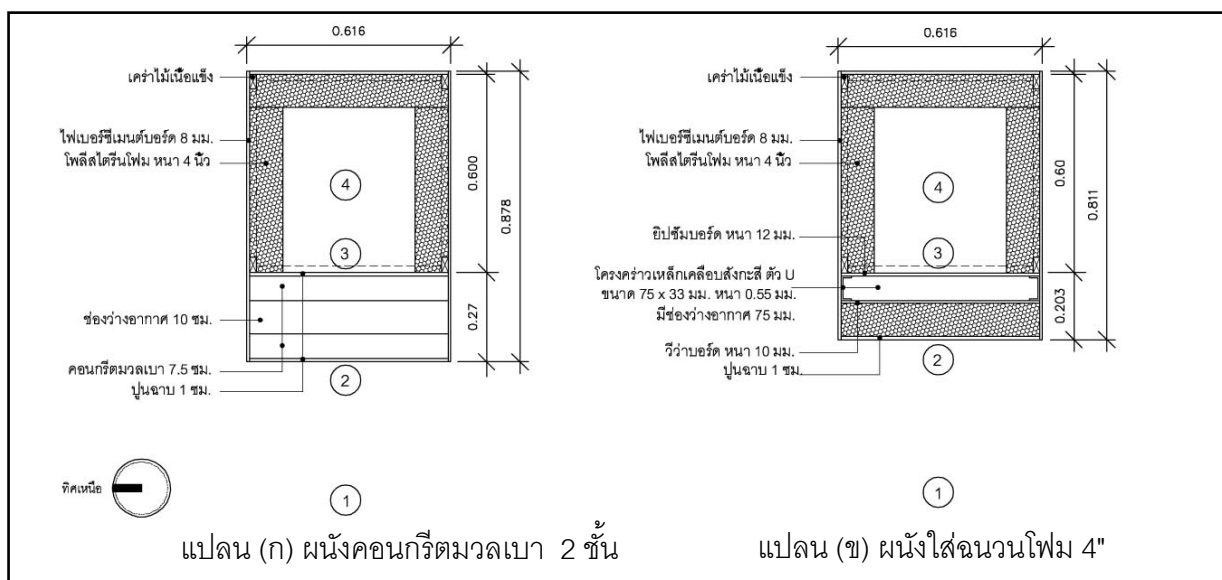
ซึ่งผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมเป็นดังนี้ ผนังที่ลดความร้อนได้ดีที่สุด 2 แบบ โดยดูจากอุณหภูมิอากาศภายในเป็นหลัก คือ ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. และ ผนังใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

1.2) นำผนังที่ลดความร้อนได้ดีที่สุด 2 ชนิด (จากข้อ 1.1) มาสร้างกล่องทดลองและวัดผลอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในสถานะการณ์จริงและเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมและการวัดจริง

โดยลักษณะกล่องทดลองที่วัดค่าจริงเหมือนกล่องที่จำลองในโปรแกรมทุกประการ ซึ่งรายละเอียดโครงสร้างและวิธีการก่อสร้างของผนังทดสอบเป็นดังนี้



ภาพที่ 19 แสดงรูปตัดกล่องทดลอง และตำแหน่งติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 20 ตำแหน่งการวางกล่องทดลอง และตำแหน่งติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

- จุดที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายนอก      จุดที่ 2 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่อง  
จุดที่ 3 อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง      จุดที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง

กำหนดตำแหน่งจุดที่ใช้วัดอุณหภูมิต่างๆ ด้วยสาย Thermocouple Type-T รวมทั้งหมด 7 จุด คือ

- อุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง 1 จุด
- อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่อง กล่องละ 1 จุด รวม 2 จุด
- อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง กล่องละ 1 จุด รวม 2 จุด
- อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง กล่องละ 1 จุด รวม 2 จุด

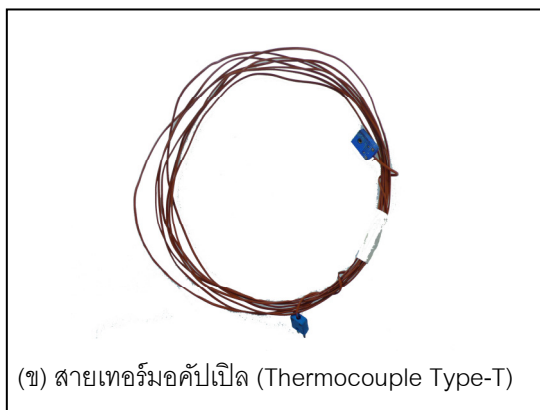
โดยทำการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง 24 ชม. ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล DATA LOGGER รุ่น TESTO 177 ทุก 10 นาที ตั้งแต่วันที่ 16-19 ก.ค. 2551 สถานที่ตั้งกล่องทดลองคือชั้นดาดฟ้า คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตวังท่าพระ และหันหน้ากล่องทดลองไปทางทิศตะวันตก เพื่อทำการทดสอบตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการลดความร้อนต่อไป

### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องบันทึกข้อมูล DATA LOGGER รุ่น TESTO 177 เป็นตัวเก็บข้อมูลจากสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)



(ก) เครื่องบันทึกข้อมูล DATA LOGGER รุ่น TESTO 177



(ข) สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Type-T)



(ค) เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูล

ภาพที่ 21 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ทำการวัดผลอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในสถานะการณ์จริง



ภาพที่ 22 แสดงการติดตั้งสายสายเทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple) เพื่อทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย

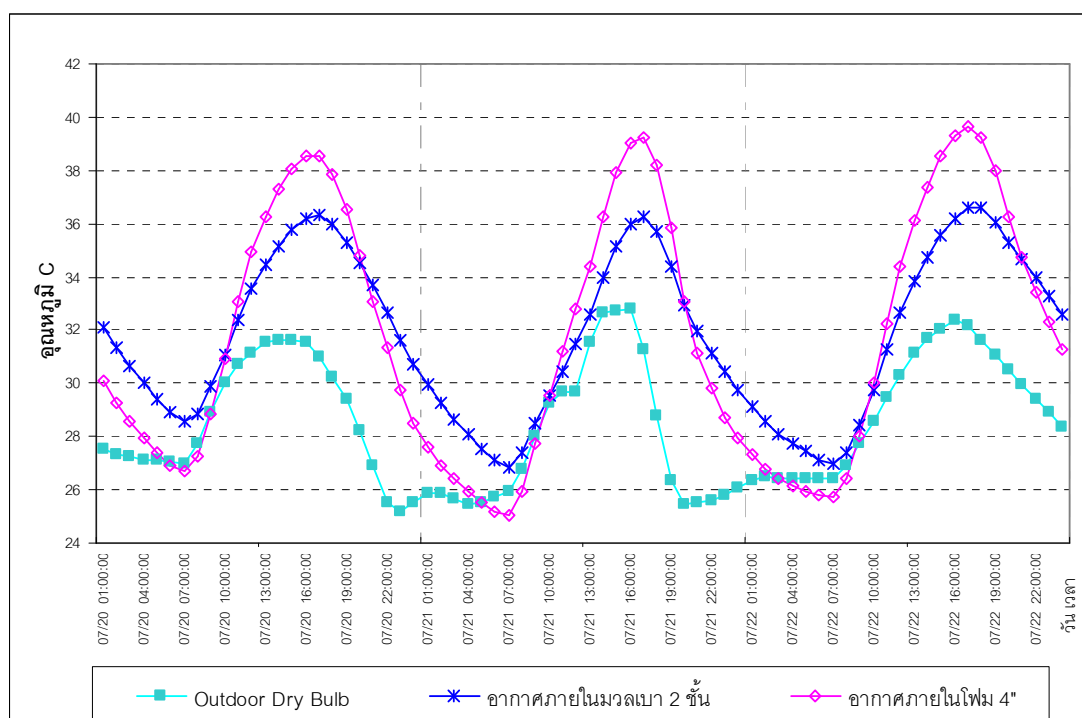


ภาพที่ 23 แสดงการติดตั้งสายสายเทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple) เพื่อทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย

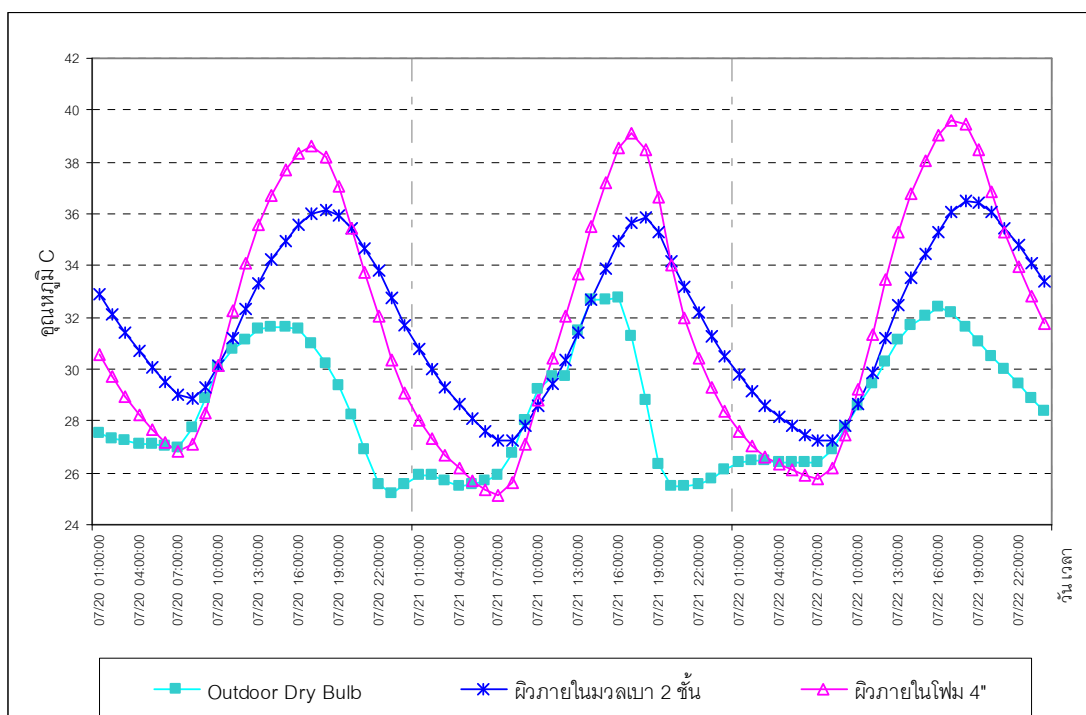
1.3) หากผลที่ได้ (จากข้อ1.2) ไม่ถูกต้อง จึงกลับไปแก้ไขค่าที่นำเข้าไปโปรแกรม (ในข้อ1.1) เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่ถูกต้อง มีรายละเอียดดังนี้

จากการทดสอบโปรแกรมและการวัดจริง ผลการเปรียบเทียบพบว่า ผลจากการใช้โปรแกรมเพื่อหาค่าอุณหภูมิอากาศภายใน, ผิวภายในและผิวนอกของผนังทดสอบนั้น มีค่าสูงกว่าการวัดจริง ซึ่งผลเป็นดังนี้

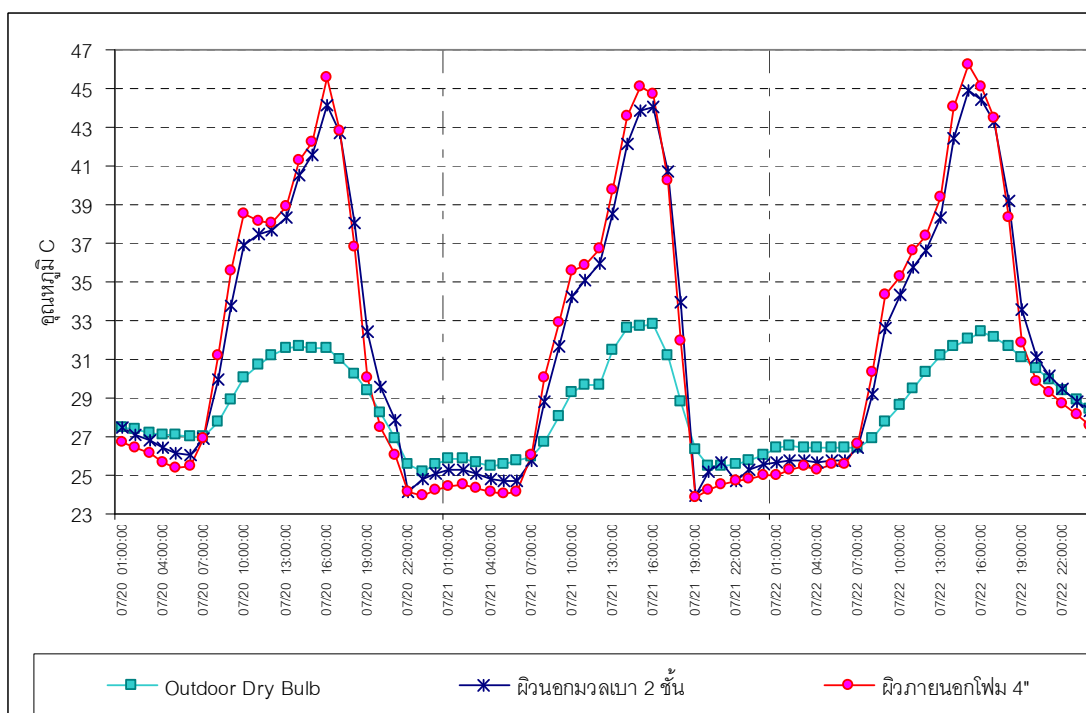
ผลการทดลองจากการใช้โปรแกรม Energy Plus (ครั้งแรก)



แผนภูมิที่ 8 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน จากการใช้โปรแกรม (ครั้งที่ 1)



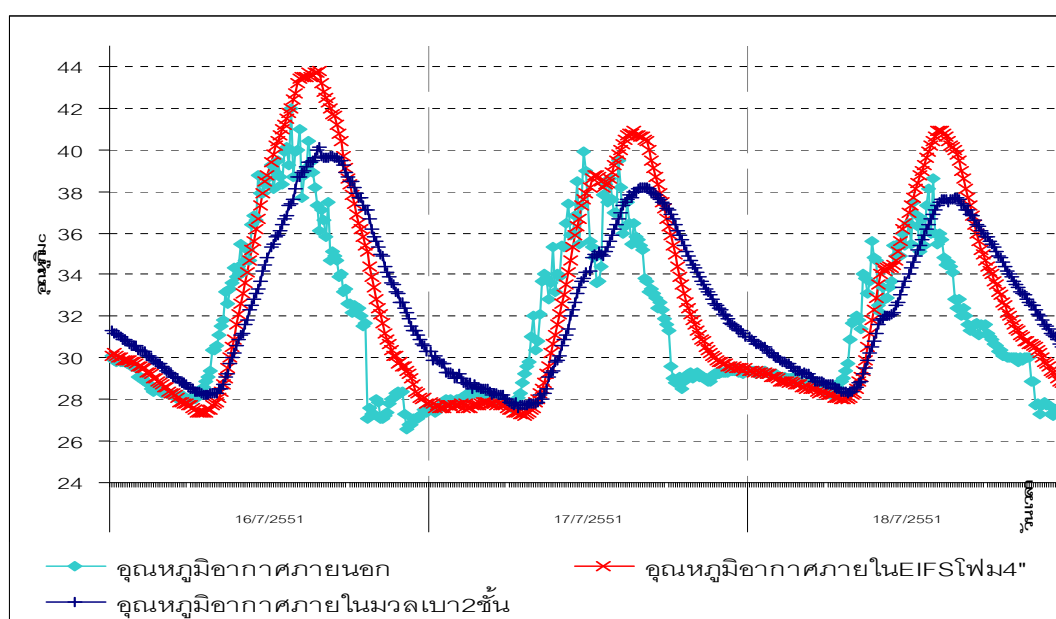
แผนภูมิที่ 9 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน จากการใช้โปรแกรม (ครั้งที่ 1)



แผนภูมิที่ 10 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก จากการใช้โปรแกรม (ครั้งที่ 1)

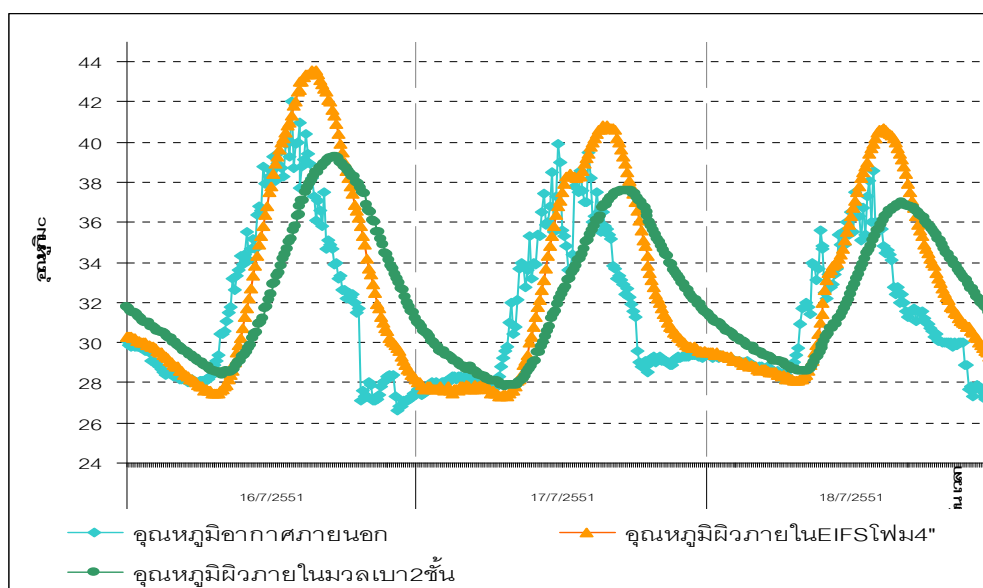
จากแผนภูมิที่ 8 และ 9 จะเห็นว่า อุณหภูมิสูงสุดของผนังทั้งสองชนิด สูงกว่า อุณหภูมิอากาศภายนอก อยู่ค่อนข้างสูงประมาณ 4-8 °ซ เมื่อเทียบกับการวัดจริง (แผนภูมิที่ 11 และ 12 )

ผลจากการสร้างกล่องทดลองจริง



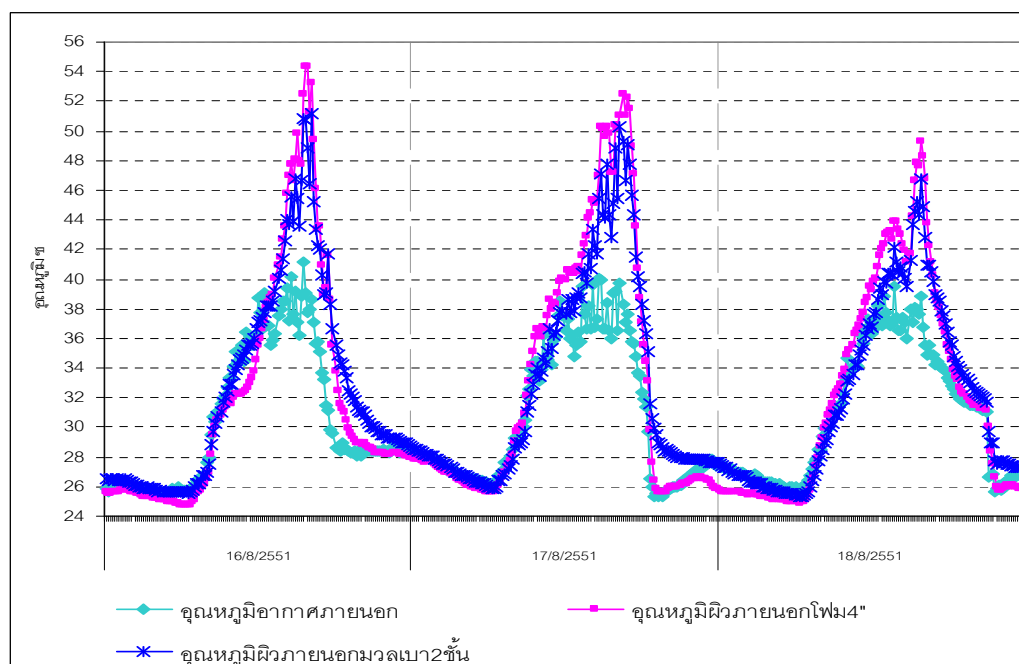
แผนภูมิที่ 11 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน จากการวัดจริง (วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551)

จากแผนภูมิที่ 11 พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 2 ชนิดจะมี ช่วงอุณหภูมิสูงสุด ต่างกันประมาณ 2-3 °ซ (15.00น.) ส่วนช่วงอุณหภูมิต่ำสุดต่างกัน ประมาณ 1 °ซ (7.00น.)



แผนภูมิที่ 12 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน จากการวัดจริง วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551

จากแผนภูมิที่ 12 พบว่า อุณหภูมิผิวภายใน ของผนังทั้ง 2 ชนิดจะมี อุณหภูมิสูงสุดต่างกัน ประมาณ 2-3 °ซ (15.40-17.20น.) ส่วนช่วงอุณหภูมิต่ำสุดต่างกันประมาณ 1 °ซ (7.30น.)



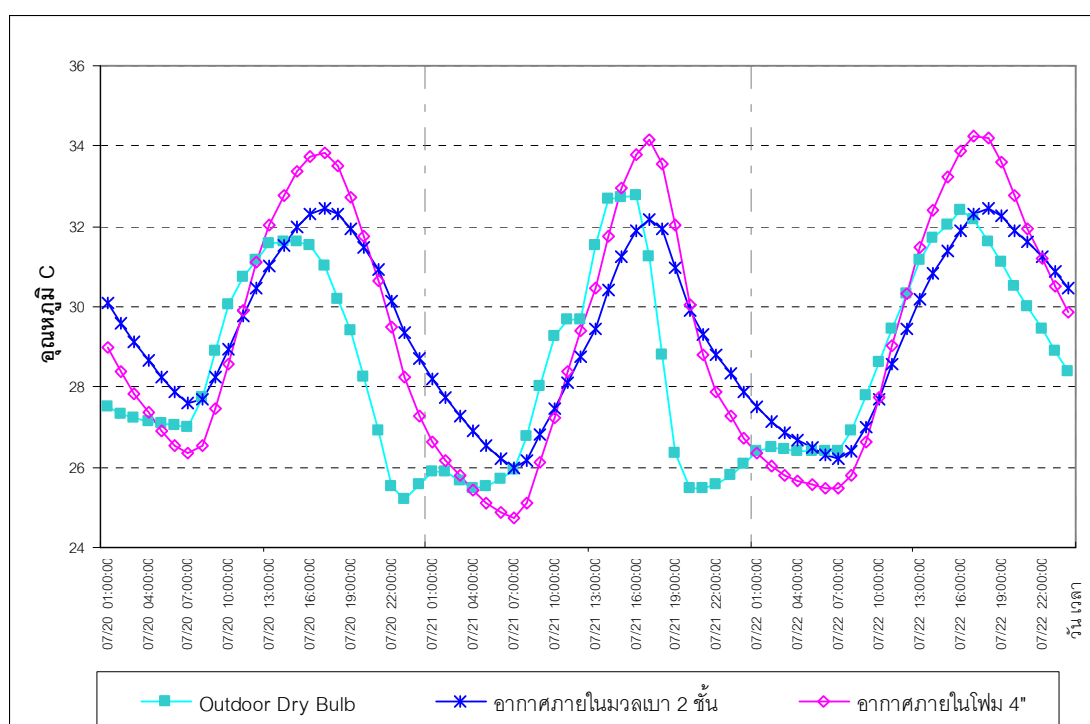
แผนภูมิที่ 13 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอก จากการวัดจริง วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551

จากแผนภูมิที่ 13 พบว่า อุณหภูมิผิวภายนอกของผนังทั้ง 2 ชนิดจะมีอุณหภูมิสูงสุดต่างกันประมาณ 1-2 °ซ (15.00น.) ส่วนช่วงอุณหภูมิต่ำสุดต่างกันประมาณ 1-2 °ซ ( 24.00-08.00น.)

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม (จำลองครั้งแรก) และการวัดจริง ดังนั้น จึงทำการแก้ไขค่าที่นำเข้า คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ จากเดิมใส่เท่ากับ 0.7 (วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม) เป็น 0.4 (วัสดุที่มีผิวสีขาว-สีปานกลาง)

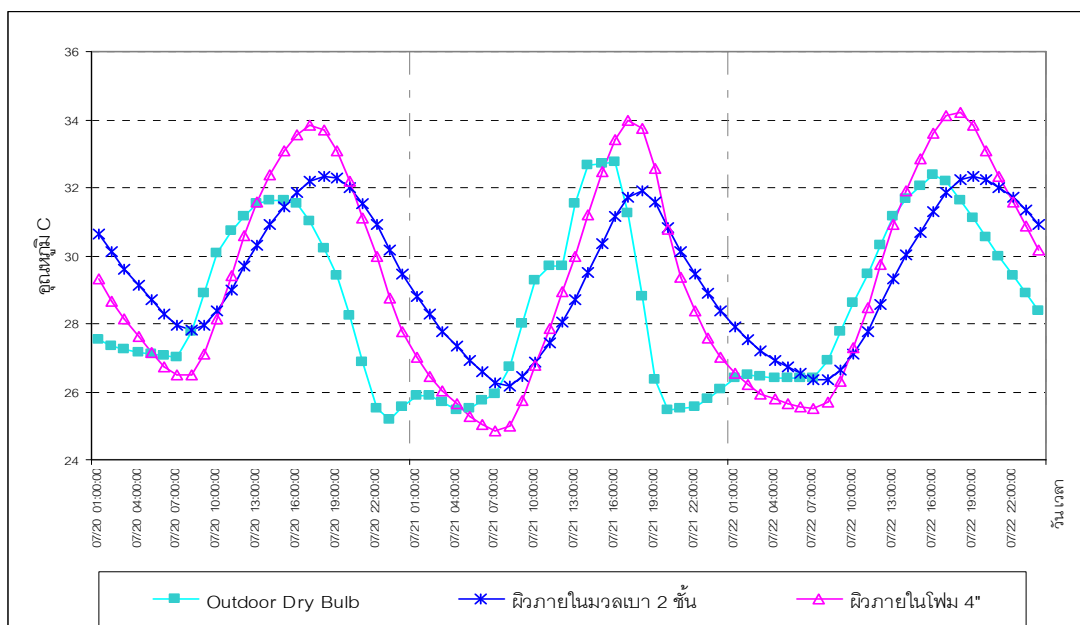
จากการแก้ไขค่าดังกล่าว ผลที่ออกมามีความถูกต้องมากขึ้นจึงใช้ในงานวิจัยนี้ต่อไป

ผลจากการแก้ไขค่าที่นำเข้าแล้ว



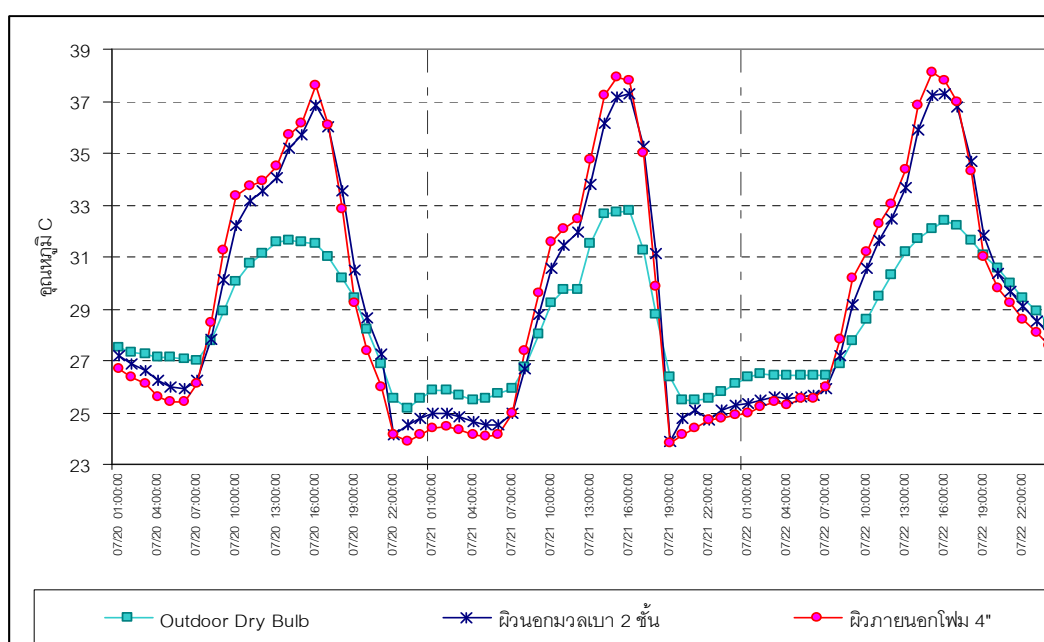
แผนภูมิที่ 14 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน จากการใช้โปรแกรม วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551

จากแผนภูมิที่ 14 พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 2 ชนิดจะมี ช่วงอุณหภูมิสูงสุดต่างกันประมาณ 2 °ซ (17.00น.) ส่วนช่วงอุณหภูมิต่ำสุดต่างกันประมาณ 1 °ซ (7.00น.)



แผนภูมิที่ 15 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายใน จากการใช้โปรแกรม วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551

จากแผนภูมิที่ 15 พบว่า อุณหภูมิผิวภายในของผนังทั้ง 2 ชนิดจะมี ช่วงอุณหภูมิสูงสุดต่างกันประมาณ 2 °ซ (17.00น.) ส่วนช่วงอุณหภูมิต่ำสุดต่างกันประมาณ 1 °ซ (7.00น.)



แผนภูมิที่ 16 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอก จากการใช้โปรแกรม วันที่ 16-18 กรกฎาคม 2551

จากแผนภูมิที่ 16 พบว่า อุณหภูมิผิวภายนอกของผนังทั้ง 2 ชนิด จะมีช่วงอุณหภูมิสูงสุดต่างกันไม่มากประมาณ  $1^{\circ}\text{C}$  (16.00น.) ส่วนช่วงอุณหภูมิต่ำสุด ต่างกันไม่เกิน  $2^{\circ}\text{C}$  (22.00-06.00น.)

### สรุปผลการเปรียบเทียบ

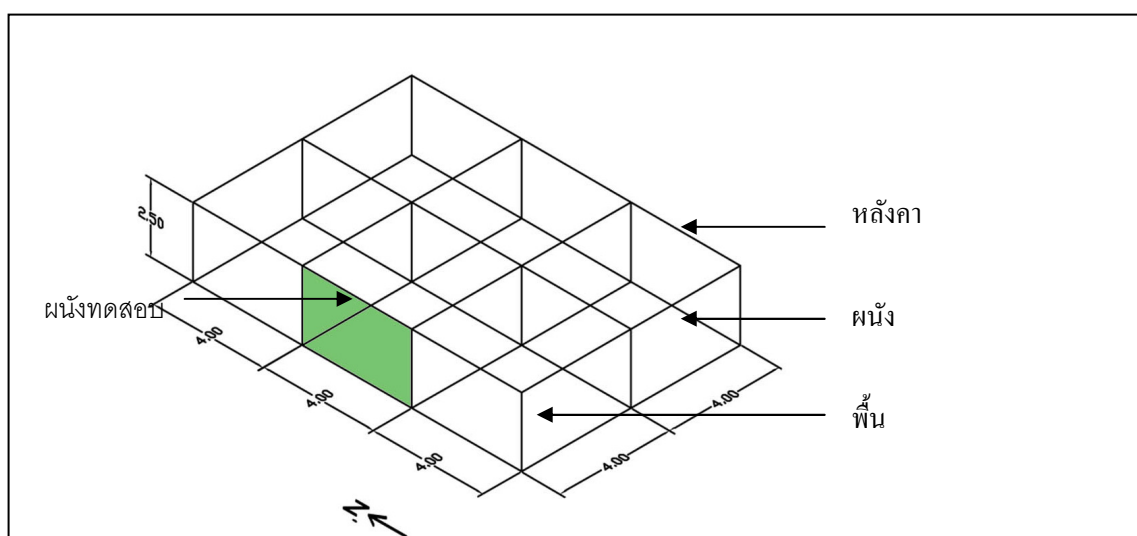
จากการเปรียบเทียบแผนภูมิข้างต้น จะเห็นว่า มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบ Time Lag ผนังโฟม 4" ๔ จากโปรแกรม และวัดจริง เท่ากับ 1 ชั่วโมง, 30 นาที ส่วนผนังมวลเบา 2 ชั้น ๔ เท่ากับ 2 และ 2.30 ชั่วโมง ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในพบว่าผนังโฟม 4" ๔ จากโปรแกรม และวัดจริง เท่ากับ 9 และ  $14^{\circ}\text{C}$  ส่วนผนังมวลเบา 2 ชั้น เท่ากับ 6 และ  $11^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ

เนื่องจากข้อมูลสภาพอากาศของโปรแกรม เป็นข้อมูลที่ได้จากการเฉลี่ย 10 ปีก่อนนี้ จึงอาจเป็นผลให้ความสูงต่ำของอุณหภูมิที่วัดได้ไม่เหมือนกับการใช้กล่องทดลองจริง

1.4) ทำการจำลองหาค่าพลังงานในการปรับอากาศของห้องที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งใช้ค่าที่เหมาะสมจากการแก้ไขในข้อ 1.3 เพื่อจำลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีจากรูปแบบผนังที่ทำการทดสอบทั้งหมดแบ่งได้เป็นกรณีต่างๆ ดังนี้

#### ลักษณะอาคารที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 24 แสดงลักษณะอาคารที่ใช้ในการจำลอง ขนาด 4.00 x 4.00 x 2.50 m.

#### วัสดุที่ใช้ประกอบด้วย

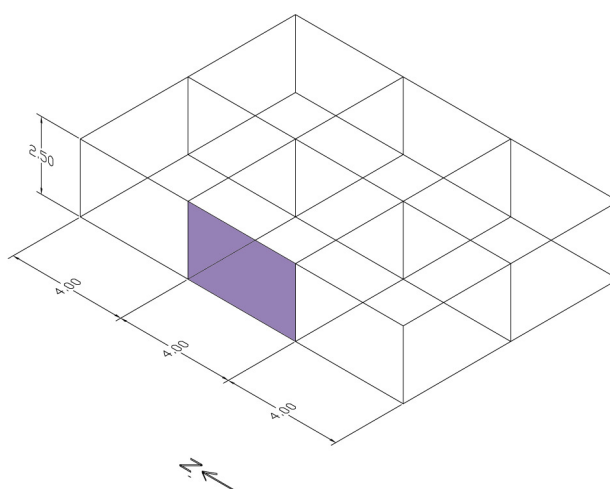
- ผนังทิศตะวันตก เป็นผนังทดสอบและผนัง 3 ด้านที่เหลือเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น
- หลังคา เป็นหลังคาคอนกรีต
- พื้น เป็นคอนกรีตกระเบื้องเซรามิค

เหตุผลที่เลือกรูปแบบอาคารในภาพที่ 24 เนื่องจากการจำลองลักษณะการใช้งานจริง โดยกำหนดให้อาคารมีขนาด 4.00x4.00x2.50 m. เท่ากับห้องนอน, ห้องเดี่ยวในอพาร์ทเมนต์ หรือห้องพักที่พบเห็นได้ทั่วไป

รูปแบบผนังที่ทำการทดสอบทั้งหมดแบ่งได้เป็นกรณีต่างๆ ดังนี้

## 1. กรณีปรับอากาศ

### 1.1 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด



ภาพที่ 25 ลักษณะห้องที่ใช้ในงานวิจัยเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด

#### 1.1.1 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน

(08.00-17.00 น.)

แบบที่ 1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

แบบที่ 2 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

แบบที่ 3 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 4 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 5 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น ฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 6 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

และฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

### 1.1.2 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน

(21.00-06.00 น.)

แบบที่ 7 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

แบบที่ 8 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

แบบที่ 9 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

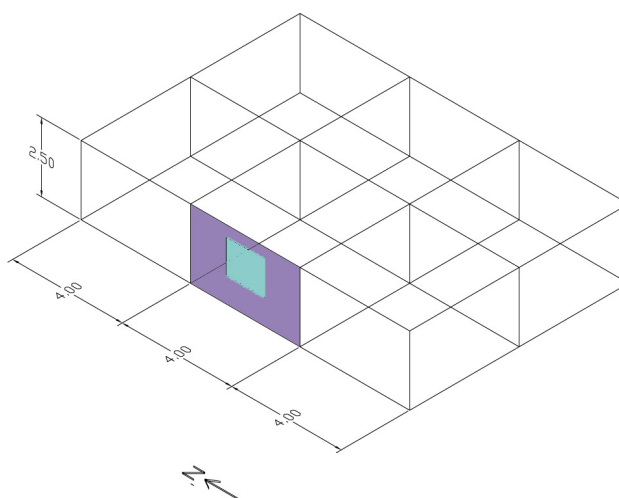
แบบที่ 10 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 11 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น ฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 12 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

และฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

### 1.2 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย ซึ่งเป็นเกณฑ์ของ หน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎหมายฉบับที่ 39



ภาพที่ 26 ลักษณะห้องที่ใช้ในงานวิจัยเมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย

#### 1.2.1 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย กรณีปรับ อากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.)

แบบที่ 13 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

แบบที่ 14 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

แบบที่ 15 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 16 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 17 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น ฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 18 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.  
และฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

### 1.2.2 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย กรณีปรับ อากาศช่วงกลางวัน (21.00-06.00 น.)

แบบที่ 19 ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูน 1 ชั้น

แบบที่ 20 ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

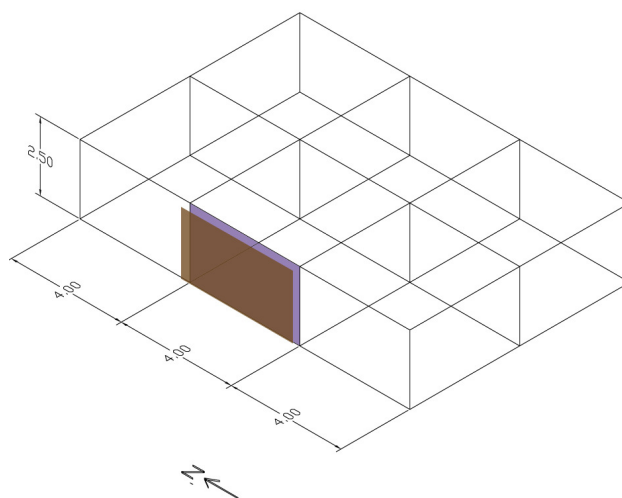
แบบที่ 21 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 22 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 23 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น ฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 24 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง  
10 ซม. และฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

### 1.3 เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก



ภาพที่ 27 ลักษณะห้องที่ใช้ในงานวิจัย เมื่อมีการบังแดด

#### 1.3.1 เมื่อมีการบังแดด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.)

แบบที่ 25 ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูน 1 ชั้น

แบบที่ 26 ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

แบบที่ 27 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 28 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 29 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น ฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 30 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง

10 ซม. และฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

### 1.3.2 เมื่อมีการบังแดด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (21.00-06.00 น.)

แบบที่ 31 ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูน 1 ชั้น

แบบที่ 32 ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

แบบที่ 33 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 34 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

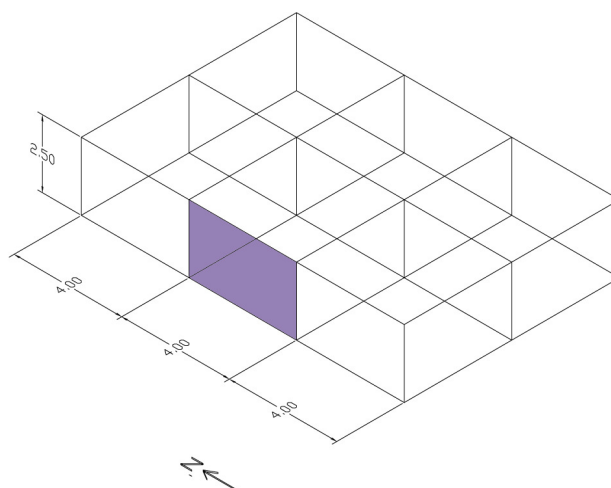
แบบที่ 35 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น ฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 36 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง

10 ซม. และฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

ดังนั้น กรณีปรับอากาศทั้งหมด รวมผนังทดสอบเท่ากับ 36 รูปแบบ

1.5) จำลองห้องที่ใช้ในงานวิจัย (เหมือนข้อ 1.4) ในกรณีไม่ปรับอากาศ เพื่อทำการศึกษาค่าอุณหภูมิอากาศภายใน, อุณหภูมิผิวภายในและอุณหภูมิผิวนอก ที่เกิดขึ้นจากการจำลองด้วยโปรแกรม



ภาพที่ 28 ลักษณะห้องที่ใช้ในงานวิจัยเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด

### เมื่อผนังทางทิศตะวันตกเป็นผนังทึบเพียงอย่างเดียว

แบบที่ 37 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

แบบที่ 38 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

แบบที่ 39 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 40 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

แบบที่ 41 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น ฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 42 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

และฉาบปูนมวลเบาทั้ง 2 ด้าน

ดังนั้น กรณีไม่ปรับอากาศทั้งหมด รวมผนังทดสอบเท่ากับ 6 รูปแบบ

**สรุป ผนังที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ทั้งหมด ทั้งในกรณีปรับและไม่ปรับอากาศ  
รวม 42 รูปแบบ**

#### 4. หาค่าความคุ้มค่าในการลงทุน

ในการศึกษาได้นำค่าไฟฟ้าที่ลดลงมาทำการเปรียบเทียบกับราคาค่าก่อสร้างผนังที่เพิ่มขึ้น โดยเปรียบเทียบผนังทดสอบชนิดต่างๆ กับการใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น เนื่องจากผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย

โดยคิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ซึ่งนำค่า Ft รวมภาษีมูลค่าเพิ่มเป็นหน่วยละ 3.80 บาท

ในส่วนของพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Energy Plus จะทำการแปลงให้เป็นค่าปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งกำหนดให้เครื่องปรับอากาศมีค่า COP (Coefficient of Performance) เท่ากับ 2.82 (เทียบได้กับแอร์เบอร์ 4) โดยปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จะมีค่าเท่ากับภาระการทำความเย็นหารด้วย COP

$$\text{ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (บาท)} = \text{ปริมาณการใช้พลังงานต่อปี (Kwh)} \times \text{ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท)}$$

การคำนวณราคาค่าก่อสร้างและค่าแรง ดูรายละเอียดที่ภาคผนวก ง

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผนังในรูปแบบต่างๆ เพื่อหาแนวทางการลดความร้อนผ่านผนังทิศตะวันตก ด้วยการใช้โปรแกรม Energy Plus เพื่อจำลองหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กรณีปรับอากาศ) และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ (กรณีไม่ปรับอากาศ) โดยเปรียบเทียบการใช้วัสดุและวิธีการก่อสร้างผนัง รวม 6 ชนิด ซึ่งทำการศึกษาในหลายๆ กรณี ดังนี้

#### 1. กรณีปรับอากาศ

##### 1.1 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด

1.1.1 กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.)

1.1.2 กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน (21.00-06.00 น.)

1.2 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย ซึ่งเป็นเกณฑ์ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎหมายฉบับที่ 39

1.2.1 กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.)

1.2.2 กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน (21.00-06.00 น.)

##### 1.3 เมื่อมีการบังแดดให้แกผนังทิศตะวันตก

1.3.1 กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.)

1.3.2 กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน (21.00-06.00 น.)

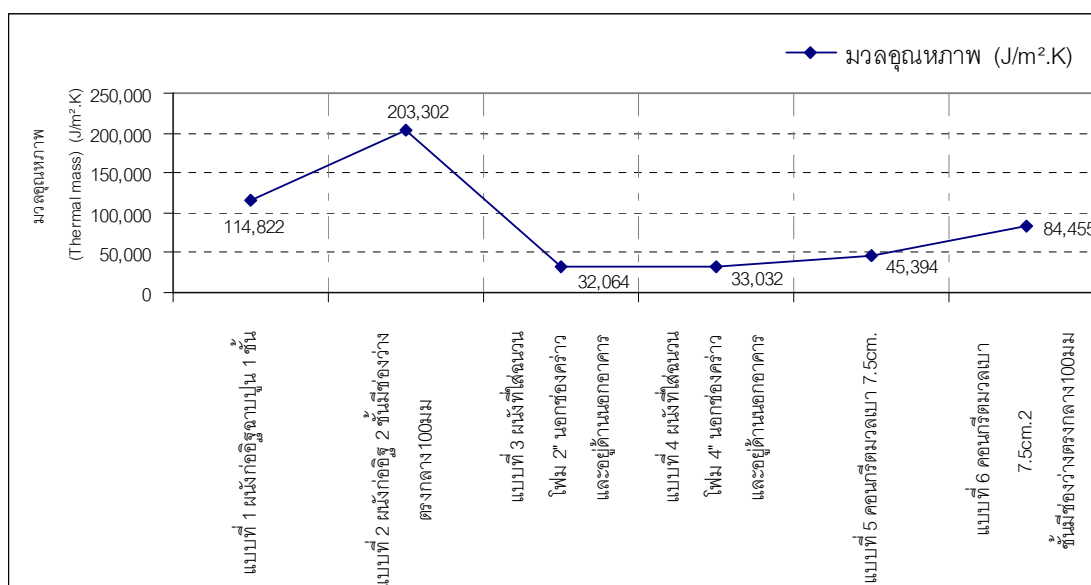
2. กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน (24ชม.) เมื่อผนังทางทิศตะวันตกเป็นผนังทึบเพียงอย่างเดียว

จากการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังตะวันตานั้น พบว่า ค่า Thermal Mass, ค่า R, ค่า U และค่ามวลรวมของผนังทั้ง 6 ชนิด เป็นดังนี้

ตารางที่ 7 แสดงค่า Thermal Mass, ค่า R, ค่า U และค่ามวลรวมของวัสดุ

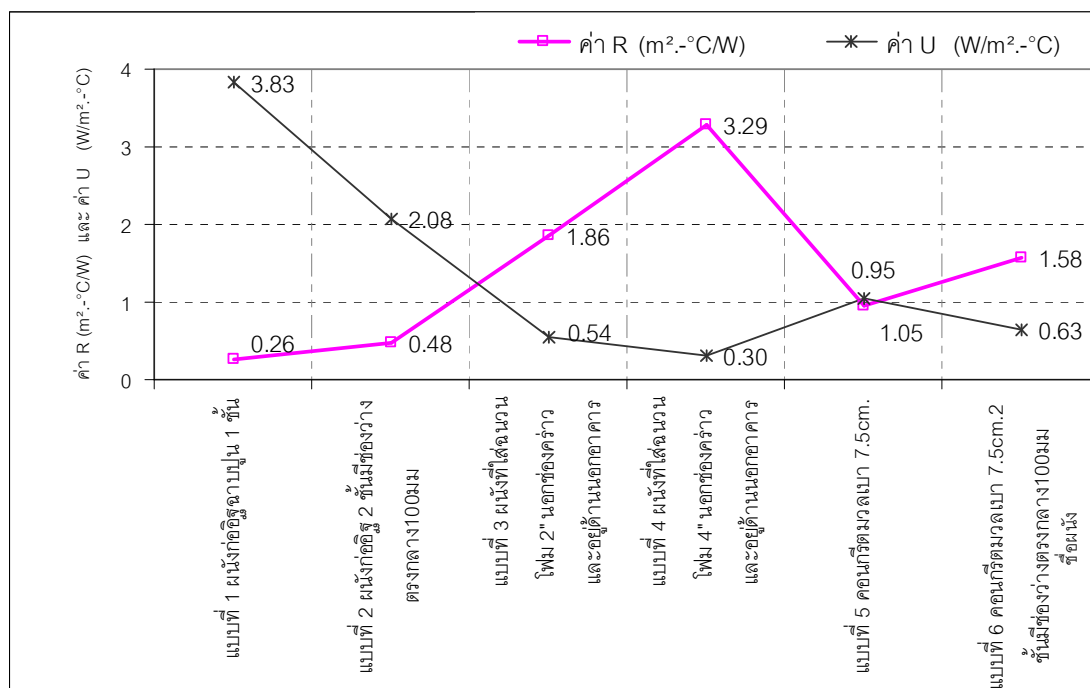
| หัวข้อ                                 | แบบที่ 1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น | แบบที่ 2 ผนังก่ออิฐ 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 100 มม | แบบที่ 3 ผนังที่เสฉนวนโฟม 2" นอกช่องค้ำวและอยู่ด้านนอกอาคาร | แบบที่ 4 ผนังที่เสฉนวนโฟม 4" นอกช่องค้ำวและอยู่ด้านนอกอาคาร | แบบที่ 5 คอนกรีตมวลเบา 7.5 cm. | แบบที่ 6 คอนกรีตมวลเบา 7.5 cm. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 100 มม |
|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| มวลอุณหภาพ (J/m <sup>2</sup> .K)       | 114,822                          | 203,302                                            | 32,064                                                      | 33,032                                                      | 45,394                         | 84,455                                                         |
| ค่า R (m <sup>2</sup> -°C/W)           | 0.26                             | 0.48                                               | 1.86                                                        | 3.29                                                        | 0.95                           | 1.58                                                           |
| ค่า U (W/m <sup>2</sup> -°C)           | 3.83                             | 2.08                                               | 0.54                                                        | 0.30                                                        | 1.05                           | 0.63                                                           |
| ค่ามวลรวมของวัสดุ (kg/m <sup>2</sup> ) | 143                              | 255                                                | 32                                                          | 33                                                          | 54                             | 101                                                            |

หมายเหตุ รายละเอียดและวิธีการคำนวณดูที่ภาคผนวก ข



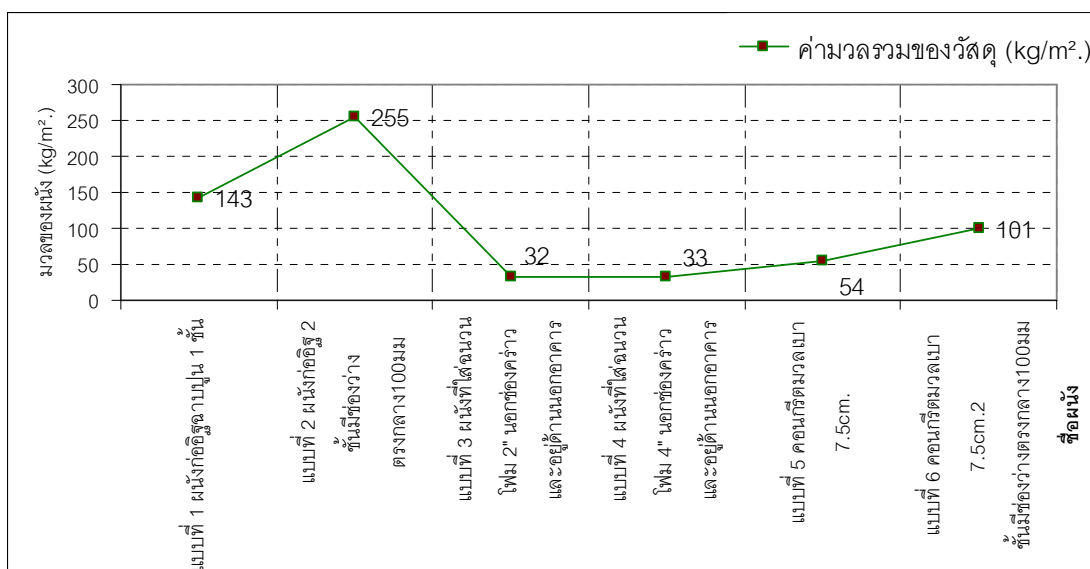
แผนภูมิที่ 17 เปรียบเทียบค่ามวลอุณหภาพ (thermal mass) (J/m<sup>2</sup>.K)

จากแผนภูมิที่ 17 จะเห็นว่าผนังกลุ่มมวลสาร (อิฐมวลเบา 1 ชั้นและ 2 ชั้น) มีค่ามวลอุณหภูมามากที่สุด ดังนั้น ผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น ๆ มีค่ามวลอุณหภูมามากที่สุด รองมาคืออิฐมวลเบา 1 ชั้น ส่วนกลุ่มผนังฉนวนจะมีค่าไม่ต่างกัน โดยที่ผนังมวลเบาสองชั้นจะมีค่ามากที่สุดในผนังกลุ่มนี้



แผนภูมิที่ 18 เปรียบเทียบค่า R ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ) และค่า U ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

จากแผนภูมิที่ 18 จะเห็นว่า ผนังกลุ่มฉนวนมีค่า R มากสุด รองมาคือกลุ่มฉนวน+มวลสารและกลุ่มมวลสารมีค่า R น้อยที่สุด ดังนั้น ผนังโฟม 4" มีค่า R มากที่สุด เท่ากับ  $3.29 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$  ลำดับที่ 2 ผนังโฟม 2" เท่ากับ  $1.86 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$  ส่วนผนังมวลเบา 2 ชั้น และมวลเบา 1 ชั้น เท่ากับ 1.58 และ  $0.95 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$  ตามลำดับส่วนอิฐมวลเบา 2 ชั้นและ 1 ชั้น เท่ากับ 0.48 และ 0.26 ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ) ตามลำดับ



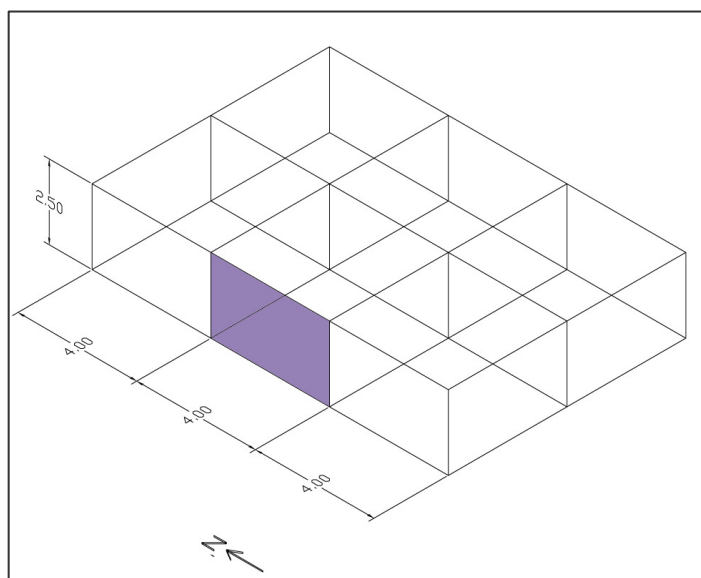
แผนภูมิที่ 19 เปรียบเทียบค่ามวลรวมของวัสดุ

จากแผนภูมิที่ 17 และ 19 จะเห็นว่าค่ามวลรวมของวัสดุมีความสอดคล้องกับค่ามวลอุณหภาพ คือผนังกลุ่มมวลสาร (อิฐฉาบปูน 1 ชั้นและ 2 ชั้น) มีค่ามวลมากที่สุด รองมาคือ ผนังกลุ่มฉนวน+มวลสาร (มวลเบา 1 ชั้นและ 2 ชั้น) และ ผนังกลุ่มฉนวน (โฟม 2" และ 4") จะมีค่ามวลไม่ต่างกัน

จากการจำลองผนังทดสอบทั้ง 6 ชนิด ในกรณีศึกษาต่างๆ ข้างต้น เพื่อหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้านั้น จะทำการเปรียบเทียบกับการใช้ผนังอิฐฉาบปูน 1 ชั้น ในทุกกรณี เนื่องจากผนังชนิดนี้ เป็นผนังที่พบเห็นได้ทั่วไปและใช้กันอย่างแพร่หลายมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และผลการจำลองผนังทดสอบในกรณีศึกษาต่างๆ เป็นดังนี้

## 1. กรณีปรับอากาศ

### 1.1 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด



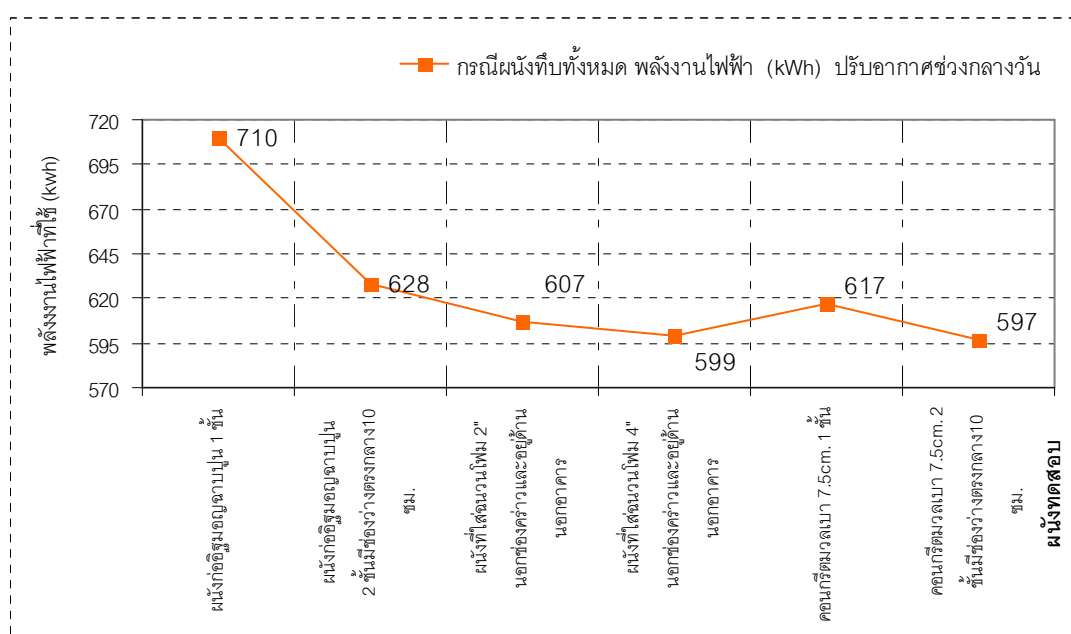
ภาพที่ 29 เมื่อผนังทางทิศตะวันตกเป็นผนังทึบทั้งหมด

#### 1.1.1 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.)

จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าต่อปี ค่าก่อสร้าง และระยะเวลาคืนทุนของผนังทั้ง 6 ชนิด เป็นดังนี้

ตารางที่ 8 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าก่อสร้าง และระยะเวลาคืนทุน กรณีเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00 - 17.00 น.

| ลำดับ    | ผนังทดสอบ                                             | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) | ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (บาท) | ค่าก่อสร้าง 10 ตร.ม.(บาท) | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|----------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| แบบที่ 1 | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                               | 710                           | 2,697                     | 5,060                     | -                   |
| แบบที่ 2 | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.      | 628                           | 2,388                     | 7,540                     | 8.0                 |
| แบบที่ 3 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าว และอยู่ด้านนอกอาคาร | 607                           | 2,306                     | 10,210                    | 13.2                |
| แบบที่ 4 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าว และอยู่ด้านนอกอาคาร | 599                           | 2,276                     | 11,880                    | 16.2                |
| แบบที่ 5 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น                          | 617                           | 2,343                     | 5,450                     | 1.1                 |
| แบบที่ 6 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. | 597                           | 2,269                     | 8,500                     | 8.0                 |



แผนภูมิที่ 20 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00 -17.00 น.

จากตารางที่ 8 และแผนภูมิที่ 20 (ด้านบน) สามารถสรุปผลการทดลอง ของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (8.00 -17.00 น. ทุกวันตลอดทั้งปี) พบว่าการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ๆ จะประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้อิฐมวลเบาได้สูงสุดถึง 15.86% ต่อปี ลำดับ 2 คือ ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคิ้วและอยู่ด้านนอกอาคาร จะประหยัดพลังงานน้อยกว่าเล็กน้อยคือ 15.58 % และลำดับ 3 คือ ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 14.49%

เมื่อนำค่าไฟฟ้าที่ลดลงมาเปรียบเทียบกับราคาค่าก่อสร้างผนังที่เพิ่มขึ้น จากการใช้ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น โดยคิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วย รวมค่า Ft และภาษีมูลค่าเพิ่ม เป็นหน่วยละ 3.80 บาท

พบว่าการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น ซึ่งแม้จะไม่ได้ประหยัดพลังงานที่สุด แต่สามารถคืนทุนได้เร็วกว่าผนังทุกชนิด คือเพียง 1.1 ปี (คิดราคาวัสดุพร้อมค่าแรงเท่ากับ 545 บาท ต่อตร.ม.) ส่วนการใช้คอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ซึ่งประหยัดพลังงานมากที่สุดจะคืนทุนในเวลาประมาณ 8 ปี เท่ากับ ผนังก่ออิฐมวลเบา 2 ชั้น (ค่าวัสดุพร้อมค่าแรงของอิฐมวลเบา 2 ชั้น = 754 บาท ต่อตร.ม.ของคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น = 850 บาทต่อตร.ม.) ส่วนผนังโฟม 2" และ 4" เนื่องจากราคาสูง (ราคา 1,021 และ 1,188 บาทต่อตร.ม. ตามลำดับ) แม้จะมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนดี แต่ใช้เวลาคืนทุนนานประมาณ 13.2 และ 16.2 ปี ตามลำดับ

โดยที่ผนังทั้ง 6 ชนิด มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปีและความคุ้มทุน เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00 - 17.00 น. เป็นดังนี้

#### 1) การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร

แบบที่ 1 ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น (ผนังตันแบบ) ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปี 710 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี เมื่อนำมาคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้จะเท่ากับปีละ 2,697 บาท

แบบที่ 2 ผนังก่ออิฐมวลเบา 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 81 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 12.95 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 309 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 8 ปี

## 2) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน

แบบที่ 3 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 103 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 16.36 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 391 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 13.2 ปี

แบบที่ 4 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 111 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 17.6 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 420 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 16.2 ปี

## 3) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน+มวลสาร

แบบที่ 5 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 93 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 14.8 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 353 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 1.1 ปี

แบบที่ 6 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 113 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 17.92 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 428 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 8 ปี

ดังนั้นสรุปว่า ถ้าพิจารณาในเรื่องการประหยัดพลังงานพบว่า เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด ปรับอากาศช่วงกลางวัน (8.00-17.00 น.) ควรเลือกใช้ผนังที่มีค่า R สูงรวมกับมีมวลสาร จะเหมาะสมกับการใช้งานในช่วงเวลานี้

แต่ถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุด 1.1 ปี

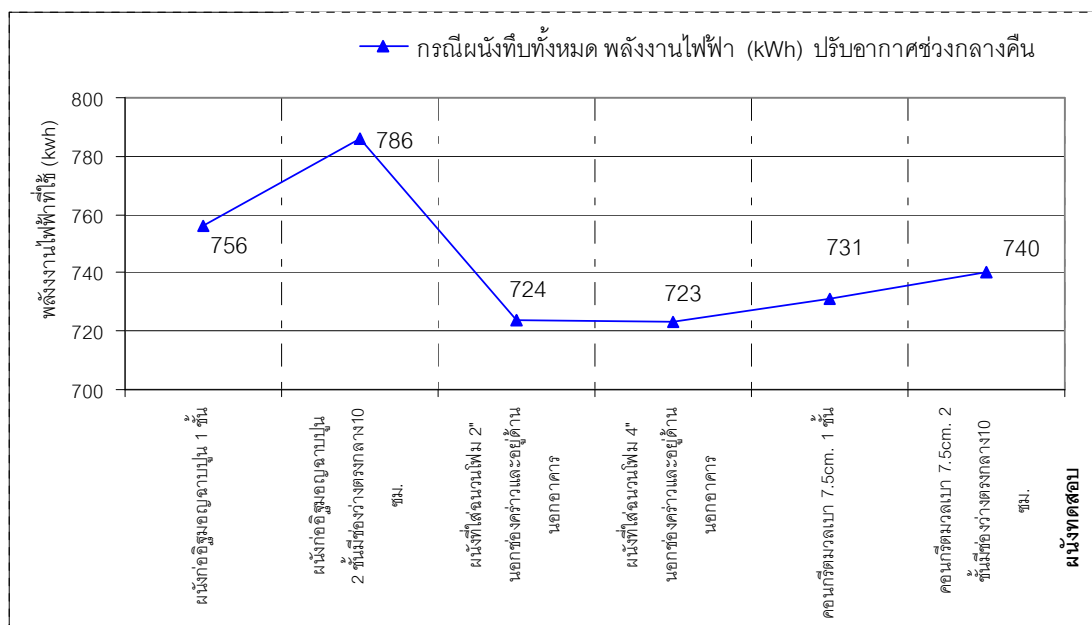
### 1.1.2 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (21.00-06.00 น.)

จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าต่อปี ค่าก่อสร้างและระยะเวลาคืนทุนของผนังทั้ง 6 ชนิด เป็นดังนี้

ตารางที่ 9 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าก่อสร้าง และระยะเวลาคืนทุน กรณีเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมดปรับอากาศช่วงกลางวัน 21.00 - 06.00 น.

| ลำดับ     | ผนังทดสอบ                                                | พลังงานไฟฟ้า<br>ที่ใช้ต่อปี (kWh) | ค่าไฟฟ้าที่ใช้<br>ต่อปี (บาท) | ค่าก่อสร้าง<br>10 ตร.ม (บาท) | ระยะเวลา<br>คืนทุน (ปี) |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| แบบที่ 7  | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                                  | 756                               | 2,873                         | 5,060                        | 0.0                     |
| แบบที่ 8  | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้นมี<br>ช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.      | 786                               | 2,986                         | 7,540                        | -*                      |
| แบบที่ 9  | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่อง<br>ครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 724                               | 2,752                         | 10,210                       | 42.4                    |
| แบบที่ 10 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่อง<br>ครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 723                               | 2,747                         | 11,880                       | 56.0                    |
| แบบที่ 11 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น                             | 731                               | 2,777                         | 5,450                        | 4.1                     |
| แบบที่ 12 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น<br>มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. | 740                               | 2,812                         | 8,500                        | 56.0                    |

\* ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นและราคาเพิ่มขึ้นจึงไม่คิดเวลาคืนทุน



แผนภูมิที่ 21 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี กรณีปรับอากาศกลางวัน 21.00-06.00 น. เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด

จากตารางที่ 9 และแผนภูมิที่ 21 (ด้านบน) สามารถสรุปผลการทดลองของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด กรณีปรับอากาศกลางวัน (21.00-06.00น. ทุกวันตลอดทั้งปี) พบว่า การใช้ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร จะสามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดถึง 4.24% รองลงมาคือ ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" ๔ ซึ่งลดการใช้พลังงานน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยคือ 4.23% ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่ม ค่า R นั้น ก็ไม่ทำให้ ลดการใช้พลังงานลงได้มากนักและอาจไม่คุ้มค่ากับค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ลำดับต่อมาคือ ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 3.34% ตามลำดับ

แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งนี้หากพิจารณาในแง่การคืนทุนแล้วพบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียว มีความคุ้มค่าในการลงทุนดีกว่าผนังชนิดอื่นๆ คือใช้เวลา 4.1 ปี ส่วนผนังอื่นๆ มีระยะการคืนทุนที่มากกว่า 40 ปี จึงถือว่าไม่คุ้มค่าการลงทุน เพราะอาจเกินอายุการใช้ของผนังอาคาร

และเป็นที่น่าสังเกตว่า การใช้ผนังอิฐมวลเบาสองชั้น ๔ ทางทิศตะวันตกนั้นจะใช้พลังงานในการปรับอากาศมากขึ้น กว่าการใช้อิฐมวลเบาชั้นเดียวประมาณ 3.93% และยังสิ้นเปลืองเงินค่าก่อสร้างผนังเพิ่มขึ้นอีกด้วย

โดยที่ผนังทั้ง 6 ชนิด มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปีและความคุ้มทุน เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด ปรับอากาศช่วงกลางวัน 21.00 - 06.00 น. เป็นดังนี้

### 1) การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร

แบบที่ 7 ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น (ผนังตันแบบ) ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปี 756 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี เมื่อนำมาคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้จะเท่ากับปีละ 2,873 บาท

แบบที่ 8 ผนังก่ออิฐมวลเบา 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 30 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 3.93 % ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 113 บาทต่อปี

### 2) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน

แบบที่ 9 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 31 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 4.23 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 122 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 42.4 ปี

แบบที่ 10 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 32 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 4.24 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 122 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 56 ปี

### 3) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน+มวลสาร

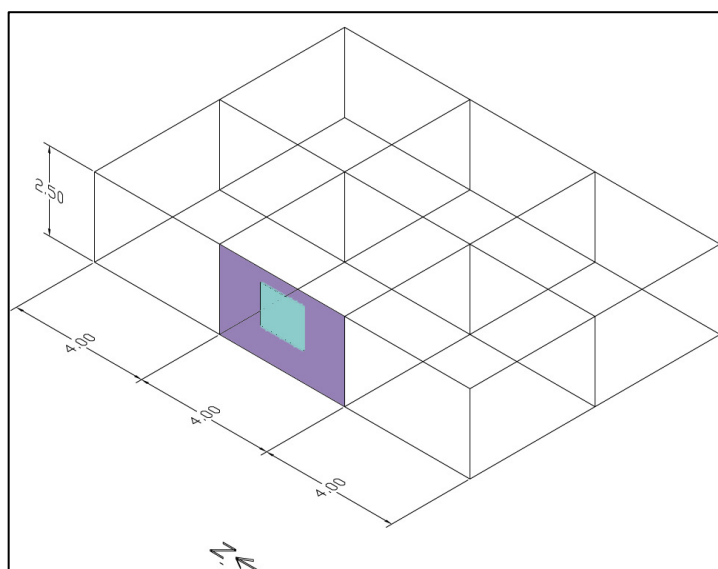
แบบที่ 11 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 25 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 3.34 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 96 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 4.1 ปี

แบบที่ 12 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 16 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 2.14 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 61 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 56 ปี

ดังนั้นสรุปว่า ถ้าพิจารณาในเรื่องการประหยัดพลังงานพบว่า ควรเลือกใช้ผนังที่มีค่า R สูงรวมกับมวลสารน้อย เพื่อดำเนินงานความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงกลางวันไม่ให้เข้าสู่อาคารได้มากนัก และผนังชนิดนี้ ควรจะถ่ายเทความร้อนที่สะสมจากช่วงกลางวันออกสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็ว

และถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุดเท่ากับ 4.1 ปี

1.2 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย ซึ่งเป็นเกณฑ์ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎหมายฉบับที่ 39



ภาพที่ 30 ลักษณะอาคารกรณีออกแบบให้ผนังทางทิศตะวันตกมีพื้นที่หน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง

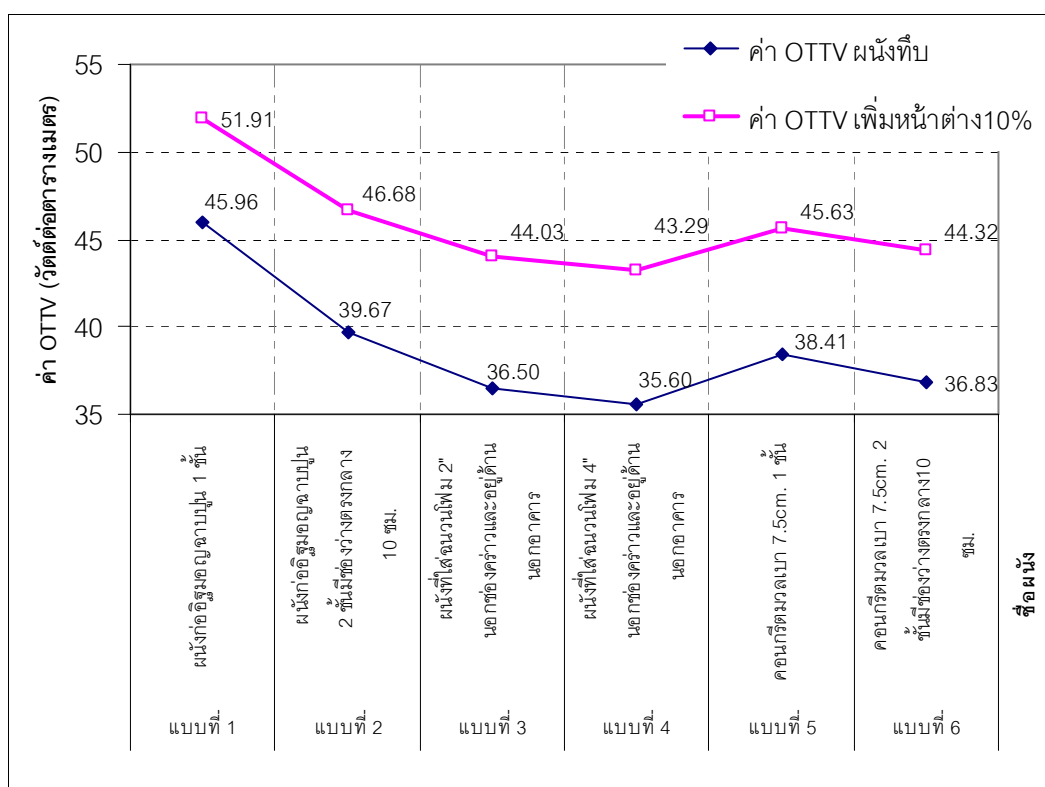
เมื่อพิจารณา ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกทั้งหมดของอาคาร (OTTV) ซึ่งคือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (ตามกฎหมาย (พ.ศ. 2538) หมวดที่ 4, ข้อที่ 7)

จากการคำนวณผนังแต่ละชนิดในงานวิจัยนี้ เป็นดังนี้

ตารางที่ 10 แสดงค่า OTTV (วัดต่อตร.ม.) ของผนังทดสอบทั้ง 6 ชนิด

| ชื่อผนัง                                             | ค่า OTTV (วัดต่อตร.ม.) |                  |
|------------------------------------------------------|------------------------|------------------|
|                                                      | ผนังทึบ                | เพิ่มหน้าต่าง10% |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                              | 45.96                  | 51.91            |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง10 ซม.       | 39.67                  | 46.68            |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 36.50                  | 44.03            |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 35.60                  | 43.29            |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5ซม.1 ชั้น                           | 38.41                  | 45.63            |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5ซม.2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง10 ซม.    | 36.83                  | 44.32            |

หมายเหตุ วิธีคำนวณ ค่า OTTV ดูภาคผนวก ค



แผนภูมิที่ 22 เปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังทดสอบทั้ง 6 ชนิด เมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อมีหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง

จากการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) พบว่าการมีหน้าต่างต่าง 10% นั้นทำให้ผนังทั้ง 6 ชนิดมีค่า OTTV เพิ่มขึ้นกว่าเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมดประมาณ 15.7%

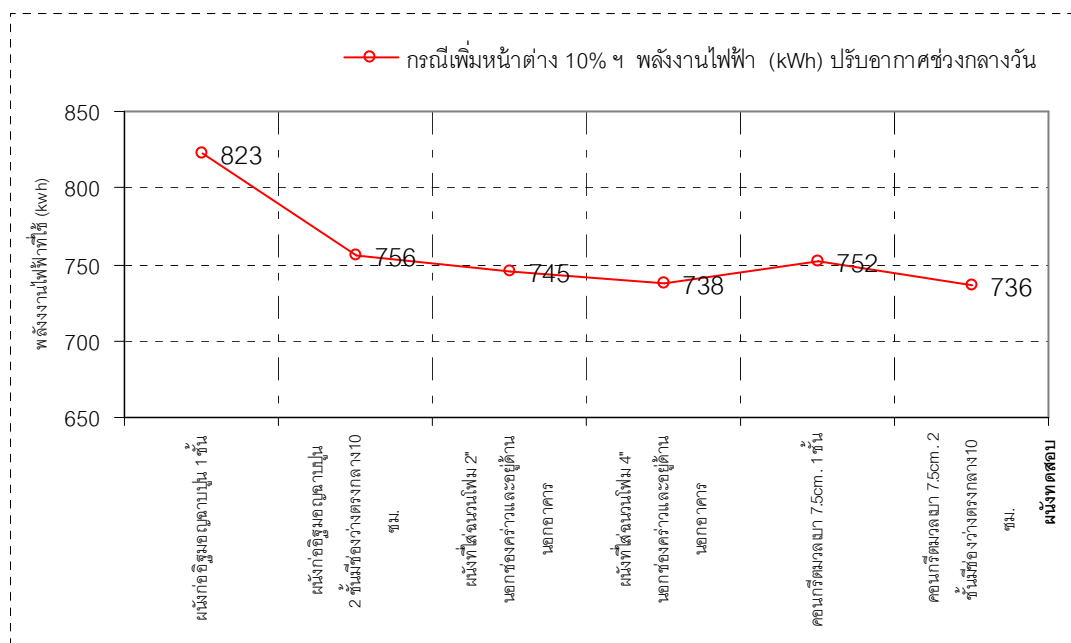
และจะเห็นว่าค่า OTTV ของผนังทึบและผนังมีหน้าต่าง 10% นั้น (ดูแผนภูมิที่ 22) มีความสอดคล้องกันทั้งหมดโดยที่ผนังโพน 4" จะมีค่า OTTV น้อยที่สุด ลำดับที่ 2 และ 3 คือ โพน 2" และคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ซึ่งผนังที่กล่าวไปนั้น (ทั้งเมื่อเป็นผนังทึบและเจาะหน้าต่าง) จะมีค่า OTTV ไม่เกินค่าที่กฎหมายกำหนดคือ 45 วัตต์ต่อตร.ม. ส่วนผนังมวลเบา 1 ชั้นและอิฐมวลเบาสองชั้น ถ้าต้องการใช้งานแล้วค่า OTTV ไม่เกินค่าที่กฎหมายกำหนดก็ไม่ควรเจาะหน้าต่าง 10% ส่วนผนังอิฐมวลเบา 1 ชั้นจะมีค่า OTTV เกินค่าที่กฎหมายกำหนด (ทั้งเมื่อเป็นผนังทึบและเจาะหน้าต่าง 10%)

**1.2.1 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องฯ กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน**  
(08.00-17.00 น.)

จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าต่อปี ค่าก่อสร้าง และระยะเวลาคืนทุนของผนังทั้ง 6 ชนิด เป็นดังนี้

ตารางที่ 11 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, ค่าก่อสร้างและระยะเวลาคืนทุนของผนังรูปแบบต่างๆ เมื่อเพิ่มขนาดช่องเปิด 10 % ของพื้นที่ห้องฯ กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.

| ลำดับ     | ผนังทดสอบ                                               | พลังงานไฟฟ้า<br>ที่ใช้ต่อปี(kWh) | ค่าไฟฟ้าที่ใช้<br>ต่อปี (บาท) | ค่าก่อสร้าง<br>10ตร.ม.(บาท) | ระยะเวลา<br>คืนทุน (ปี) |
|-----------|---------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| แบบที่ 13 | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                                 | 823                              | 3,127                         | 4,516                       | 0.0                     |
| แบบที่ 14 | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้นมี<br>ช่องว่างตรงกลาง10 ซม.      | 756                              | 2,873                         | 7,153                       | 10.4                    |
| แบบที่ 15 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่อง<br>ครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 745                              | 2,830                         | 8,672                       | 14                      |
| แบบที่ 16 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่อง<br>ครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 738                              | 2,806                         | 10,092                      | 17.4                    |
| แบบที่ 17 | คอนกรีตมวลเบา 7.5ซม.1 ชั้น                              | 752                              | 2,858                         | 5,168                       | 2.4                     |
| แบบที่ 18 | คอนกรีตมวลเบา 7.5ซม.2 ชั้นมี<br>ช่องว่างตรงกลาง10 ซม.   | 736                              | 2,796                         | 9,964                       | 16.5                    |



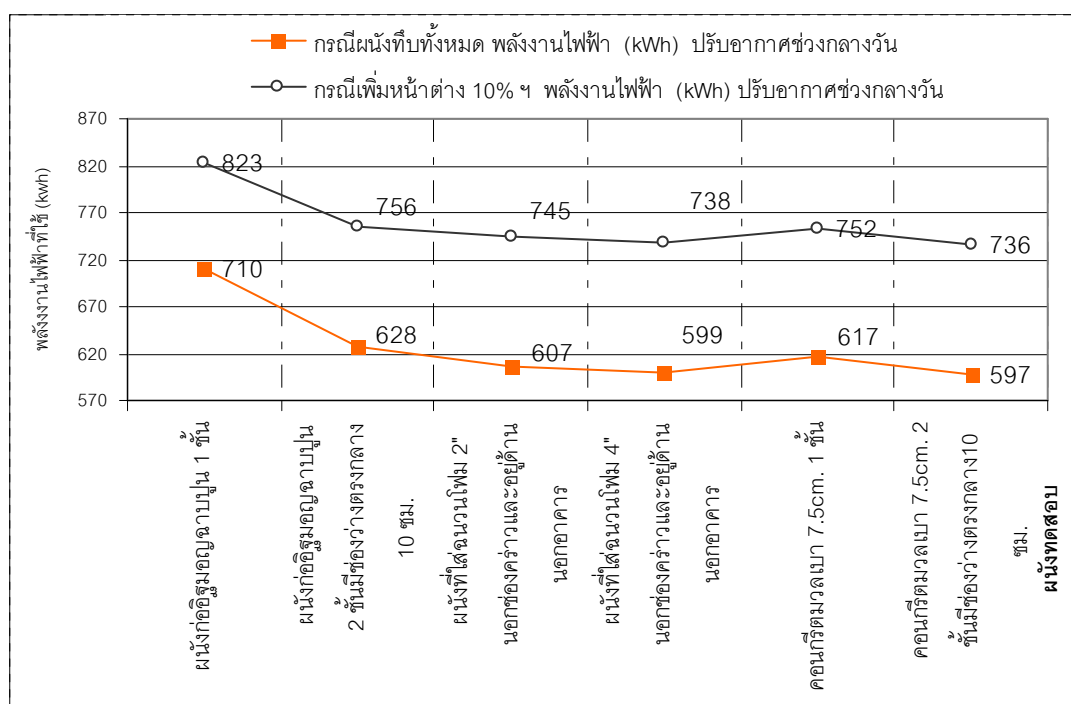
แผนภูมิที่ 23 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี เมื่อเพิ่มขนาดช่องเปิด 10% ของพื้นที่ห้อง ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.

จากตารางที่ 11 และแผนภูมิที่ 23 (ด้านบน) สามารถสรุปผลการทดลอง ของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อเพิ่มขนาดช่องเปิด 10% ของพื้นที่ห้องฯ กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น. ทุกวัน ตลอดทั้งปี) พบว่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศของผนังทั้ง 6 ชนิด เพิ่มขึ้นกว่าเป็นผนังทึบ โดยเฉลี่ยประมาณ 17.48% ส่วนราคาค่าก่อสร้างของผนังคอนกรีตมวลเบา สองชั้นจะเพิ่มมากขึ้นกว่าผนังชนิดอื่น ทั้งนี้เพราะการทำหน้าต่างของผนังคอนกรีตมวลเบา สองชั้นจะมีราคาเอ็นคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ดังนั้นจำนวนหน้าต่างหรือเอ็นรอบหน้าต่างจึงกลายเป็นตัวแปรสำคัญ ที่มีผลต่อต้นทุนค่าก่อสร้างผนังและมีผลต่อระยะเวลาการคืนทุน ซึ่งหากต้องการประหยัดพลังงานและคืนทุนเร็วไม่ควรเจาะช่องเปิดทางทิศตะวันตก ในกรณีที่ใช้งานในตอนกลางวัน แต่ทั้งนี้ไม่ควรให้เสียประโยชน์ใช้สอยในด้านอื่นๆ ด้วย

ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า เมื่อมีหน้าต่าง 10% นั้น ลำดับการใช้พลังงานก็ ยังเหมือนกับเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด (ตามข้อ 1.1.1) ดังนั้น ผนังคอนกรีตมวลเบา สองชั้นยังคงประหยัดพลังงานมากที่สุดคือใช้พลังงานต่ำกว่าผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว 10.57% รองลงมาคือ ผนังโฟม 4 นิ้ว และ 2 นิ้ว โดยใช้พลังงานต่ำกว่า 10.27% และ 9.51% ตามลำดับ

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ใช้ต่อปี กรณีเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมดกับเมื่อเพิ่ม  
หน้าต่าง 10% ๙ (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00น.)

| ชนิดผนัง                                             | พลังงานไฟฟ้า(kWh)ที่ใช้ต่อปี<br>เมื่อปรับอากาศช่วงกลางวัน |                     | ร้อยละของ<br>พลังงานที่<br>ลดลง |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------|
|                                                      | ผนังทึบทั้งหมด                                            | เพิ่มหน้าต่าง 10% ๙ |                                 |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                              | 710                                                       | 823                 | 13.73                           |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.      | 628                                                       | 756                 | 16.93                           |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 607                                                       | 745                 | 18.52                           |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 599                                                       | 738                 | 18.83                           |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5ซม.1 ชั้น                           | 617                                                       | 752                 | 17.95                           |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5ซม.2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.   | 597                                                       | 736                 | 18.89                           |



แผนภูมิที่ 24 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ใช้ต่อปี เมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อเพิ่มหน้าต่าง  
10% ๙ (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00น.)

ทั้งนี้หากพิจารณาในแง่การคืนทุนแล้วพบว่า การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น ซึ่งแม้จะไม่ได้ประหยัดพลังงานที่สุด แต่สามารถคืนทุนได้เร็วกว่าผนังทุกชนิด (เช่นเดียวกับข้อ 1.1.1 และ 1.1.2) คือเพียง 2.4 ปี ส่วนการใช้อิฐมวลเบา 2 ชั้น มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 10.4 ปี แต่ผนังโฟม 2", คอนกรีตมวลเบา 2 ชั้นและผนังโฟม 4" แม้จะมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนดีแต่ใช้เวลาคืนทุนนานถึง 14, 16.5 ปี และ 17.4 ปี

โดยที่ผนังทั้ง 6 ชนิด มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปีและความคุ้มทุน เมื่อเพิ่มขนาดช่องเปิด 10% ของพื้นที่ห้อง ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น. เป็นดังนี้

#### 1) การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร

แบบที่ 13 ผนังก่ออิฐมวลเบาหนาปูน 1 ชั้น (ผนังตันแบบ) ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปี 823 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี เมื่อนำมาคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้จะเท่ากับปีละ 3,127 บาท

แบบที่ 14 ผนังก่ออิฐมวลเบา 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 67 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 8.12 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 254 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 10.4 ปี

#### 2) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน

แบบที่ 15 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 78 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 9.51 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 297 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 14 ปี

แบบที่ 16 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 85 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 10.27 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 321 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 17.4 ปี

### 3) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน+มวลสาร

แบบที่ 17 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 71 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 8.62 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 270 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 2.4 ปี

แบบที่ 18 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 87 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 10.57 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 331 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 16.5 ปี

ดังนั้นสรุปว่า ถ้าพิจารณาในเรื่องการประหยัดพลังงานพบว่า ควรเลือกใช้ผนังที่มีค่า R สูงรวมกับมีมวลสาร จะเหมาะสมกับการใช้งานในช่วงกลางวัน เช่นเดียวกับเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด (ตามข้อ 1.1.1)

และถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุดเท่ากับ 2.4 ปี

### 1.2.2 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องฯ กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน

(21.00-06.00 น.)

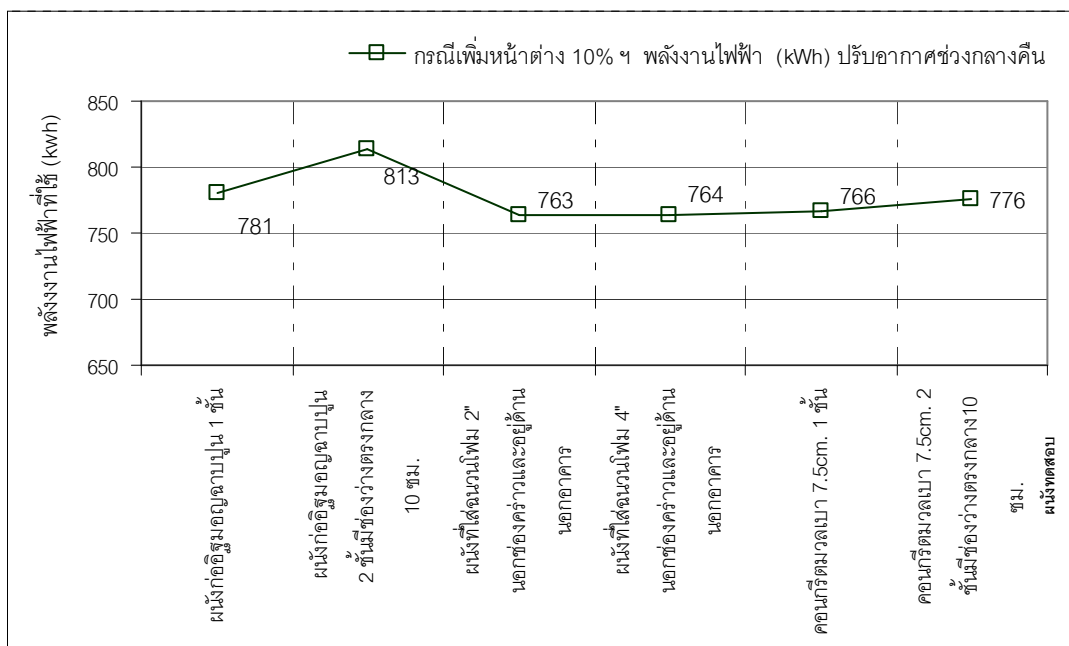
จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, ค่าไฟฟ้าต่อปี, ค่าก่อสร้างและระยะเวลาคืนทุนของผนังทั้ง 6 ชนิด เป็นดังนี้

ตารางที่ 13 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, ค่าไฟฟ้าต่อปี, ค่าก่อสร้างและระยะเวลาคืนทุนของผนัง

6 ชนิด เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องฯ กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน  
(21.00-06.00 น.)

| ลำดับ     | ผนังทดสอบ                                                | พลังงานไฟฟ้า<br>ที่ใช้ต่อปี (kWh) | ค่าไฟฟ้าที่ใช้<br>ต่อปี (บาท) | ค่าก่อสร้าง<br>10 ตร.ม. (บาท) | ระยะเวลา<br>คืนทุน (ปี) |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| แบบที่ 19 | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                                  | 781                               | 2,969                         | 4,516                         | 0.0                     |
| แบบที่ 20 | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้นมี<br>ช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.      | 813                               | 3,089                         | 7,153                         | -*                      |
| แบบที่ 21 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่อง<br>ครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 763                               | 2,900                         | 8,672                         | 60.1                    |
| แบบที่ 22 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่อง<br>ครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 764                               | 2,904                         | 10,092                        | 86.4                    |
| แบบที่ 23 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น                             | 766                               | 2,910                         | 5,168                         | 11.1                    |
| แบบที่ 24 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น<br>มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. | 776                               | 2,948                         | 9,964                         | 263.1                   |

\* ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นและราคาเพิ่มขึ้นจึงไม่คิดเวลาคืนทุน



แผนภูมิที่ 25 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี กรณีเพิ่มขนาดช่องเปิด 10% ของพื้นที่ห้อง ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 21.00-06.00 น.)

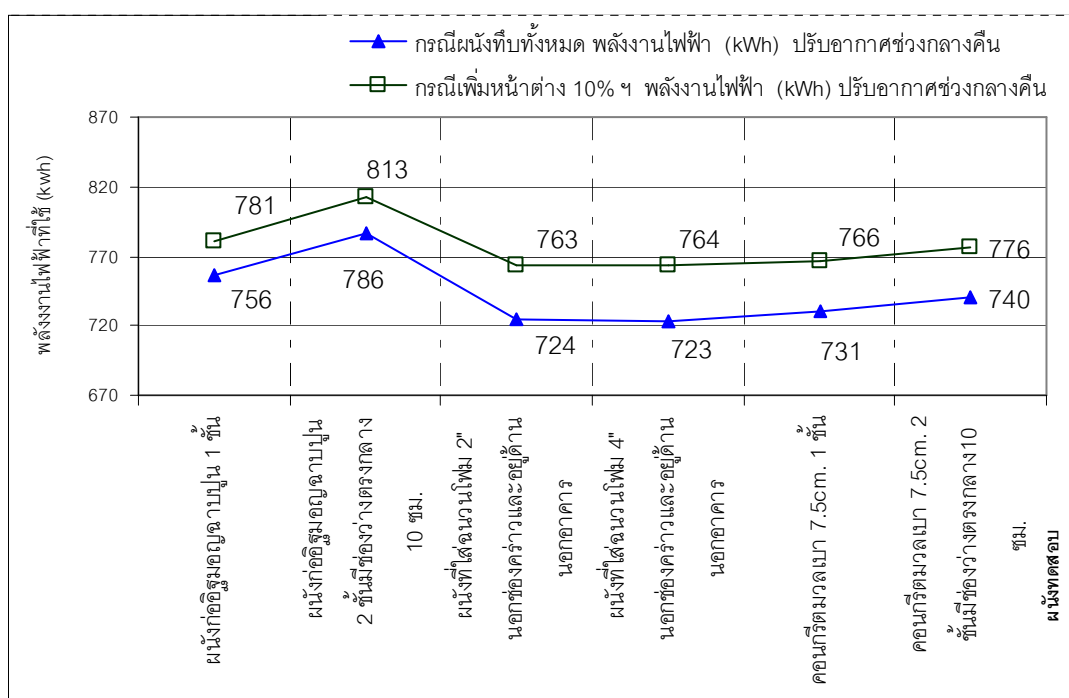
จากตารางที่ 13 และแผนภูมิที่ 25 (ด้านบน) สามารถสรุปผลการทดลอง ของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องฯ กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (21.00-06.00 น.) ผลของการเพิ่มขนาดช่องเปิด 10% นั้น ทำให้ผนังทั้ง 6 ชนิดใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นกว่าการทำผนังทึบ (ในข้อ 1.1.2) โดยเฉลี่ยประมาณ 4.37% และระยะเวลาคืนทุนก็เพิ่มมากขึ้นด้วย จึงไม่ควรเจาะช่องเปิดที่ผนังด้านทิศตะวันตก หากไม่ทำให้เสียประโยชน์ใช้สอยในการใช้งานด้านอื่นๆ (เช่นเดียวกับที่กล่าวในข้อ 1.2.1)

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานต่อปีจะเห็นว่า ผนังฉนวนโฟม 2 นิ้วฯ สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดประมาณ 2.33 % ส่วนผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4 นิ้วฯ สามารถลดการใช้พลังงานได้เป็นลำดับที่ 2 เท่ากับ 2.17 % ส่วนผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น สามารถลดการใช้พลังงานได้เท่ากับ 1.98 % ส่วนผนังอิฐมวลเบาสองชั้น ยังคงใช้พลังงานเพิ่มขึ้นกว่าการใช้ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว (เช่นเดียวกับข้อ 1.1.2) ประมาณ 4.06% จึงไม่ควรใช้กับผนังทิศตะวันตก

แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งนี้หากพิจารณาในแง่การคืนทุนแล้วพบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวมีความคุ้มค่าในการลงทุนดีกว่าผนังชนิดอื่นๆ (เช่นเดียวกับทุกข้อที่กล่าวไป) ซึ่งใช้ระยะเวลาคืนทุน 11.1 ปี ส่วนผนังอื่นๆ มีระยะการคืนทุนที่มากกว่า 60 ปี จึงถือว่าไม่คุ้มค่าการลงทุน เพราะอาจเกินอายุการใช้งานของผนังอาคาร

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ใช้ต่อปี กรณีเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมดกับเมื่อเพิ่ม  
หน้าต่าง 10% ๕ (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 21.00-06.00น.)

| ชนิดผนัง                                             | พลังงานไฟฟ้า(kWh)ที่ใช้ต่อปี<br>เมื่อปรับอากาศช่วงกลางวัน |                     | ร้อยละของ<br>พลังงานที่<br>ลดลง |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------|
|                                                      | ผนังทึบทั้งหมด                                            | เพิ่มหน้าต่าง 10% ๕ |                                 |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                              | 756                                                       | 781                 | 3.20                            |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง10 ซม.       | 786                                                       | 813                 | 3.32                            |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 724                                                       | 763                 | 5.24                            |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 723                                                       | 764                 | 5.24                            |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5ซม.1 ชั้น                           | 731                                                       | 766                 | 4.57                            |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5ซม.2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง10 ซม.    | 740                                                       | 776                 | 4.64                            |



แผนภูมิที่ 26 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ใช้ต่อปี เมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อเพิ่มหน้าต่าง  
10% (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 21.00 -06.00 น.)

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้าง กรณีผนังทึบทั้งหมด และกรณีเพิ่มหน้าต่าง 10% ฯ

| ชนิดผนัง                                             | ค่าก่อสร้าง พื้นที่ 1 ตร.ม. (บาท) |             |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
|                                                      | ผนังทึบ                           | ช่องเปิด10% |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                              | 506                               | 452         |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง10 ซม.       | 754                               | 715         |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 1,021                             | 867         |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 1,188                             | 1,009       |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม.1 ชั้น                          | 545                               | 517         |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง10 ซม.  | 850                               | 996         |

รายละเอียดการคิดราคาค่าก่อสร้างดูภาคผนวก ง

โดยที่ผนังทั้ง 6 ชนิด มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปีและความคุ้มทุน เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องฯ กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (21.00-06.00 น.)

#### 1) การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร

แบบที่ 19 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น (ผนังตันแบบ) ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปี 781 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี เมื่อนำมาคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้จะเท่ากับปีละ 2,969 บาท

แบบที่ 20 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 32 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 4.06 % ทำให้มีค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 121 บาทต่อปี

#### 2) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน

แบบที่ 21 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟาลดลง 18.2 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 2.33 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 69 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 60.1 ปี

แบบที่ 22 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 17 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 2.17 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 65 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 86.4 ปี

### 3) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน+มวลสาร

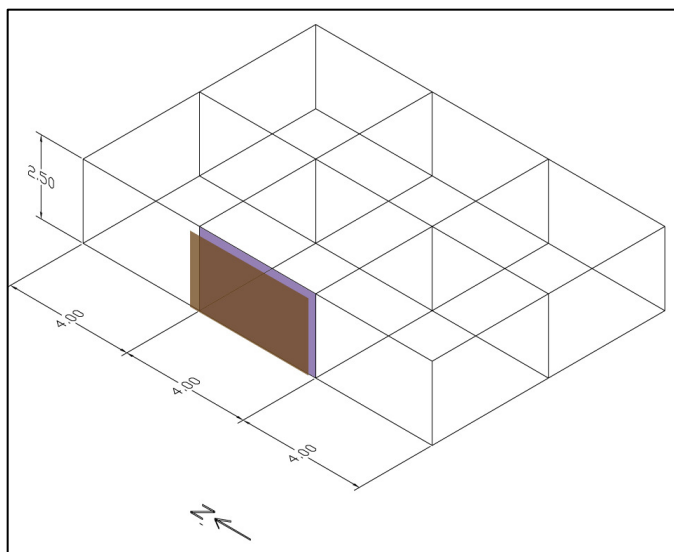
แบบที่ 23 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 16 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 1.98 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 59 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 11.1 ปี

แบบที่ 24 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 0.7 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 21 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 263 ปี

ดังนั้นสรุปว่า ถ้าพิจารณาในเรื่องการประหยัดพลังงานพบว่า ควรเลือกใช้ผนังที่มีค่า R ไม่สูงมากรวมกับมวลสารน้อย เพื่อดำเนินความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงกลางวัน ไม่ให้เข้าสู่อาคารได้มากนัก และผนังชนิดนี้ ควรจะถ่ายเทความร้อนที่สะสมจากช่วงกลางวันออกสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็ว

และถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุดเท่ากับ 11.1 ปี

### 1.3 เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก



ภาพที่ 31 แสดงลักษณะ เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก

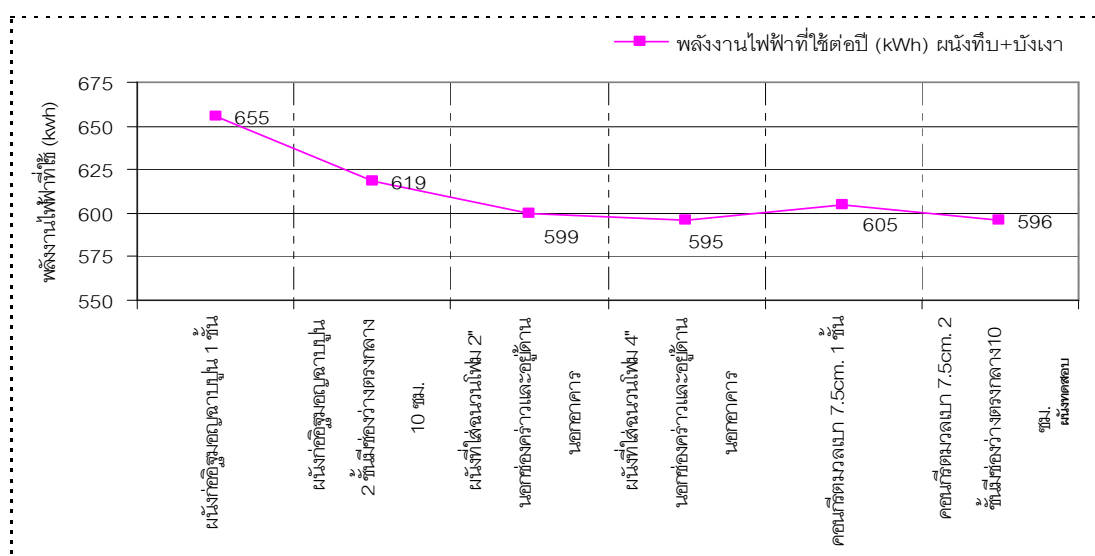
#### 1.3.1 เมื่อมีการบังแดด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.)

จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าต่อปี ค่าก่อสร้างและ ระยะเวลาคืนทุนของผนังทั้ง 6 ชนิด เป็นดังนี้

ตารางที่ 16 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, ค่าไฟฟ้าต่อปี, ค่าก่อสร้างและระยะเวลาคืนทุนของ  
ผนังรูปแบบต่างๆ เมื่อมีการบังแดดและปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.

| ลำดับ     | ผนังทดสอบ                                                       | พลังงานไฟฟ้าที่<br>ใช้ต่อปี (kWh) | ค่าไฟฟ้าที่ใช้<br>ต่อปี (บาท) | ค่าก่อสร้าง<br>10 ตร.ม.(บาท) | ระยะเวลา<br>คืนทุน (ปี) |
|-----------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| แบบที่ 25 | บังแดด ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น                               | 655                               | 2,490                         | 5,060                        | -                       |
| แบบที่ 26 | บังแดด ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 2 ชั้น<br>มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.   | 619                               | 2,351                         | 7,540                        | 7.2                     |
| แบบที่ 27 | บังแดด ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2"<br>นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 599                               | 2,278                         | 10,210                       | 12.3                    |
| แบบที่ 28 | บังแดด ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4"<br>นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 595                               | 2,263                         | 11,880                       | 15.7                    |
| แบบที่ 29 | บังแดด คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น                             | 605                               | 2,299                         | 5,450                        | 1.0                     |
| แบบที่ 30 | บังแดด คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น<br>มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. | 596                               | 2,264                         | 8,500                        | 7.9                     |

หมายเหตุ การคิดราคาค่าก่อสร้างดูที่ภาคผนวก ง



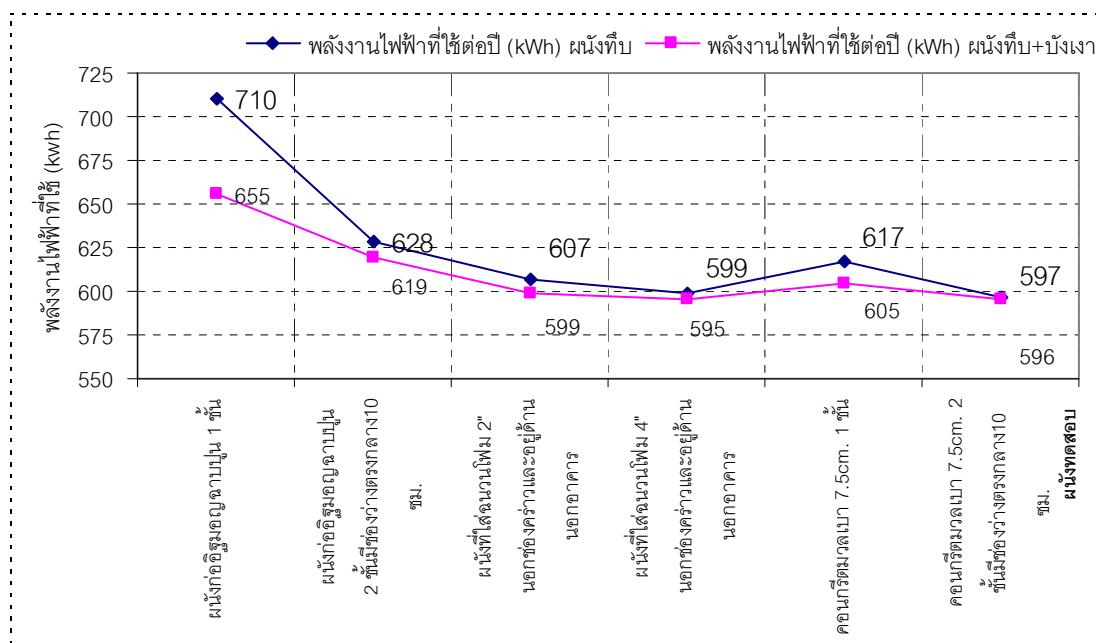
แผนภูมิที่ 27 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนัง  
ทิศตะวันตก กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.

จากตารางที่ 16 และแผนภูมิที่ 27 (ด้านบน) สามารถสรุปผลการทดลองของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.) พบว่า การบังแดดสามารถลดการถ่ายเทความร้อนลงได้ เนื่องจากช่วยลดปริมาณความร้อนที่สะสมที่ผิวด้านนอกอาคารเพื่อป้องกันการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ก่อนถึงผนังอาคารหลัก ทำให้ความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารได้น้อยลง

ผลจากการบังแดดให้แก่ผนังทางทิศตะวันตกนั้น (ดูตารางที่ 17) พบว่า ผนังทั้ง 6 ชนิด สามารถประหยัดพลังงานกว่าเมื่อเป็นผนังทึบ (ตามข้อ 1.1.1) ซึ่งจะเห็นว่าพลังงานที่ประหยัดลงได้นั้นจะมากน้อยต่างกันไปตามลักษณะผนัง โดยเฉพาะผนังก่ออิฐมวลเบา 1 ชั้น สามารถประหยัดพลังงานลงได้มากที่สุดประมาณ 54 kWh หรือ 7.66 % ส่วนผนังอื่นๆ ที่มีความเป็นฉนวน โดยมีค่า R ที่มาก จะประหยัดลงได้เล็กน้อยเพียง 0.22-1.90% จะเห็นว่า ผนังที่สามารถกันความร้อนได้ดีอยู่แล้วเมื่อเป็นผนังทึบคือ ผนังมวลเบา 1 ชั้นและ 2 ชั้น ผนังโพน 2 นิ้วและ 4 นิ้ว การบังแดดก็ไม่ช่วยให้ประหยัดพลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมดกับเมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.)

| ลำดับ    | ผนังทดสอบ                                             | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) |                      |                         |
|----------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|
|          |                                                       | ผนังทึบทั้งหมด                | บังแดดให้ผนังตะวันตก | ร้อยละของพลังงานที่ลดลง |
| แบบที่ 1 | ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น                            | 710                           | 655                  | 7.66 %                  |
| แบบที่ 2 | ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.   | 628                           | 619                  | 1.52 %                  |
| แบบที่ 3 | ผนังที่ใส่ฉนวนโพน 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 607                           | 599                  | 1.23 %                  |
| แบบที่ 4 | ผนังที่ใส่ฉนวนโพน 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 599                           | 595                  | 0.61 %                  |
| แบบที่ 5 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น                          | 617                           | 605                  | 1.90 %                  |
| แบบที่ 6 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. | 597                           | 596                  | 0.22 %                  |



แผนภูมิที่ 28 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมดกับ เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.)

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปี พบว่า ลำดับการใช้พลังงานนั้น ต่างจากเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด (ตามข้อ 1.1.1) และเมื่อเพิ่มหน้าต่าง 10% (ตามข้อ 1.3.1) คือ จากสองกรณีข้างต้น ผนังที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด คือผนังมวลเบา 2 ชั้นๆ นั้น เมื่อมีการบังแดดให้กับผนัง จึงพบว่า ผนังโฟม 4 นิ้วๆจะสามารถลดการใช้พลังงานมากที่สุดประมาณ 16.10% ลำดับ 2 คือผนังมวลเบา 2 ชั้นๆ จะลดการใช้พลังงานลงเล็กน้อยเท่ากับ 16.05% (เนื่องจากการใช้พลังงานต่างกันไม่มาก ดังนั้นหากต้องการคืนทุนเร็ว ควรเลือกใช้ผนังที่มีราคาถูกลงกว่า คือผนังมวลเบา 2 ชั้น) ลำดับ 3 คือผนังโฟม 2 นิ้วๆ จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 15.54%

ซึ่งเมื่อพิจารณาความคุ้มค่า พบว่า การใช้ผนังมวลเบา 1 ชั้น ซึ่งแม้จะไม่ได้ประหยัดพลังงานที่สุด แต่สามารถคืนทุนเร็วที่สุดคือ 1 ปี รองมาคือ ผนังอิฐฉาบปูน 2 ชั้นๆ 7.2 ปี และผนังมวลเบา 2 ชั้นๆ 7.9 ปี ส่วนผนังโฟม 2" และ 4" เนื่องจากราคาก่อสร้างที่สูงขึ้น จะใช้เวลาคืนทุน 12.3 ปี และ 15.7 ปี ตามลำดับ

โดยที่ผนังทั้ง 6 ชนิด มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปีและความคุ้มค่า เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (08.00-17.00 น.) เป็นดังนี้

### 1) การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร

แบบที่ 25 บังแดด ผนังก่ออิฐมวลเบา 1 ชั้น พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 54 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 8.65 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 207 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 0 ปี (ใช้ผนังต้นแบบ)

แบบที่ 26 บังแดด ผนังก่ออิฐมวลเบา 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 91 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 14.47 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 345 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 7.2 ปี

### 2) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน

แบบที่ 27 บังแดด ผนังโฟม 2" นอกช่องครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 110 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 17.55 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 419 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 12.3 ปี

แบบที่ 28 บังแดด ผนังโฟม 4" นอกช่องครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 114 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 18.18 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 434 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 15.7 ปี

### 3) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน+มวลสาร

แบบที่ 29 บังแดด คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 104 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 16.66 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 398 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 1 ปี

แบบที่ 30 บังแดด คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 114 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 18.12 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 433 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 7.9 ปี

ดังนั้นสรุปว่า ถ้าพิจารณาในเรื่องการประหยัดพลังงานพบว่า ในการบังแดด ตอนกลางวันให้แก่ผนังทึบนั้น ควรบังแดดให้กับผนังที่มีค่า R น้อย จะช่วยลดความร้อนที่ผิวภายนอกอาคารได้

แต่ถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุด 1 ปี

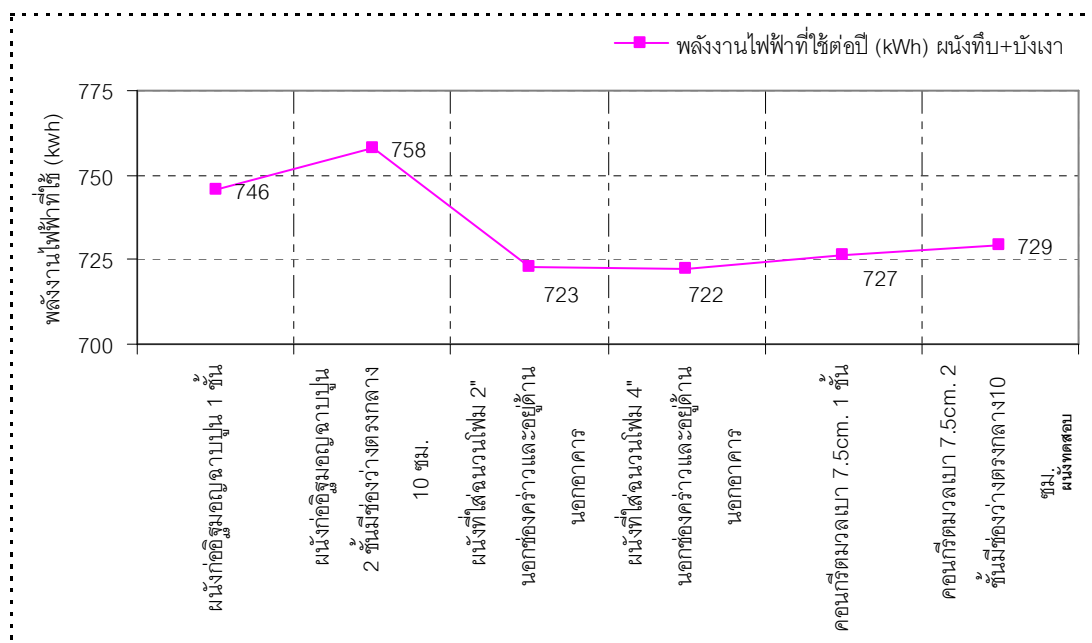
### 1.3.2 เมื่อมีการบังแดด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (21.00-06.00 น.)

จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าต่อปี ค่าก่อสร้างและ ระยะเวลาคืนทุนของผนังทั้ง 6 ชนิด เป็นดังนี้

ตารางที่ 18 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ค่าไฟฟ้าต่อปี ค่าก่อสร้างและ ระยะเวลาคืนทุนของ ผนังรูปแบบต่างๆ เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก กรณีปรับอากาศช่วง กลางคืน 21.00-06.00 น.

| ลำดับ     | ผนังทดสอบ                                                       | พลังงานไฟฟ้า<br>ที่ใช้ต่อปี (kWh) | ค่าไฟฟ้าที่ใช้<br>ต่อปี (บาท) | ค่าก่อสร้าง<br>10 ตร.ม. (บาท) | ระยะเวลา<br>คืนทุน (ปี) |
|-----------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| แบบที่ 31 | บังแดด ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น                               | 746                               | 2,834                         | 5,060                         | 0.0                     |
| แบบที่ 32 | บังแดด ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 2 ชั้น<br>มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.   | 758                               | 2,879                         | 7,540                         | -*                      |
| แบบที่ 33 | บังแดด ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่อง<br>ครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 723                               | 2,748                         | 10,210                        | 41.0                    |
| แบบที่ 34 | บังแดด ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่อง<br>ครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 723                               | 2,746                         | 11,880                        | 53.3                    |
| แบบที่ 35 | บังแดด คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น                             | 727                               | 2,761                         | 5,450                         | 3.5                     |
| แบบที่ 36 | บังแดด คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น<br>มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. | 729                               | 2,772                         | 8,500                         | 33.8                    |

\* ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นและราคาเพิ่มขึ้นจึงไม่คิดเวลาคืนทุน

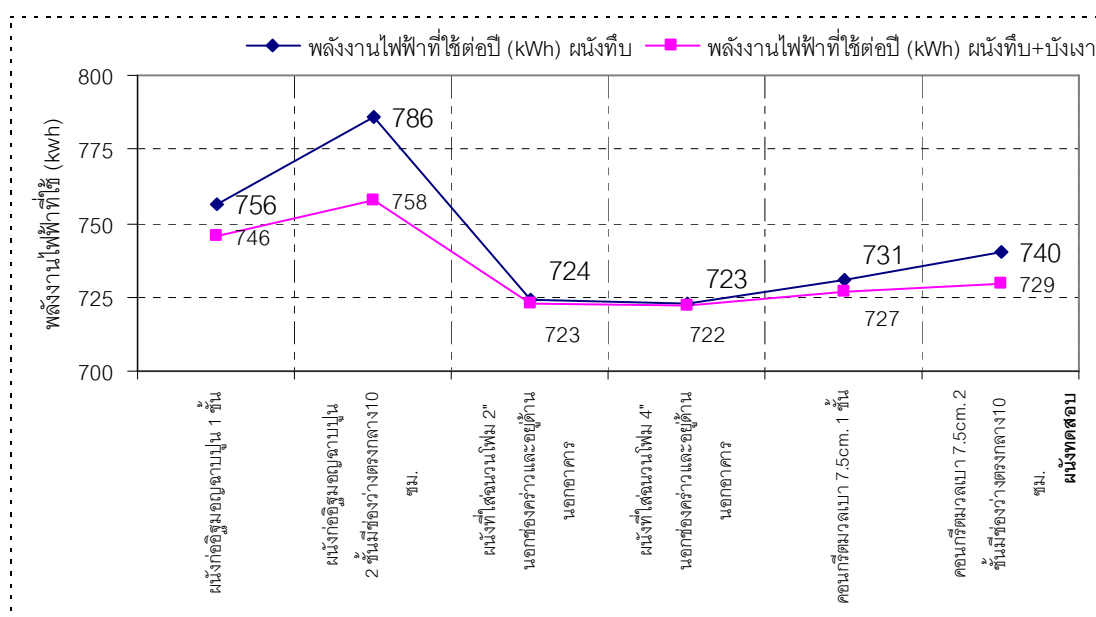


แผนภูมิที่ 29 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น.

จากตารางที่ 18 และแผนภูมิที่ 29 (ด้านบน) สามารถสรุปผลการทดลองของผนังทั้ง 6 ชนิด เมื่อมีการบังแดด กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น. ผลจากการบังแดดให้แก่ผนังทางทิศตะวันตกในตอนกลางวันนั้น (ดูตารางที่ 19) พบว่า ผนังทั้ง 6 ชนิดสามารถประหยัดพลังงานกว่าเมื่อเป็นผนังทึบไม่บังเงา (ตามข้อ 1.1.2) เพียงเล็กน้อย ซึ่งผนังทุกชนิดมีความสามารถในการประหยัดพลังงานได้ต่างกัน โดยเฉพาะผนังทึบอยู่ภายใน 2 ชั้น ประหยัดพลังงานได้มากที่สุดถึง 28 kWh หรือประมาณ 3.58 % ส่วนผนังอื่นๆ ลดลงเพียง 1-11 kWh หรือประมาณ 0.14-1.43 % เท่านั้น

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) เมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อ  
บังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก (ปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น.)

| ผนังทดสอบ                                             | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) |        |                             |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|--------|-----------------------------|
|                                                       | ผนังทึบ                       | บังแดด | ร้อยละของ<br>พลังงานที่ลดลง |
| ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น                            | 756                           | 746    | 1.37                        |
| ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.   | 786                           | 758    | 3.58                        |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคิ้วและอยู่ด้านนอกอาคาร   | 723                           | 722    | 0.14                        |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคิ้วและอยู่ด้านนอกอาคาร   | 724                           | 723    | 0.20                        |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น                          | 731                           | 727    | 0.59                        |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. | 740                           | 729    | 1.43                        |



แผนภูมิที่ 30 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อมีการ  
บังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก (ปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น.)

ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า เมื่อบังแดดให้ผนังอาคารในตอนกลางวันนั้น ลำดับการใช้พลังงานก็ยังเหมือนกับเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด (ตามข้อ 1.1.2) ดังนี้

ผนังที่ใส่นวนโฟม 4" ๔ จะสามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดถึง 4.43% รองลงมาคือ ผนังที่ใส่นวนโฟม 2" ๔ ซึ่งลดการใช้พลังงานน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยคือ 4.37% ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่ม ค่า R นั้น ก็ไม่ทำให้ ลดการใช้พลังงานลงได้มากนักและไม่คุ้มค่ากับค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ลำดับต่อมาคือ ผนังคอนกรีตมวลเบา<sup>ชั้น</sup> จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 3.91% ตามลำดับ

แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งนี้หากพิจารณาในแง่การคืนทุนแล้วพบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบา<sup>ชั้น</sup> เดียวมีความคุ้มค่าในการลงทุนดีกว่าผนังชนิดอื่นๆ คือใช้เวลา 3.5 ปี ส่วนผนังอื่นๆ มีระยะการคืนทุนที่มากกว่า 30 ปี จึงถือว่าไม่คุ้มค่าการลงทุน เพราะอาจเกินอายุการใช้ของผนังอาคาร

และเป็นที่น่าสังเกตว่า การใช้ผนังอิฐมวลสองชั้น<sup>๔</sup> ( เช่นเดียวกับข้อ 1.1.2 และข้อ 1.2.2 ที่กล่าวไป) ทางทิศตะวันตกนั้นจะใช้พลังงานในการปรับอากาศมากขึ้นกว่าการใช้อิฐมวลชั้นเดียว ประมาณ 0.21% และยังสิ้นเปลืองเงินค่าก่อสร้างผนังเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นหากต้องการประหยัดพลังงานในตอนกลางคืนทั้ง 3 กรณี (ข้อ 1.1.2 , 1.2.2 และข้อนี้ 1.3.2) ไม่ควรใช้อิฐมวลสองชั้น

**โดยที่ผนังทั้ง 6 ชนิด มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปีและความคุ้มทุน เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น.เป็นดังนี้**

#### 1) การลดความร้อนด้วยการใช้มวลสาร

แบบที่ 31 บังแดดผนังก่ออิฐมวล 1 ชั้น พบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงกว่าการไม่บังแดด 10 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 1.37 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 40 บาทต่อปี

แบบที่ 32 บังแดดผนังก่ออิฐมวล 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 2 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 0.21 % ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 6 บาทต่อปี

ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ ตอนไม่บังแดด แต่เมื่อทำการบังแดด ผนังชนิดนี้ใช้พลังงานน้อยลง 28 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี แต่ก็ยังมากกว่าการใช้อิฐมวล<sup>๑</sup>ชั้น ทำให้ผนังชนิดนี้ไม่เหมาะสมที่จะใช้งานในตอนกลางคืนทั้งในกรณีบังแดดหรือไม่บังแดด

## 2) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน

แบบที่ 33 บังแดดผนังโพน 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 33 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 4.37 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 126 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 41 ปี

แบบที่ 34 บังแดดผนังโพน 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 34 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 4.43 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 127 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 53.5 ปี

## 3) การลดความร้อนด้วยการใช้ฉนวน+มวลสาร

แบบที่ 35 บังแดดคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 30 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 3.91 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 112 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 3.5 ปี

แบบที่ 36 บังแดดคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม.2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 27 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 3.54 % สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 102 บาทต่อปี ซึ่งระยะคืนทุนเท่ากับ 33.8 ปี

ดังนั้นสรุปว่า ในการบังแดดให้ผนังทางทิศตะวันตก ควรเลือกใช้การบังแดดร่วมกับผนังที่มีค่า R น้อยและมวลสารมาก จะช่วยให้ผนังชนิดนั้นๆ ประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น

และถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุดเท่ากับ 3.5 ปี

## 2. กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน (24ชม.)

เมื่อผนังทางทิศตะวันตกเป็นผนังทึบเพียงอย่างเดียว กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน (24ชม.) ในการวิเคราะห์ได้ทำการเลือกวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนกว่าวันปกติ ซึ่งเป็นวันที่ 17-18 เมษายน เป็นตัวแทนในการพิจารณา โดยนำอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ คือ อุณหภูมิอากาศภายใน, อุณหภูมิผิวภายนอกและอุณหภูมิผิวภายในมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถสรุปผลการจำลองกรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน ได้ดังนี้

**2.1 ลักษณะที่ใช้งานกลางวันเป็นหลัก (8.00-17.00 น.)** พบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้นๆ จะมีความเหมาะสมในการใช้งานมากที่สุด เนื่องจากมีค่า Time Lag ที่นานถึง 5 ชม. สามารถต้านทานความร้อนได้เป็นอย่างดี ลำดับที่ 2 คือ ผนังโฟม 4 นิ้ว ๆ Time Lag เท่ากับ 4 ชม. ส่วนผนังโฟม 2 นิ้ว และคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น เท่ากันคือ 2 ชม. ส่วนอิฐมวลเบา 1 ชั้น Time Lag เท่ากับ 1 ชม.

จะเห็นว่า การใช้ผนังที่มีมวลสารร่วมกับค่าความต้านทานความร้อนที่มากจะช่วยป้องกันความร้อนในตอนกลางวันได้เป็นอย่างดี

**2.2 ลักษณะที่ใช้งานกลางคืน (21.00-06.00 น.)** พบว่าการใช้ผนังอิฐมวลเบา 1 ชั้น จะมีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งแม้ว่าในตอนกลางวันอุณหภูมิอากาศภายในของอิฐมวลเบา 1 ชั้น จะสูงมากถึงประมาณ  $35^{\circ}\text{C}$  ก็ตาม แต่เนื่องจากการที่มีค่า R น้อย ( $0.26 \text{ m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ) ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนที่สะสมในตอนกลางวันได้อย่างรวดเร็ว

จะเห็นว่า ควรใช้ผนังที่มีค่า R น้อย จะสามารถถ่ายเทความร้อนที่สะสมในเวลากลางวันได้อย่างรวดเร็ว

**2.3 ลักษณะที่ใช้งานตลอดทั้งวัน** พบว่า ผนังฉนวนโฟม 4 นิ้ว มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในห้องในรอบวันน้อยที่สุดเพียง  $2.69^{\circ}\text{C}$  ลำดับต่อมา คือ ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้นๆ เท่ากับ  $2.80^{\circ}\text{C}$  และผนังฉนวนโฟม 2 นิ้ว เท่ากับ  $2.83^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจะเห็นว่าผนังทั้งสามชนิดข้างต้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศที่ใกล้เคียงกันมาก

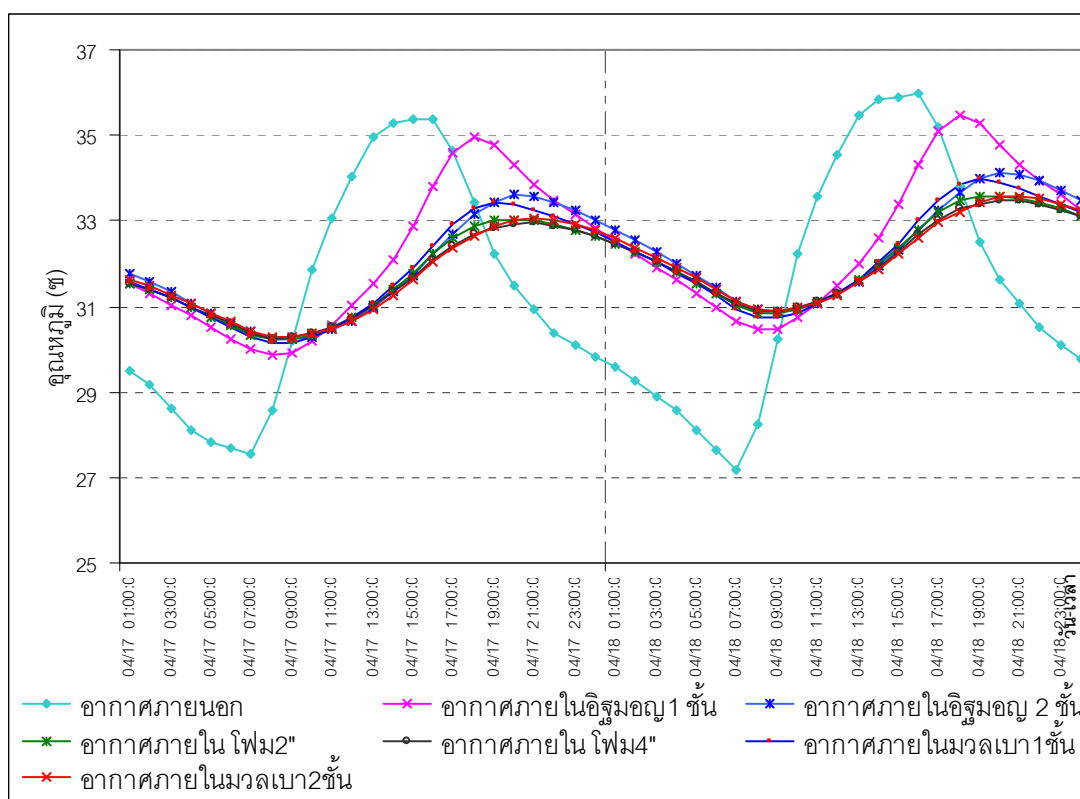
ส่วนผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น และผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นๆ จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งใกล้เคียงกันประมาณ  $3.29^{\circ}\text{C}$  และ  $3.43^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ส่วนผนังอิฐมวลเบา 1 ชั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากที่สุดประมาณ  $5.09^{\circ}\text{C}$

ดังนั้น เพื่อประกอบการพิจารณาในการหาผนังที่เหมาะสมกับการใช้งานตลอดทั้งวัน จึงดูเรื่องราคาค่าก่อสร้างผนังด้วย

ซึ่งพบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้นๆ (ราคา 850 บาทต่อตร.ม.) ทั้งเรื่องราคาที่สามารถคืนทุนเร็วและอุณหภูมิที่แตกต่างกันน้อย จะมีความเหมาะสมมากที่สุด รองมาคือ ผนังโฟม 4 นิ้ว และ 2 นิ้ว (ราคา 1,021 และ 1,188 บาทต่อตร.ม.) ตามลำดับ

รายละเอียดในการวิเคราะห์ผลจากอุณหภูมิอากาศภายใน, อุณหภูมิผิวภายนอกและอุณหภูมิผิวภายในมีดังนี้

วิเคราะห์อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน



แผนภูมิที่ 31 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในผนังทั้ง 6 ชนิด (วันที่ 17-19 เม.ย.)

จากแผนภูมิที่ 31 จะเห็นว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าผนังชนิดอื่นๆ อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 18.00 น. อุณหภูมิอากาศในห้องจะสูงกว่าการใช้ผนังอื่นๆ ถึงประมาณ 2 °ซ และอุณหภูมิอากาศในห้องของผนังทุกแบบจะแตกต่างกันน้อยมากในช่วงประมาณ 01.00-11.00น โดยอุณหภูมิห้องที่ใช้มีผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้นจะต่ำกว่าผนังชนิดอื่นๆ เล็กน้อย

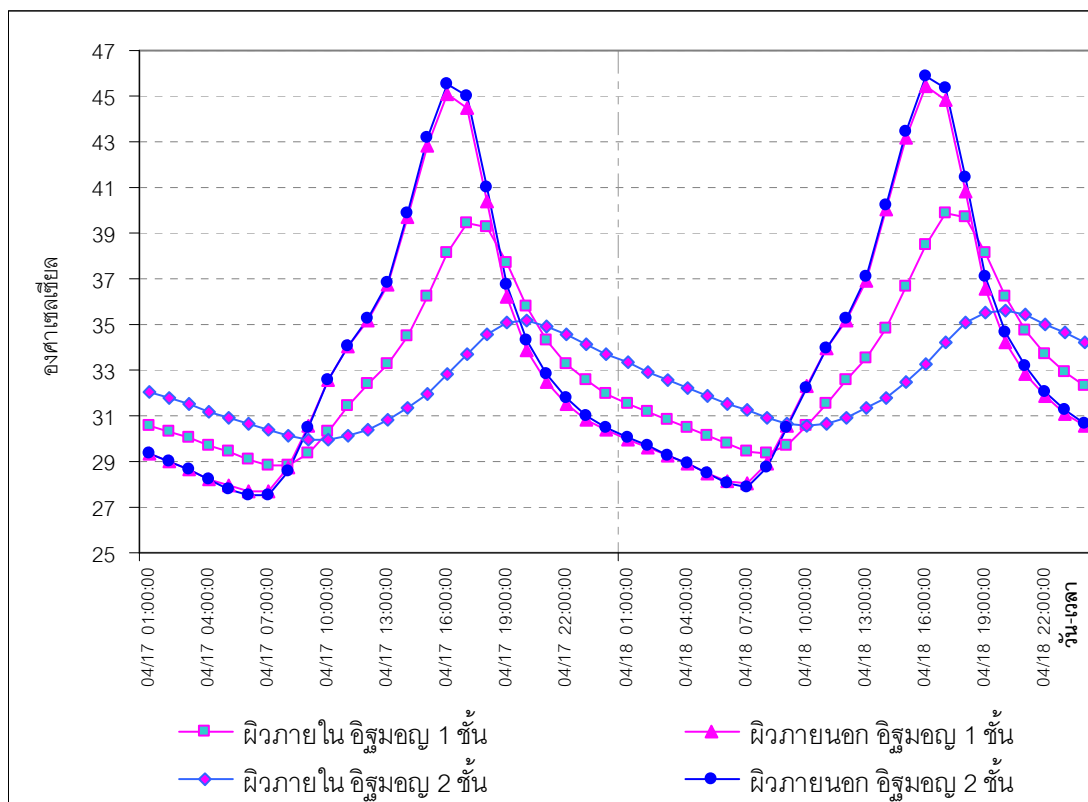
ตารางที่ 20 แสดงช่วงเวลาการหน่วงความร้อน (Time Lag) ชั่วโมง

| ลำดับ     | ผนังทดสอบ                                                | ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิสูงสุด (เฉลี่ย3วัน) |          | Time Lag<br>(ชั่วโมง) |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|-----------------------|
|           |                                                          | ผิวภายนอก                               | ผิวภายใน |                       |
| แบบที่ 37 | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                                  | 16.00 น.                                | 17.00 น. | 1                     |
| แบบที่ 38 | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น<br>มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.      | 16.00 น.                                | 20.00 น. | 4                     |
| แบบที่ 39 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่อง<br>ครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 16.00 น.                                | 18.00 น. | 2                     |
| แบบที่ 40 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่อง<br>ครัวและอยู่ด้านนอกอาคาร  | 16.00 น.                                | 20.00 น. | 4                     |
| แบบที่ 41 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น                             | 16.00 น.                                | 18.00 น. | 2                     |
| แบบที่ 42 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น<br>มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. | 16.00 น.                                | 21.00 น. | 5                     |

### การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในห้อง

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในห้องของผนังฉนวนโฟม 2 นิ้ว , 4 นิ้ว และคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น มีความใกล้เคียงกันมากอยู่ในช่วง ประมาณ 2.69 -2.83 °ซ ส่วนอุณหภูมิห้องที่ใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา7.5cm.1 และผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น จะเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันประมาณ 3.29-3.43°ซ อุณหภูมิของห้องที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น จะเปลี่ยนแปลงมากที่สุดประมาณ 5.09 °ซ

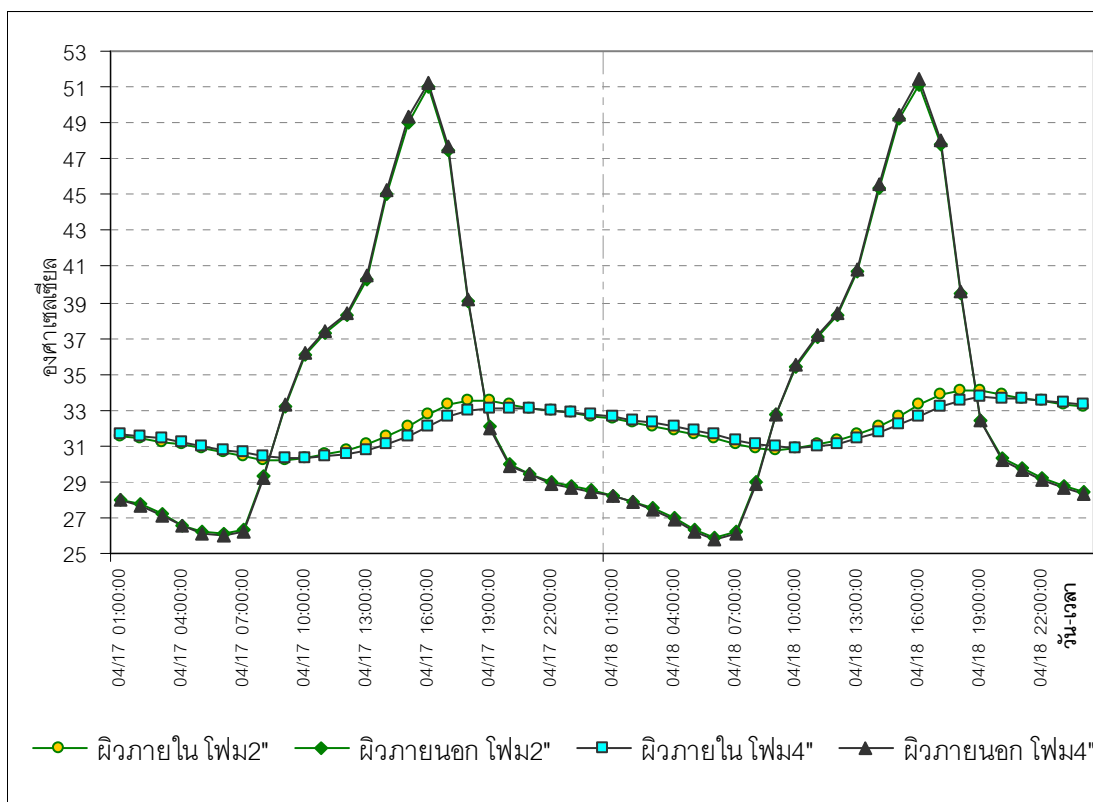
### เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในและผิวนอกของวัสดุทั้ง 6 ชนิด



แผนภูมิที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในและผิวนอก ของผนังอิฐมอดู 1 ชั้น และ 2 ชั้น (วันที่ 17-18 เม.ย.)

ผนังก่ออิฐมอดูฉาบปูน 1 ชั้น อุณหภูมิผิวนอกสูงสุดเวลา 16.00 น.และอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดเวลา 17.00 น. ดังนั้น ช่วงเวลาการหน่วงความร้อนเท่ากับ 1 ชั่วโมง

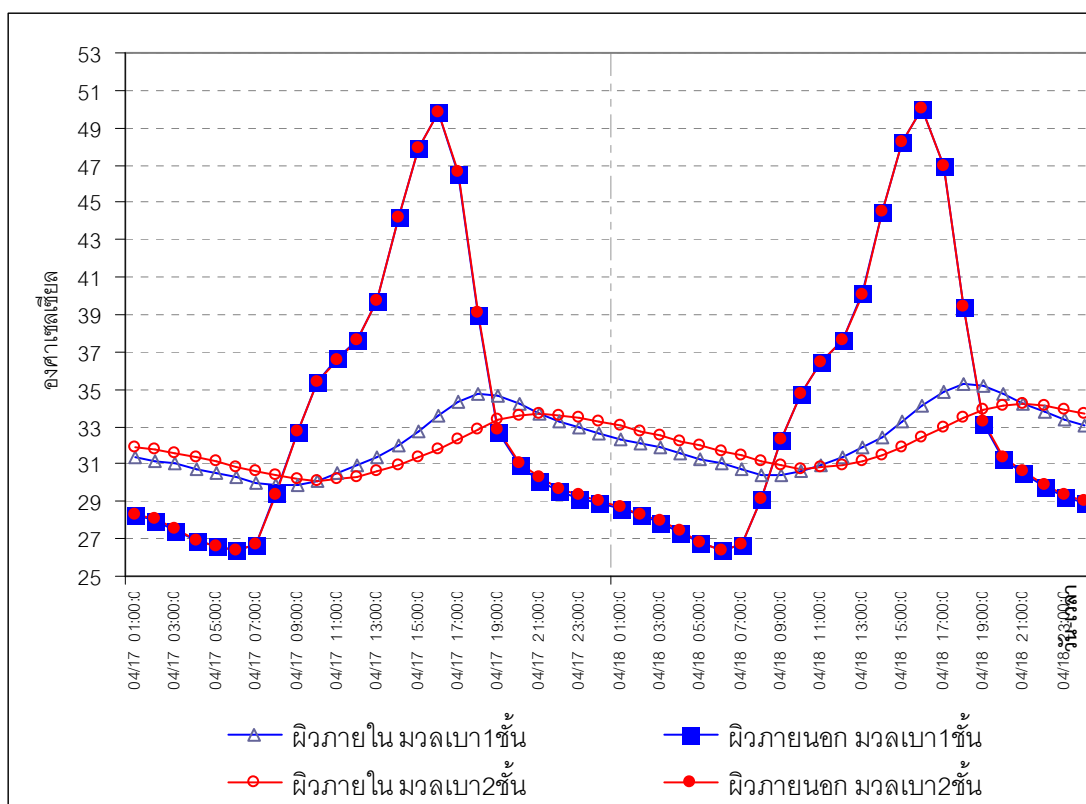
ผนังก่ออิฐมอดูฉาบปูน 2 ชั้นๆ อุณหภูมิผิวนอกสูงสุดเวลา 16.00 น.และอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดเวลา 20.00 น. ดังนั้น ช่วงเวลาการหน่วงความร้อนเท่ากับ 4 ชั่วโมง



แผนภูมิที่ 33 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในและผิวนอก ของผนังโฟม 2" และ 4" (วันที่ 17-18 เม.ย.)

ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" ๔ อุณหภูมิผิวนอกสูงสุดเวลา 16.00 น. และอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดเวลา 18.00 น. ดังนั้น ช่วงเวลาการหน่วงความร้อนเท่ากับ 2 ชั่วโมง

ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" ๔ อุณหภูมิผิวนอกสูงสุดเวลา 16.00 น. และอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดเวลา 20.00 น. ดังนั้น ช่วงเวลาการหน่วงความร้อนเท่ากับ 4 ชั่วโมง

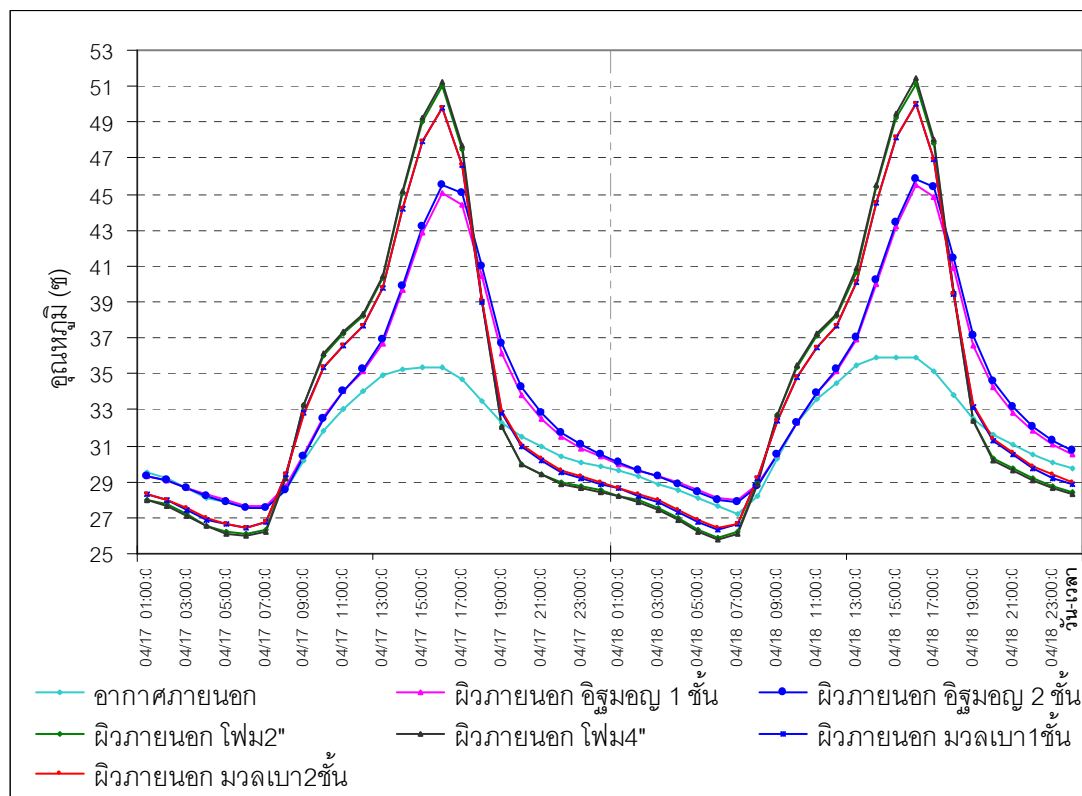


แผนภูมิที่ 34 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในและผิวภายนอก ของผนังมวลเบา 1 ชั้น และ 2 ชั้น (วันที่ 17-18 เม.ย.)

คอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น อุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดเวลา 16.00 น. และอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดเวลา 18.00 น. ดังนั้น ช่วงเวลาการหน่วงความร้อนเท่ากับ 2 ชั่วโมง

คอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น อุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดเวลา 16.00 น. และอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดเวลา 21.00 น. ดังนั้น ช่วงเวลาการหน่วงความร้อนเท่ากับ 5 ชั่วโมง

### วิเคราะห์อุณหภูมิผิวภายนอก กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน

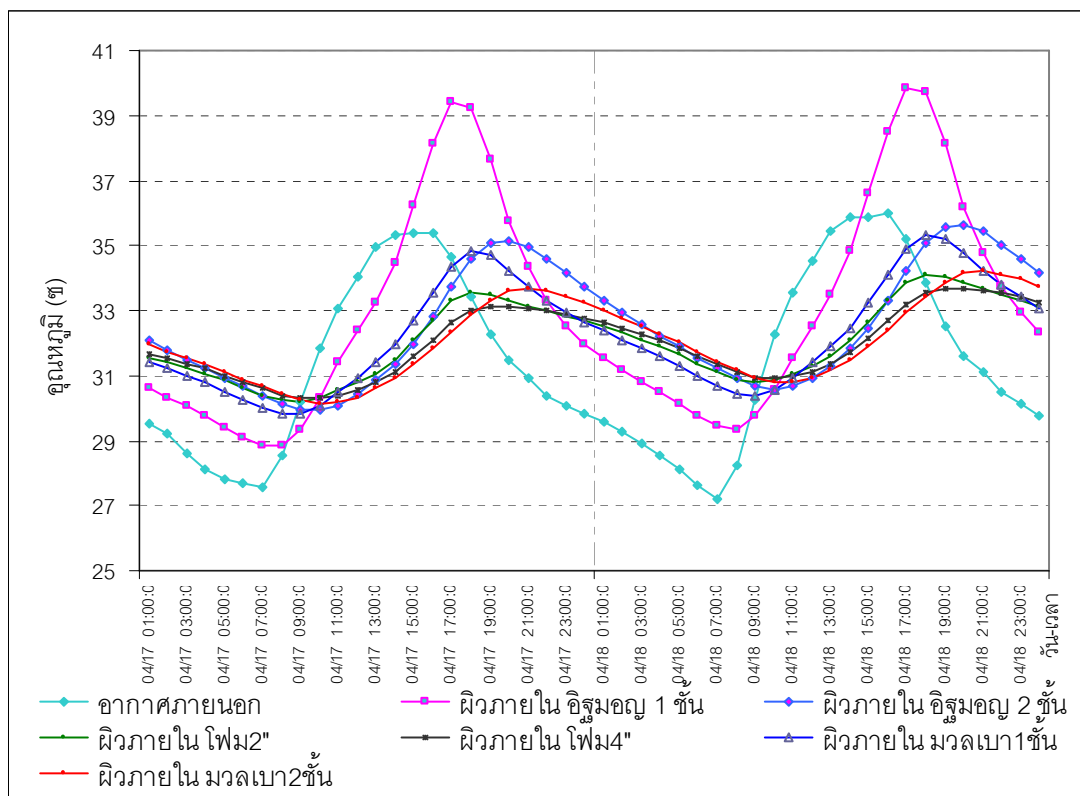


แผนภูมิที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอกผนัง ทั้ง 6 ชนิด (วันที่ 17-18 เม.ย.)

จากแผนภูมิที่ 35 จะเห็นว่า ผนังโฟม 2 นิ้ว, 4 นิ้ว, ผนังมวลเบา 1 ชั้น และ 2 ชั้น จะมีอุณหภูมิผิวภายนอกที่สูง (เฉลี่ย 2 วัน) ซึ่งใกล้เคียงกันประมาณ 50-51 °C (16.00 น.) ส่วนผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น และ 2 ชั้น จะมีอุณหภูมิผิวภายนอกที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 45 °C (16.00 น.) ซึ่งต่ำกว่าผนังชนิดอื่นๆ ประมาณ 5-6 °C

และเมื่อเวลา 18.00-8.00 น. อุณหภูมิผิวภายนอกของผนังโฟม 2 นิ้วและ 4 นิ้ว จะลดต่ำลงกว่าผนังอื่นๆ ประมาณ 1-2 °C

### วิเคราะห์อุณหภูมิผิวภายใน กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน



แผนภูมิที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในผนังทั้ง 6 ชนิด (วันที่ 17-19 เม.ย.)

จากแผนภูมิที่ 36 จะเห็นว่าผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน 1 ชั้น จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าผนังชนิดอื่นๆ อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. อุณหภูมิผิวภายในห้องจะสูงกว่าการใช้ผนังอื่นๆ ถึงประมาณ 2-3 °C และอุณหภูมิผิวภายในห้องของผนังทุกแบบจะแตกต่างกันไม่มากในช่วงประมาณ 23.00-10.00 น. โดยอุณหภูมิผิวภายในห้องที่ใช้มีผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน 1 ชั้นจะต่ำกว่าผนังชนิดอื่นๆ ประมาณ 1 °C

## อภิปรายผล

### 1. เมื่อนำผลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตดังนี้

1.1 จากผลการศึกษาที่ได้จะพบว่า มีความสอดคล้องกับการศึกษาเปรียบเทียบอัตราความร้อนที่ผ่านผนังชนิดต่างๆ (สุนทร บุญญาธิการ, 2543) ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว และ 8 นิ้ว, ผนังคอนกรีตมวลเบา 4 นิ้ว และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) ชนิดที่มีโฟม EPS หนา 3 นิ้ว ในกรณีไม่ปรับอากาศ ดังนี้ ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) ชนิดที่มีโฟม EPS หนา 3 นิ้ว จะสามารถป้องกันความร้อนได้ดีที่สุด

ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้ก็พบว่าการใช้ผนังโฟม สามารถป้องกันความร้อนได้ดีเช่นกัน แต่ถ้ามองเรื่องความคุ้มค่าในการลงทุนก็จะไม่เหมาะสมกับการเลือกใช้ เนื่องจากราคาที่ค่อนข้างสูงของผนังชนิดนี้ ทำให้มีระยะเวลาคืนทุนที่นาน

แต่เมื่อพิจารณาในเรื่องลำดับอุณหภูมิสูง-ต่ำ พบว่าลำดับไม่เหมือนกัน คือ งานวิจัยนี้พบว่า ลำดับอุณหภูมิสูงสุดลำดับที่สองและสามนั้น คืออิฐมวลเบาสองชั้นและมวลเบาชั้นเดียวตามลำดับ แต่ของสุนทรนั้นพบว่า ลำดับสองและสามนั้น สลับกับงานวิจัยนี้ ซึ่งอาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมมีความแตกต่าง โดยที่ในงานวิจัยนี้การจำลอง 6 โซน ส่วนงานของสุนทร 1 โซน การนำความร้อนจึงต่างกันด้วย และลักษณะการจำลองเป็นกล่องกับห้อง และวัสดุผนังล้อมรอบด้านข้าง จึงเป็นเหตุให้ผลที่ได้ต่างกัน

1.2 จากงานวิจัย (พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์, 2551) เรื่องการศึกษาเปรียบเทียบพลังงานในการปรับอากาศระหว่างการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น พบว่าการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาสองชั้นสามารถให้ผลดีในการประหยัดพลังงานได้มากกว่าใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวทั้งกลางวันและกลางคืน

แต่ในตอนกลางคืน ผลจากงานวิจัยนี้ พบว่ามวลเบาชั้นเดียวประหยัดกว่าสองชั้น ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่า พลังงานที่ลดลงเมื่อใช้ผนังชั้นเดียวประมาณ 1.29% เท่านั้น ส่วนของพันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์ พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อใช้มวลเบาสองชั้นเท่ากับ 9.6% ถือว่าผลต่างของทั้งสองกรณีข้างต้นไม่ต่างกันมาก

ซึ่งเหตุที่ทำให้ผลการทดลองต่างกันอาจเนื่องด้วย สัดส่วนของหน้าต่างต่อพื้นที่ห้อง และสภาพแวดล้อมต่างกัน(วัดจริงกับใช้โปรแกรม) และวัดจริงในเดือนเดียว กับโปรแกรมใช้ค่าเฉลี่ยทั้งปี และหลังคาร์บ Heat ต่างกัน ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นตัวแปรที่สำคัญทำให้การใช้พลังงานต่างกันั้นเอง

## 2. ผลจากการศึกษาข้างต้น เป็นผลที่ได้จากการจำลองอาคารดังนี้

2.1 งานวิจัยนี้จำลองสภาพห้องเปล่าที่ไม่มีเฟอร์นิเจอร์ คน ตลอดจนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดความร้อนขณะปรับอากาศ ซึ่งลักษณะห้องที่จำลองนี้หลังคาคอนกรีต Slab ส่วนผนังด้านข้างเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน1ชั้น และเป็นห้องเปล่าทั้ง3ด้าน ไม่มีการปรับอากาศตลอดทั้งวัน ดังนั้นตัวเลขของการประหยัดพลังงานที่เกิดจากการใช้งานจริง อาจมีผลที่แตกต่างออกไป

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผนังในรูปแบบต่างๆ เพื่อหาแนวทางการลดความร้อนผ่านผนังทิศตะวันตก ด้วยการใช้โปรแกรม EnergyPlus จำลองหาค่าการใช้พลังงานและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับการใช้ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น ซึ่งเป็นผนังที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

### สรุปผลการวิจัย

#### 1. กรณีปรับอากาศ

##### 1.1 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด

1.1.1 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (8.00-17.00 น. ทุกวันตลอดทั้งปี) พบว่าการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้นๆ จะประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้อิฐมวลเบาได้สูงสุดถึง 15.86% ต่อปี ลำดับ 2 คือ ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร จะประหยัดพลังงานน้อยกว่าเล็กน้อยคือ 15.58 % และลำดับ 3 คือ ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 14.49%

เมื่อนำค่าไฟฟ้าที่ลดลงมาเปรียบเทียบกับราคาค่าก่อสร้างผนังที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น โดยคิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วย รวมค่า Ft และภาษีมูลค่าเพิ่มเป็นหน่วยละ 3.80 บาท

พบว่าการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น ซึ่งแม้จะไม่ได้ประหยัดพลังงานที่สุด แต่สามารถคืนทุนได้เร็วกว่าผนังทุกชนิด คือเพียง 1.1 ปี (คิดราคารั้วสดพร้อมค่าแรงเท่ากับ 545 บาทต่อตร.ม.) ส่วนการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ซึ่งประหยัดพลังงานมากที่สุดจะคืนทุนในเวลาประมาณ 8 ปี เท่ากับ ผนังก่ออิฐมวลเบา 2 ชั้นๆ (ค่าวัสดุพร้อมค่าแรงของอิฐมวลเบา 2 ชั้น = 754

บาทต่อตร.ม.ของคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น = 850 บาทต่อตร.ม.) ส่วนผนังโฟม 2" และ 4" เนื่องจาก ราคาสูง (ราคา 1,021 และ 1,188 บาทต่อตร.ม.ตามลำดับ) แม้จะมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนดีแต่ใช้เวลาคืนทุนนานประมาณ 13.2 และ 16.2 ปี

ดังนั้นสรุปว่า ถ้าพิจารณาในเรื่องการประหยัดพลังงานพบว่า เมื่อเป็น ผนังที่บ่มทั้งหมด ปรับอากาศช่วงกลางวันควรเลือกใช้ผนังที่มีค่า R สูงรวมกับมีมวลสาร จะเหมาะสมกับการใช้งานในช่วงเวลานี้

แต่ถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุด 1.1 ปี

ตารางที่ 21 แสดงค่า Thermal Mass, ค่า R, ค่า U และค่ามวลรวมของวัสดุ

| หัวข้อ                                 | แบบที่ 1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น | แบบที่ 2 ผนังก่ออิฐ 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 100 มม | แบบที่ 3 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องค้ำวและอยู่ด้านนอกอาคาร | แบบที่ 4 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องค้ำวและอยู่ด้านนอกอาคาร | แบบที่ 5 คอนกรีตมวลเบา 7.5 cm. | แบบที่ 6 คอนกรีตมวลเบา 7.5 cm. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 100 มม |
|----------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| มวลอุณหภาพ (J/m <sup>2</sup> .K)       | 114,822                          | 203,302                                             | 32,064                                                       | 33,032                                                       | 45,394                         | 84,455                                                         |
| ค่า R (m <sup>2</sup> -°C/W)           | 0.26                             | 0.48                                                | 1.86                                                         | 3.29                                                         | 0.95                           | 1.58                                                           |
| ค่า U (W/m <sup>2</sup> -°C)           | 3.83                             | 2.08                                                | 0.54                                                         | 0.30                                                         | 1.05                           | 0.63                                                           |
| ค่ามวลรวมของวัสดุ (kg/m <sup>2</sup> ) | 143                              | 255                                                 | 32                                                           | 33                                                           | 54                             | 101                                                            |

หมายเหตุ รายละเอียดและวิธีการคำนวณดูที่ภาคผนวก ข

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้าง กรณีผนังทึบทั้งหมด และกรณีเพิ่มหน้าต่าง 10% ฯ

| ชนิดผนัง                                             | ค่าก่อสร้าง พื้นที่ 1 ตร.ม. (บาท) |             |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
|                                                      | ผนังทึบทั้งหมด                    | ช่องเปิด10% |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                              | 506                               | 452         |
| ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง10 ซม.       | 754                               | 715         |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 1,021                             | 867         |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 1,188                             | 1,009       |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม.1 ชั้น                          | 545                               | 517         |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง10 ซม.  | 850                               | 996         |

1.1.2 เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน (21.00-6.00 น. ทุกวันตลอดทั้งปี) พบว่า การใช้ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร จะสามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดถึง 4.24% รองลงมาคือ ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" ฯ ซึ่งลดการใช้พลังงานน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยคือ 4.23% ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่ม ค่า R นั้น ก็ไม่ทำให้ ลดการใช้พลังงานลงได้มากนักและอาจไม่คุ้มค่ากับค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ลำดับต่อมาคือ ผนังคอนกรีตมวลเบา1ชั้น จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 3.34% ตามลำดับ

แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งนี้หากพิจารณาในแง่การคืนทุนแล้วพบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวมีความคุ้มค่าในการลงทุนดีกว่าผนังชนิดอื่นๆ คือใช้เวลา 4.1 ปี ส่วนผนังอื่นๆ มีระยะการคืนทุนที่มากกว่า 40 ปี จึงถือว่าไม่คุ้มค่าการลงทุน เพราะอาจเกินอายุการใช้ของผนังอาคาร

และเป็นที่น่าสังเกตว่า การใช้ผนังอิฐฉาบสองชั้นฯ ทางทิศตะวันตกนั้น จะใช้พลังงานในการปรับอากาศมากขึ้นกว่าการใช้อิฐฉาบชั้นเดียวประมาณ 3.93% และยังสิ้นเปลืองเงินค่าก่อสร้างผนังเพิ่มขึ้นอีกด้วย

ดังนั้นสรุปว่า ถ้าพิจารณาในเรื่องการประหยัดพลังงานพบว่า ควรเลือกใช้ผนังที่มีค่า R สูงรวมกับมวลสารน้อย เพื่อต้านทานความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงกลางวัน ไม่ให้เข้าสู่อาคารได้มากนัก และผนังชนิดนี้ ควรจะถ่ายเทความร้อนที่สะสมจากช่วงกลางวันออกสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็วและ ถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุดเท่ากับ 4.1 ปี

**1.2 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องที่มีคนอยู่อาศัย** ซึ่งเป็นเกณฑ์ของหน้าต่างขนาดเล็กที่สุดตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 39

**1.2.1 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องฯ กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน** พบว่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศของผนังทั้ง 6 ชนิดเพิ่มมากขึ้นกว่าเป็นผนังทึบประมาณ 17.48% (ดูตาราง 23) ส่วนราคาค่าก่อสร้างของผนังคอนกรีตมวลเบา สองชั้นจะเพิ่มมากขึ้นกว่าผนังชนิดอื่น ทั้งนี้เพราะการทำหน้าต่างของผนังคอนกรีตมวลเบาสองชั้นจะมีราคาเอ็นคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ดังนั้นจำนวนหน้าต่างหรือเอ็นรอบหน้าต่างจึงกลายเป็นตัวแปรสำคัญ ที่มีผลต่อต้นทุนค่าก่อสร้างผนังและมีผลต่อระยะเวลาการคืนทุน ซึ่งหากต้องการประหยัดพลังงานและคืนทุนเร็วไม่ควรเจาะช่องเปิดทางทิศตะวันตก ในกรณีที่ใช้งานในตอนกลางวัน แต่ทั้งนี้ไม่ควรให้เสียประโยชน์ใช้สอยในด้านอื่นๆ ด้วย

ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า เมื่อมีหน้าต่าง 10% นั้น ลำดับการใช้พลังงานก็ยังเหมือนกับเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด (ตามข้อ 1.1.1) ดังนั้น ผนังคอนกรีตมวลเบาสองชั้นยังคงประหยัดพลังงานมากที่สุดคือใช้พลังงานต่ำกว่าผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว 10.57% รองลงมาคือผนังโฟม 4 นิ้ว และ 2 นิ้ว โดยใช้พลังงานต่ำกว่า 10.27% และ 9.51% ตามลำดับ

ทั้งนี้หากพิจารณาในแง่การคืนทุนแล้วพบว่า การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น ซึ่งแม้จะไม่ได้ประหยัดพลังงานที่สุด แต่สามารถคืนทุนได้เร็วกว่าผนังทุกชนิด (เช่นเดียวกับข้อ 1.1.1 และ 1.1.2) คือเพียง 2.4 ปี ส่วนการใช้อิฐมวลเบา 2 ชั้น มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 10.4 ปี แต่ผนังโฟม 2", คอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น และผนังโฟม 4" แม้จะมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนดีแต่ใช้เวลาคืนทุนนานถึง 14, 16.5 ปี และ 17.4 ปี

**ดังนั้นสรุปว่า ถ้าพิจารณาในเรื่องการประหยัดพลังงานพบว่า** ควรเลือกใช้ผนังที่มีค่า R สูงรวมกับมีมวลสาร จะเหมาะสมกับการใช้งานในช่วงกลางวัน เช่นเดียวกับเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด (ตามข้อ 1.1.1) **และ ถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน** ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุดเท่ากับ 2.4 ปี

**1.2.2 เมื่อมีหน้าต่างขนาด 10% ของพื้นที่ห้องฯ กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน** ผลของการเพิ่มขนาดช่องเปิด 10% นั้น ทำให้ผนังทั้ง 6 ชนิดใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นกว่าการทำผนังทึบ (ในข้อ 1.1.2) ประมาณ 4.37% และระยะเวลาคืนทุนก็เพิ่มมากขึ้นด้วย จึงไม่ควร

เจาะช่องเปิดที่ผนังด้านทิศตะวันตก หากไม่ทำให้เสียประโยชน์ใช้สอยในการใช้งานด้านอื่นๆ (เช่นเดียวกับที่กล่าวในข้อ 1.2.1)

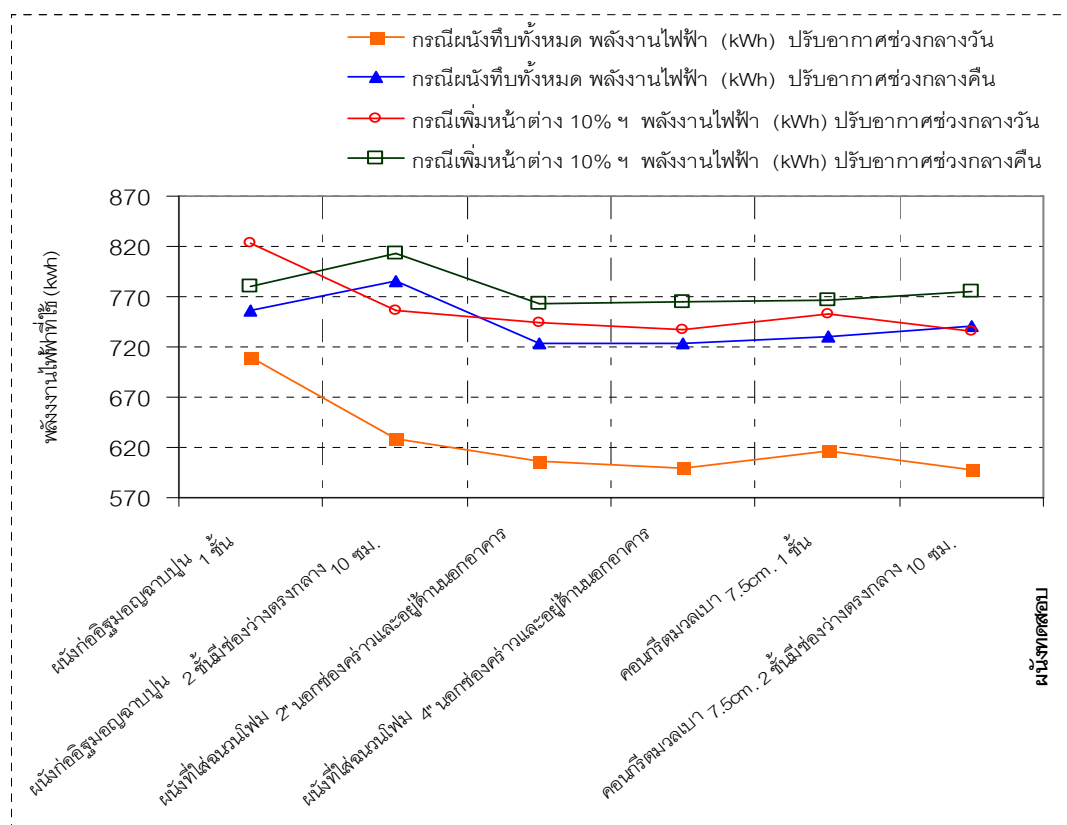
เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานต่อปีจะเห็นว่า ผนังฉนวนโฟม 2 นิ้ว สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดประมาณ 2.33 % ส่วนผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4 นิ้ว สามารถลดการใช้พลังงานได้เป็นลำดับที่ 2 เท่ากับ 2.17 % ส่วนผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น สามารถลดการใช้พลังงานได้ เท่ากับ 1.98 % ส่วนผนังอิฐมวลเบาสองชั้น ยังคงใช้พลังงานเพิ่มขึ้นกว่าการใช้ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว (เช่นเดียวกับข้อ 1.1.2) ประมาณ 4.06% จึงไม่ควรใช้กับผนังทิศตะวันตก

แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งนี้หากพิจารณาในแง่การคืนทุนแล้วพบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวมีความคุ้มค่าในการลงทุนดีกว่าผนังชนิดอื่นๆ (เช่นเดียวกับทุกข้อที่กล่าวไป) ซึ่งใช้ระยะเวลาคืนทุน 11.1 ปี ส่วนผนังอื่นๆ มีระยะการคืนทุนที่มากกว่า 60 ปี จึงถือว่าไม่คุ้มค่าการลงทุน เพราะอาจเกินอายุการใช้ของผนังอาคาร

**ดังนั้นสรุปว่า ถ้าพิจารณาในเรื่องการประหยัดพลังงานพบว่า ควรเลือกใช้ผนังที่มีค่า R ไม่สูงมากรวมกับมวลสารน้อย เพื่อดำเนินความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงกลางวัน ไม่ให้เข้าสู่อาคารได้มากนัก และผนังชนิดนี้ ควรจะถ่ายเทความร้อนที่สะสมจากช่วงกลางวันออกสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็วและ ถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุดเท่ากับ 11.1 ปี**

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีกรณีผนังที่ทั้งหมดและเพิ่มหน้าต่าง 10%

| ชนิดผนัง                                           | กรณีผนังที่บัพทั้งหมด<br>พลังงานไฟฟ้า (kWh) |                          | กรณีเพิ่มหน้าต่าง 10% ๑<br>พลังงานไฟฟ้า (kWh) |                          |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|
|                                                    | ปรับอากาศ<br>ช่วงกลางวัน                    | ปรับอากาศช่วง<br>กลางคืน | ปรับอากาศ<br>ช่วงกลางวัน                      | ปรับอากาศ<br>ช่วงกลางคืน |
| ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น                         | 710                                         | 756                      | 823                                           | 781                      |
| ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. | 628                                         | 786                      | 756                                           | 813                      |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องค้ำและอยู่ด้านนอกอาคาร | 607                                         | 724                      | 745                                           | 763                      |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องค้ำและอยู่ด้านนอกอาคาร | 599                                         | 723                      | 738                                           | 764                      |
| คอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น                               | 617                                         | 731                      | 752                                           | 766                      |
| คอนกรีตมวลเบา 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.       | 597                                         | 740                      | 736                                           | 776                      |



แผนภูมิที่ 37 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) กรณีผนังทึบทั้งหมดและกรณีเพิ่มหน้าต่าง 10% ๔

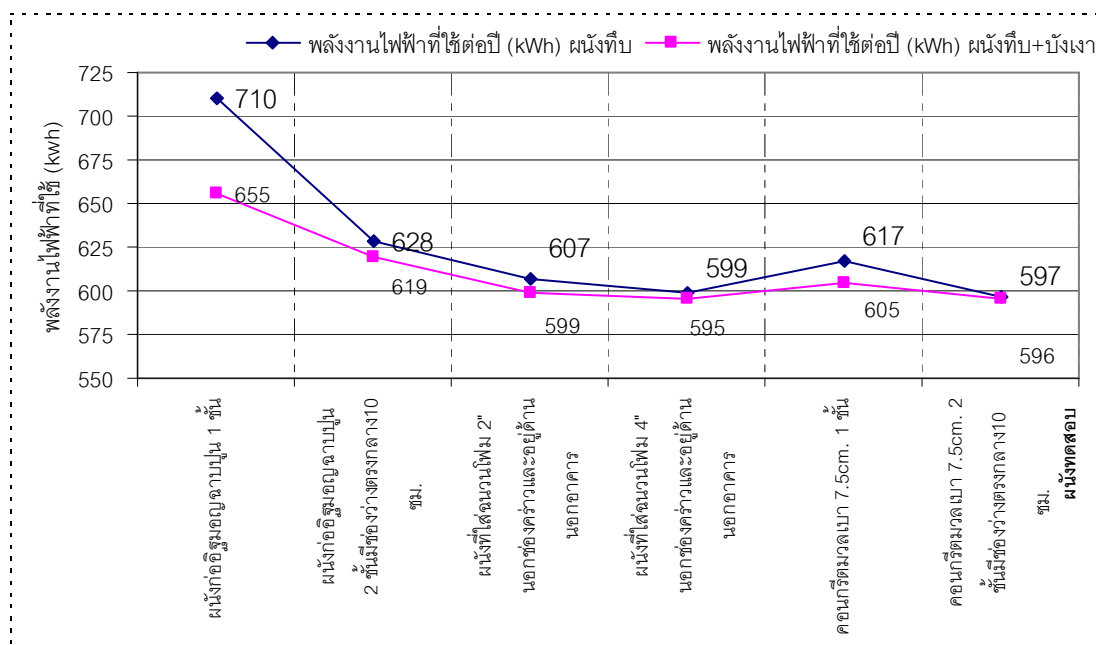
### 1.3 เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก

**1.3.1 เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน พบว่า** การบังแดดสามารถลดการถ่ายเทความร้อนลงได้ เนื่องจากช่วยลดปริมาณความร้อนที่สะสมที่ผิวด้านนอกอาคารเพื่อป้องกันการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ก่อนถึงผนังอาคารหลัก ทำให้ความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารได้น้อยลง

ผลจากการบังแดดให้แก่ผนังทางทิศตะวันตกนั้น (ดูตารางที่ 24) พบว่า ผนังทั้ง 6 ชนิด สามารถประหยัดพลังงานกว่าเมื่อเป็นผนังทึบ (ตามข้อ 1.1.1) ซึ่งจะเห็นว่าพลังงานที่ประหยัดลงได้นั้นจะมากน้อยต่างกันไปตามลักษณะผนัง โดยเฉพาะผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น สามารถประหยัดพลังงานลงได้มากที่สุดประมาณ 54 kwh หรือ 7.66 % ส่วนผนังอื่นๆที่มีความเป็นฉนวน โดยมีค่า R ที่มาก จะประหยัดลงได้เล็กน้อยเพียง 0.22-1.90% จะเห็นว่า ผนังที่สามารถกันความร้อนได้ดีอยู่แล้วเมื่อเป็นผนังทึบคือ ผนังมวลเบา 1 ชั้นและ 2 ชั้น, ผนังโพลี 2 นิ้วและ 4 นิ้ว การบังแดดก็ไม่ช่วยให้ประหยัดพลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อบังแดด ให้แก่ผนังทิศตะวันตก (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.)

| ผนังทดสอบ                                            | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) |        |                         |
|------------------------------------------------------|-------------------------------|--------|-------------------------|
|                                                      | ผนังทึบ                       | บังแดด | ร้อยละของพลังงานที่ลดลง |
| ผนังก่ออิฐรูมอญหนาปูน 1 ชั้น                         | 710                           | 655    | 7.66 %                  |
| ผนังก่ออิฐรูมอญหนาปูน 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. | 628                           | 619    | 1.52 %                  |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 607                           | 599    | 1.23 %                  |
| ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 599                           | 595    | 0.61 %                  |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5cm. 1 ชั้น                          | 617                           | 605    | 1.90 %                  |
| คอนกรีตมวลเบา 7.5cm. 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.  | 597                           | 596    | 0.22 %                  |



แผนภูมิที่ 38 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบกับเมื่อมีการบังแดด (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.)

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปี พบว่า ลำดับการใช้พลังงานนั้นต่างจากเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด(ตามข้อ1.1.1) และเมื่อเพิ่มหน้าต่าง10% (ตามข้อ1.3.1) คือ จากสองกรณีข้างต้น ผนังที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด คือผนังมวลเบา2ชั้นๆ นั้น เมื่อมีการบังแดดให้กับผนังจึงพบว่า ผนังโพน 4 นิ้วจะสามารถลดการใช้พลังงานมากที่สุดประมาณ 16.10% ลำดับ 2 คือผนังมวลเบา2ชั้นๆ จะลดการใช้พลังงานลงเล็กน้อยเท่ากับ16.05% (เนื่องจากการใช้พลังงานต่างกันไม่มาก ดังนั้นหากต้องการคืนทุนเร็ว ควรเลือกใช้ผนังที่มีราคาถูกลงกว่า คือผนังมวลเบา2ชั้น) ลำดับ 3 คือผนังโพน2นิ้ว จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 15.54%

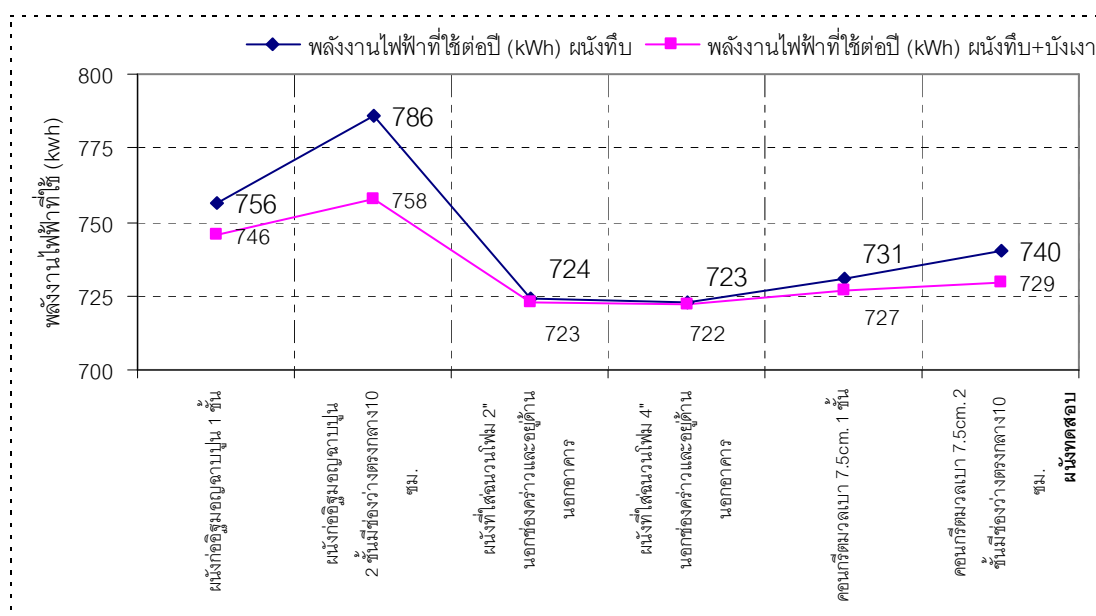
ซึ่งเมื่อพิจารณาความคุ้มค่า พบว่า การใช้ผนังมวลเบา1ชั้น ซึ่งแม้จะไม่ได้ประหยัดพลังงานที่สุด แต่สามารถคืนทุนเร็วที่สุดคือ 1ปี รองมาคือ ผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นๆ 7.2 ปีและผนังมวลเบา 2 ชั้นๆ 7.9 ปี ส่วนผนังโพน 2"และ4" เนื่องจากราคาค่าก่อสร้างที่สูงขึ้น จะใช้เวลาคืนทุน 12.3 และ 15.7 ปี ตามลำดับ

ดังนั้นสรุปว่า ถ้าพิจารณาในเรื่องการประหยัดพลังงานพบว่า ในการบังแดดตอนกลางวันให้แก่ผนังทึบนั้น ควรบังแดดให้กับผนังที่มีค่า R น้อย จะช่วยลดความร้อนที่ผิวภายนอกอาคารได้ แต่ถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุด 1 ปี

**1.3.2 เมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน** ผลจากการบังแดดให้แก่ผนังทางทิศตะวันตกในตอนกลางวันนั้น (ดูตารางที่24) พบว่าผนังทั้ง 6 ชนิด สามารถประหยัดพลังงานกว่าเมื่อเป็นผนังทึบไม่บังเงา (ตามข้อ1.1.2) เพียงเล็กน้อย ซึ่งผนังทุกชนิดมีความสามารถในการประหยัดพลังงานได้ต่างกัน โดยเฉพาะผนังก่ออิฐมวลเบา 2 ชั้น ประหยัดพลังงานได้มากที่สุดถึง 28 kWh หรือประมาณ 3.58 % ส่วนผนังอื่นๆ ลดลงเพียง 1-11 kWh หรือประมาณ 0.14-1.43 % เท่านั้น

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมดกับเมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 21.00-06.00 น.)

| ลำดับ    | ผนังทดสอบ                                            | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) |                      |                        |
|----------|------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|
|          |                                                      | ผนังทึบทั้งหมด                | บังแดดให้ผนังตะวันตก | เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง |
| แบบที่ 1 | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น                              | 756                           | 746                  | 1.37                   |
| แบบที่ 2 | ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.      | 786                           | 758                  | 3.58                   |
| แบบที่ 3 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 723                           | 722                  | 0.14                   |
| แบบที่ 4 | ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร | 724                           | 723                  | 0.20                   |
| แบบที่ 5 | คอนกรีตมวลเบา 7.5cm. 1 ชั้น                          | 731                           | 727                  | 0.59                   |
| แบบที่ 6 | คอนกรีตมวลเบา 7.5cm. 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.  | 740                           | 729                  | 1.43                   |



แผนภูมิที่ 39 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) กรณีเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมดกับเมื่อมีการบังแดดให้แก่ผนังทิศตะวันตก (ปรับอากาศช่วงกลางวัน 21.00-06.00 น.)

ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า เมื่อบังแดดให้ผนังอาคารในตอนกลางวันนั้น ลำดับการใช้พลังงานก็ยิ่งเหมือนกับเมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด (ตามข้อ 1.1.2) ดังนี้

ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" ๔ จะสามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดถึง 4.43% รองลงมาคือ ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" ๔ ซึ่งลดการใช้พลังงานน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยคือ 4.37% ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่ม ค่า R นั้น ก็ไม่ทำให้ ลดการใช้พลังงานลงได้มากนักและไม่คุ้มค่ากับ ค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ลำดับต่อมาคือ ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 3.91% ตามลำดับ

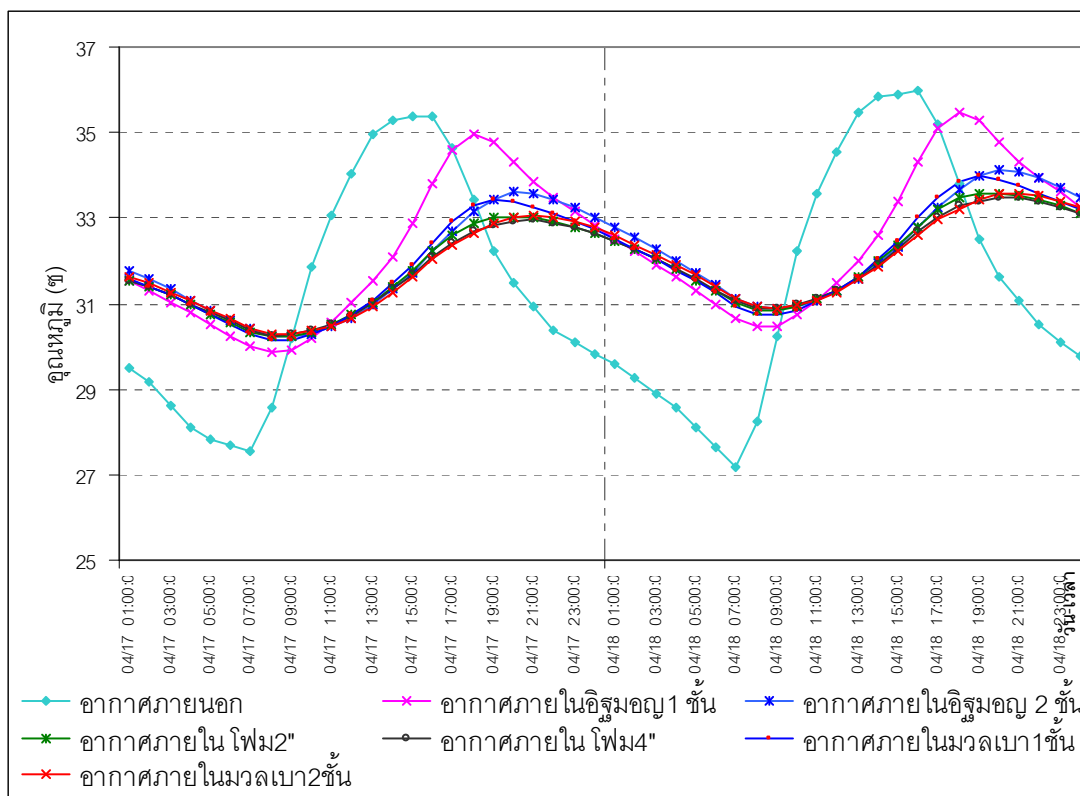
แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งนี้หากพิจารณาในแง่การคืนทุนแล้วพบว่า ผนัง คอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวมีความคุ้มค่าในการลงทุนดีกว่าผนังชนิดอื่นๆ คือใช้เวลา 3.5 ปี ส่วนผนัง อื่นๆ มีระยะการคืนทุนที่มากกว่า 30 ปี จึงถือว่าไม่คุ้มค่าการลงทุน เพราะอาจเกินอายุการใช้ของ ผนังอาคาร

และเป็นที่น่าสังเกตว่า การใช้ผนังอิฐมวลเบาสองชั้น๔( เช่นเดียวกับข้อ 1.1.2 และข้อ 1.2.2 ที่กล่าวไป) ทางทิศตะวันตกนั้นจะใช้พลังงานในการปรับอากาศมากขึ้นกว่าการใช้อิฐ มวลเบาชั้นเดียวประมาณ 0.21% และยังสิ้นเปลืองเงินค่าก่อสร้างผนังเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นหาก ต้องการประหยัดพลังงานในตอนกลางคืนทั้ง 3 กรณี (ข้อ 1.1.2 , 1.2.2 และข้อนี้ 1.3.2) ไม่ควรใช้อิฐ มวลเบาสองชั้น

**ดังนั้นสรุปว่า** ในการบังแดดให้ผนังทางทิศตะวันตก ควรเลือกใช้การบัง แดดร่วมกับผนังที่มีค่า R น้อยและมวลสารมาก จะช่วยให้ผนังชนิดนั้นๆ ประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น และ ถ้าพิจารณาในเรื่องการคืนทุน ควรใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น จะสามารถคืนทุนได้เร็ว ที่สุดเท่ากับ 3.5 ปี

## **2. กรณีไม่ปรับอากาศตลอดทั้งวัน (24ชม.) เมื่อผนังทางทิศตะวันตกเป็นผนังทึบ เพียงอย่างเดียว**

ในการวิเคราะห์ได้ทำการเลือกวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนกว่าวันปกติ ซึ่งเป็น วันที่ 17-18 เมษายน เป็นตัวแทนในการพิจารณาจะเห็นว่า ผนังก่ออิฐมวลเบาปูน 1 ชั้น จะมี อุณหภูมิที่สูงกว่าผนังชนิดอื่นๆ อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 18.00 น. อุณหภูมิ อากาศในห้องจะสูงกว่าการใช้ผนังอื่นๆ ถึงประมาณ 2 °ซ และอุณหภูมิอากาศในห้องของผนังทุก แบบจะแตกต่างกันน้อยมากในช่วงประมาณ 01.00-11.00น โดยอุณหภูมิห้องที่ใช้มีผนังก่ออิฐมวล เบาปูน 1 ชั้นจะต่ำกว่าผนังชนิดอื่นๆ เล็กน้อย



แผนภูมิที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในผนังทั้ง 6 ชนิด (วันที่ 17-19 เม.ย.)

**2.1 ลักษณะที่ใช้งานกลางวันเป็นหลัก (8.00-17.00 น.)** พบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น จะมีความเหมาะสมในการใช้งานมากที่สุด เนื่องจากมีค่า Time Lag ที่นานถึง 5 ชม. สามารถต้านทานความร้อนได้เป็นอย่างดี ลำดับที่ 2 คือ ผนังโฟม 4 นิ้ว ๓ Time Lag เท่ากับ 4 ชม. ส่วนผนังโฟม 2 นิ้ว และคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้น เท่ากันคือ 2 ชม. ส่วนอิฐมวลเบา 1 ชั้น Time Lag เท่ากับ 1 ชม.

จะเห็นว่า การใช้ผนังที่มีมวลสารร่วมกับค่าความต้านทานความร้อนที่มากจะช่วยป้องกันความร้อนในตอนกลางวันได้เป็นอย่างดี

**2.2 ลักษณะที่ใช้งานกลางคืน (21.00-06.00 น.)** พบว่าการใช้ผนังอิฐมวลเบา 1 ชั้น จะมีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งแม้ว่าในตอนกลางวันอุณหภูมิอากาศภายในของอิฐมวลเบา 1 ชั้น จะสูงมากถึงประมาณ 35 °C ก็ตาม แต่เนื่องจากการที่มีค่า R น้อย (0.26 m<sup>2</sup>·°C/W) ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนที่สะสมในตอนกลางวันได้อย่างรวดเร็ว

จะเห็นว่า ควรใช้ผนังที่มีค่า R น้อย จะสามารถถ่ายเทความร้อนที่สะสมในเวลา กลางวันได้อย่างรวดเร็ว

**2.3 ลักษณะที่ใช้งานตลอดทั้งวัน** พบว่า ผนังฉนวนโฟม 4 นิ้ว มีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิอากาศภายในห้องในรอบวันน้อยที่สุดเพียง  $2.69^{\circ}\text{C}$  ลำดับต่อมา คือผนังคอนกรีตมวล เบา 2 ชั้นๆ เท่ากับ  $2.80^{\circ}\text{C}$  และผนังฉนวนโฟม 2 นิ้ว เท่ากับ  $2.83^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจะเห็นว่าผนังทั้งสาม ชนิดข้างต้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศที่ใกล้เคียงกันมาก

ส่วนผนังคอนกรีตมวลเบา 1 ชั้นและผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นๆ จะมีค่าการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ ซึ่งใกล้เคียงกันประมาณ  $3.29^{\circ}\text{C}$  และ  $3.43^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ส่วนผนังอิฐมวลเบา 1 ชั้นจะมีการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากที่สุดประมาณ  $5.09^{\circ}\text{C}$

ดังนั้น เพื่อประกอบการพิจารณาในการหาผนังที่เหมาะสมกับการใช้งานตลอด ทั้งวัน จึงดูเรื่องราคาค่าก่อสร้างผนังด้วย

ซึ่งพบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้นๆ (ราคา 850 บาทต่อตร.ม.) ทั้งเรื่องราคาที่สามารถคืนทุนเร็วและอุณหภูมิที่แตกต่างกันน้อย จะมีความเหมาะสมมากที่สุด รองมาคือ ผนังโฟม 4 นิ้วและ 2 นิ้ว (ราคา 1,021 และ 1,188 บาทต่อตร.ม.) ตามลำดับ

## ปัญหาที่พบในงานวิจัย

1. ข้อจำกัดในเรื่อง ข้อมูลสภาพอากาศของ กทม. ที่ใช้ในโปรแกรม EnergyPlus ซึ่งไม่ใช่สภาพอากาศเดียวกันกับที่ทำกล่องทดลองจริง

## ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาผนังในทิศอื่นๆเพิ่มเติม เช่นผนังทางทิศตะวันออก, ทิศใต้ เป็นต้น
2. ควรศึกษาในกรณีจังหวัดอื่นๆ ที่มีสภาพอากาศต่างกันเช่น จ.เชียงใหม่, จ.ลำปาง เป็นต้น เนื่องจากตอนกลางคืนจังหวัดที่กล่าวมาจะมีอากาศที่หนาวมาก

## ประโยชน์ในการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้

1. ทำให้เกิดความเข้าใจและเป็นแนวทางการออกแบบในเรื่องการลดความร้อนให้กับผนังในทิศตะวันตก
2. ทำให้สามารถเลือกใช้วัสดุที่คุ้มค่าในการลงทุน

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. “ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง คำสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง และค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์.”. ม.ป.ท., 2535.

กิตติพงษ์ เพชรวราภา. “การศึกษาระบบผนังภายนอกอาคารที่มีผลต่อการปรับอากาศ กรณีศึกษาสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

ตริ่งใจ บุรณสมภพ. การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์, 2521.

\_\_\_\_\_. รายงานวิจัยโครงการมหาวิทยาลัยเขียวสะอาด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2546

\_\_\_\_\_. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์และคณะ. การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ระบบการก่อสร้าง Structural sandwich panels เพื่อใช้กับบ้านประหยัดพลังงานในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2549

ณัฐกานต์ เกษประทุม, “พฤติกรรมกรถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก” วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

สกนธ์ ศรีวิไลสกุลวงศ์. “การพัฒนาระบบผนังโฟมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2544.

สรญา ประวัติดรางกูร, “อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและการปรับอากาศในการออกแบบอาคาร” วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

- สุนทร บุญญาริการ. พลังงานไกล้ตัว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- \_\_\_\_\_. การใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
- ประหยัดพลังงาน.การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานในการปรับอากาศระหว่างการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น . [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 20 ธันวาคม 2551.
- อุทัย ศุจิสกุลวงศ์, “การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังวัสดุก่อของอาคารพักอาศัยในเขตร้อนชื้น” วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

### ภาษาอังกฤษ

- ASHRAE. ASHRAE handbook : fundamentals. Atlanta, Ga. : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001.
- Donald Watson and Kenneth Labs.Climatic design : energy-efficient building principles and practices, New York : McGraw-Hill, 1983.
- EnergyPlus."Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input andinput."[Online].Available:<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/inputoutputreference.pdf>, Accessed 20 JUNE 2551.
- EnergyPlus."Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output." [Online].Available :  
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/inputoutputreference.pdf>, Accessed 20 JUNE 2551.
- Givoni, Baruch. Passive and low energy cooling of buildings / Baruch Givoni, New York : Van Nostrand Reinhold, 1994.
- Lechner Norbert. Heating, cooling, lighting : design methods for architects, New York : John Wiley & Sons, 2001
- Norbert Lechner.Heating, cooling, lighting : design methods for architects, New York : John Wiley & Sons, 1991.
- Oughton, D. R. Faber & Kell's heating and air-conditioning of buildings, Oxford : Butterworth, 2002.

O.H. Keenigsberger. Manual of tropical housing and building, London : Longman, 1974.

Surapong Chirarattananon. A study of benefits and costs of gypsum boards used in walls / submitted by Surapong Chirarattananon, Vu Duc Hien (and) Energy Program, School of Environment, Resources and Development, Bangkok : Siam Gymsum, 2002.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรม Energy Plus

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม EnergyPlus เป็นเครื่องมือในการจำลองอาคารในลักษณะต่างๆ แทนการสร้างห้องทดลองจริง เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย อีกทั้งช่วยให้สามารถจำลองลักษณะผนังต่างๆ ได้หลากหลายขึ้น

โปรแกรม EnergyPlus เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ<sup>1</sup> เพื่อหาค่าอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ของอาคารโดยสามารถคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของระบบอุปกรณ์อาคารในการศึกษาครั้งนี้ใช้ EnergyPlus Version 2.2 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยการสนับสนุนของ US Department of Energy โปรแกรมนี้พัฒนาจาก DOE2 และ BLAST โดยรวมส่วนดีของทั้งสองโปรแกรมเข้าด้วยกัน

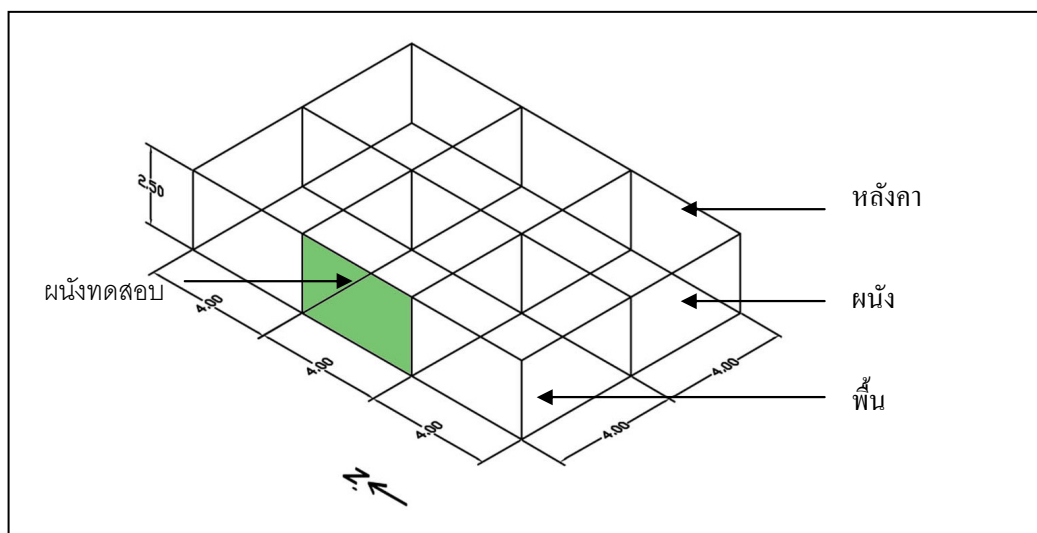
นอกจากนี้ผู้พัฒนาโปรแกรมยังได้ทำการทดสอบโปรแกรมในหลายด้านเพื่อหาจุดบกพร่องและทำการแก้ไขปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และจากการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในหัวข้อที่ผ่านมา นับว่าเป็นโปรแกรมที่มีความน่าเชื่อถือในระดับที่เพียงพอที่จะนำไปใช้ในการวิจัยนี้ และยังเป็นโปรแกรมที่สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ฟรีอีกด้วย (สามารถเข้าถึงได้ที่ <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>)

EnergyPlus ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยหลายโมดูลที่ทำงานร่วมกัน เพื่อบริการการคำนวณการใช้พลังงานของอาคาร เช่น โมดูลที่เกี่ยวกับสภาพท้องฟ้า แสงธรรมชาติ กระแสลม และอุปกรณ์อาคาร เป็นต้น และข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยมีดังนี้

---

<sup>1</sup> จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ , การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ระบบการก่อสร้าง Structural sandwich panels เพื่อใช้กับบ้านประหยัดพลังงานในประเทศไทย (กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2549) , 104.

## 1) ลักษณะอาคารที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 32 ลักษณะอาคารที่ใช้ในการจำลองขนาด 4.00 x 4.00 x 2.50 m.

### วัสดุที่ใช้ประกอบด้วย

- ผนังทิศตะวันตก เป็นผนังทดสอบและผนัง 3 ด้านที่เหลือเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น
- หลังคา เป็นหลังคาคอนกรีต
- พื้น เป็นคอนกรีตทาสีกระเบื้องเซรามิค

เหตุผลที่เลือกรูปแบบอาคารในภาพที่ 2 เนื่องจากการจำลองลักษณะการใช้งานจริง โดยกำหนดให้อาคารมีขนาด 4.00x4.00x2.50 m. เท่ากับห้องนอน, ห้องเดี่ยวในอพาร์ทเมนต์ หรือห้องพักที่พบเห็นได้ทั่วไป

## 2) พฤติกรรมการใช้งาน การเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศ

การใช้พลังงานของการใช้เครื่องปรับอากาศโดยการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศในกรณี  
ดังนี้

- 1) กรณีเปิดใช้เครื่องปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00-17.00 น.
- 2) กรณีเปิดใช้เครื่องปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00-06.00 น.
- 3) กรณีไม่เปิดเครื่องปรับอากาศตลอดทั้งวัน

### 3) รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมเพื่อคำนวณปริมาณการใช้พลังงาน

#### 3.1 ที่ตั้งของอาคาร

กำหนดให้ที่ตั้งของบ้านที่ใช้ในการจำลองตั้งอยู่ใน กรุงเทพมหานคร ณ ทิศสอบ  
หันไปทางทิศตะวันตก (ดูภาพที่ ) โดยที่ทิศเหนือของบ้าน (Building north) ทำมุม 0 องศา กับ  
ทิศเหนือจริง มีรายละเอียดตำแหน่งที่ตั้งดังนี้

|                   |   |            |
|-------------------|---|------------|
| ละติจูด           | = | 13.92 องศา |
| ลองจิจูด          | = | 100.6 องศา |
| Time Zone         | = | 7          |
| ความสูงจากน้ำทะเล | = | 2 เมตร     |

#### 3.2 ข้อมูลสภาพอากาศ (Weather file)

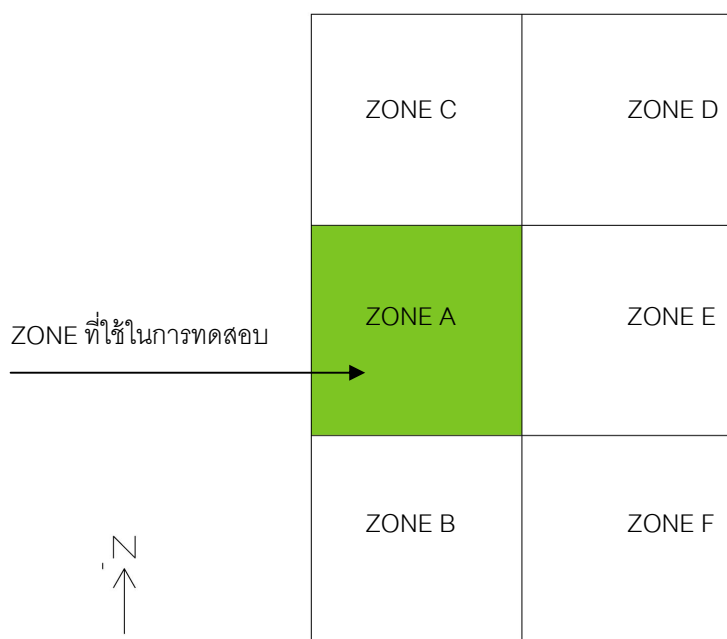
ใช้ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพฯ<sup>2</sup> THA\_Bangkok\_IWEC.epw ซึ่งสามารถ  
ดาวน์โหลดไฟล์ได้จากเว็บไซต์ มีข้อมูลสภาพอากาศทุกๆ ชั่วโมงตลอดทั้งปี (8,760 ชม.) ข้อมูลที่มี  
ในไฟล์นี้ เช่น อุณหภูมิของพื้นดินที่ระดับ 0.5, 2, 4 เมตรจากผิวดิน, อุณหภูมิ, ความชื้น, ความเร็ว  
ลม Extraterrestrial Direct Normal Radiation, Horizontal Infrared Radiation from Sky ข้อมูล  
อุณหภูมิของพื้นดินที่นำมาใช้ในการคำนวณจะใช้อุณหภูมิที่ระดับ 0.5 เมตร จากผิวดิน  
กำหนดให้โปรแกรมคำนวณผลในช่วง 1 ปี เริ่มตั้งแต่ 1 มกราคม-31 ธันวาคม

#### 3.3 การแบ่งโซนของอาคาร

อาคารที่ทำการศึกษ (ดูภาพที่ ) ได้ทำการแบ่งโซนเพื่อจำลองการใช้พลังงานและ  
หาอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ โดยแบ่งเป็น 6 โซน เพื่อแยกโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ เนื่องจาก  
กำหนดให้อาคารนี้ไม่ได้มีการใช้สอยอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ โดยกำหนดให้โซน A เป็นโซนที่มีการปรับ  
อากาศเพียงโซนเดียว

---

<sup>2</sup> จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ , การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ระบบการก่อสร้าง  
Structural sandwich panels เพื่อใช้กับบ้านประหยัดพลังงานในประเทศไทย (กรุงเทพฯ : คณะ  
สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2549) , 107.



ภาพที่ 33 แสดงการแบ่ง ZONE

### 3.4 วัสดุที่ใช้และคุณสมบัติ

ข้อมูลวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานเป็นหลัก ส่วนในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจะใช้ข้อมูลจาก เอกสาร ตำรา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลจากผู้ผลิต และข้อมูลวัสดุที่มีอยู่ในโปรแกรม ตามลำดับ

ตาราง 26 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการจำลองโปรแกรม

| ลำดับ | วัสดุ                                           | ความหนา | Conductivity | Density           | Specific Heat |
|-------|-------------------------------------------------|---------|--------------|-------------------|---------------|
|       |                                                 | m       | W/m-K        | kg/m <sup>3</sup> | J/kg-K        |
| 1     | ปูนผสมทราย (ผนังโพน)                            | 0.005   | 0.553        | 1,568             | 840           |
| 2     | ปูนผสมทราย (ผนังอิฐมวลเบา)                      | 0.010   | 0.553        | 1,568             | 840           |
| 3     | ปูนฉาบหน้าหนา 1 ซม.<br>(ผนังคอนกรีตมวลเบา)      | 0.010   | 0.063        | 377               | 840           |
| 4     | อิฐ (แห้งไม่ฉาบปูน)                             | 0.070   | 1.154        | 1,600             | 790           |
| 5     | คอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่น<br>620 ก.ก. ต่อ ลบ.ม. | 0.075   | 0.160        | 620               | 840           |
| 6     | โพนโฟลีสไตรีน                                   | 0.050   | 0.035        | 16                | 1,210         |
| 7     | โพนโฟลีสไตรีน                                   | 0.100   | 0.035        | 16                | 1,210         |
| 8     | ฉนวนบอร์ด                                       | 0.010   | 0.025        | 1,300             | 1,000         |
| 9     | แผ่นยิปซัมบอร์ด                                 | 0.012   | 0.191        | 880               | 1,090         |
| 10    | กระเบื้องเซรามิคบอร์ด                           | 0.008   | 0.338        | 2,100             | 800           |
| 11    | คอนกรีต                                         | 0.100   | 1.442        | 2,400             | 920           |

งานวิจัยนี้กำหนดสีของผนังและพื้นอาคารดังนี้

- วัสดุที่มีผิวสีขาว-สีปานกลาง (ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ = 0.4 )
- ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน (Thermal absorptance) = 0.9
- ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่อยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น  
(Visible absorptance) = 0.7

โดยค่าตัวเลขต่างๆ อ้างอิงจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

**วัสดุกระจก** ที่ใช้ในกรณีเพิ่มพื้นที่หน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง จะใช้กระจกเขียวใสหนา 6 มม. ข้อมูลกระจกได้มาจาก library ของโปรแกรม รายละเอียดมีดังนี้

ตารางที่ 27 คุณสมบัติของวัสดุกระจก

| คุณสมบัติของวัสดุกระจก                              | ค่าที่ใช้ |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| Thickness {m}                                       | 0.006     |
| Solar Transmittance at Normal Incidence             | 0.487     |
| Solar Reflectance at Normal Incidence: Front Side   | 0.056     |
| Solar Reflectance at Normal Incidence: Back Side    | 0.056     |
| Visible Transmittance at Normal Incidence           | 0.749     |
| Visible Reflectance at Normal Incidence: Front Side | 0.07      |
| Visible Reflectance at Normal Incidence: Back Side  | 0.07      |
| IR Transmittance at Normal Incidence                | 0         |
| IR Hemispherical Emissivity: Front Side             | 0.8       |
| IR Hemispherical Emissivity: Back Side              | 0.84      |
| Conductivity {W/m-K}                                | 0.9       |

ที่มา : ไฟล์ข้อมูลวัสดุ จากโปรแกรม EnergyPLus ชื่อไฟล์ “ WindowGlassMaterials”  
ชื่อวัสดุ Green 6 mm.

3.5 พื้นผิวขององค์ประกอบ เช่น พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน และหลังคา การใส่ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

#### 3.5.1 Surface: Heat Transfer

ใช้สำหรับระบุพื้นผิวที่มีการส่งผ่านความร้อน อันได้แก่ พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน หลังคา โดยมีรายละเอียดที่ต้องระบุได้แก่ ชื่อของแต่ละพื้นผิว ประเภทของพื้นผิวนั้นๆ (ได้แก่ Floor, Wall, Ceiling, Roof) ชื่อโครงสร้างวัสดุที่ใช้ (เช่น พื้นผิวนั้นใช้วัสดุอะไร) ชื่อโซนของพื้นผิว ประเภทของสภาพแวดล้อมภายนอกที่อยู่ด้านนอกของพื้นผิว และต้องระบุว่าพื้นผิวนี้ได้รับลมและแสงแดดตลอดวันหรือไม่ สัดส่วนการมองเห็นพื้นดินเท่าใด และการใส่ค่าพิคตของพื้นผิวนั้นๆ เป็นต้น

### 3.5.2 Surface: Heat Transfer: Sub

ใช้สำหรับการระบุพื้นผิวที่เป็นหน้าต่างที่มีการส่งผ่านความร้อน รายละเอียดที่ต้องระบุได้แก่ ชื่อ, ประเภทของพื้นผิวนั้นๆ (Window) ชื่อของโครงสร้างวัสดุ (ในที่นี้คือหน้าต่างกระจก 6mm.) ชื่อของผนังที่หน้าต่างตั้งอยู่ (ผนังทางทิศตะวันตก ในโซน A) และค่าพิกัดของพื้นผิวเป็นต้น

### 3.5.3 Surface: Shading

ใช้สำหรับระบุพื้นผิวในส่วนของอุปกรณ์บังแดด โปรแกรมจะคำนวณผลของพื้นผิวประเภทนี้ในแง่ของการบังแสงจากดวงอาทิตย์ แต่ไม่ได้คำนึงว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวประเภทนี้ระหว่างโซนหรือไม่

และในหัวข้อ Surface : Shading : Detached ใช้สำหรับระบุพื้นผิวในส่วนที่ไม่ได้ติดกับ Surface : Heat Transfer เช่นอาคารข้างเคียง ต้นไม้ ตลอดจนองค์ประกอบของอาคารอื่นๆ ที่ให้ร่มเงาแต่ไม่ได้รวมอยู่ในโซน ข้อมูลที่ต้องระบุได้แก่ ชื่อของพื้นผิว ค่าพิกัดของแต่ละพื้นผิว

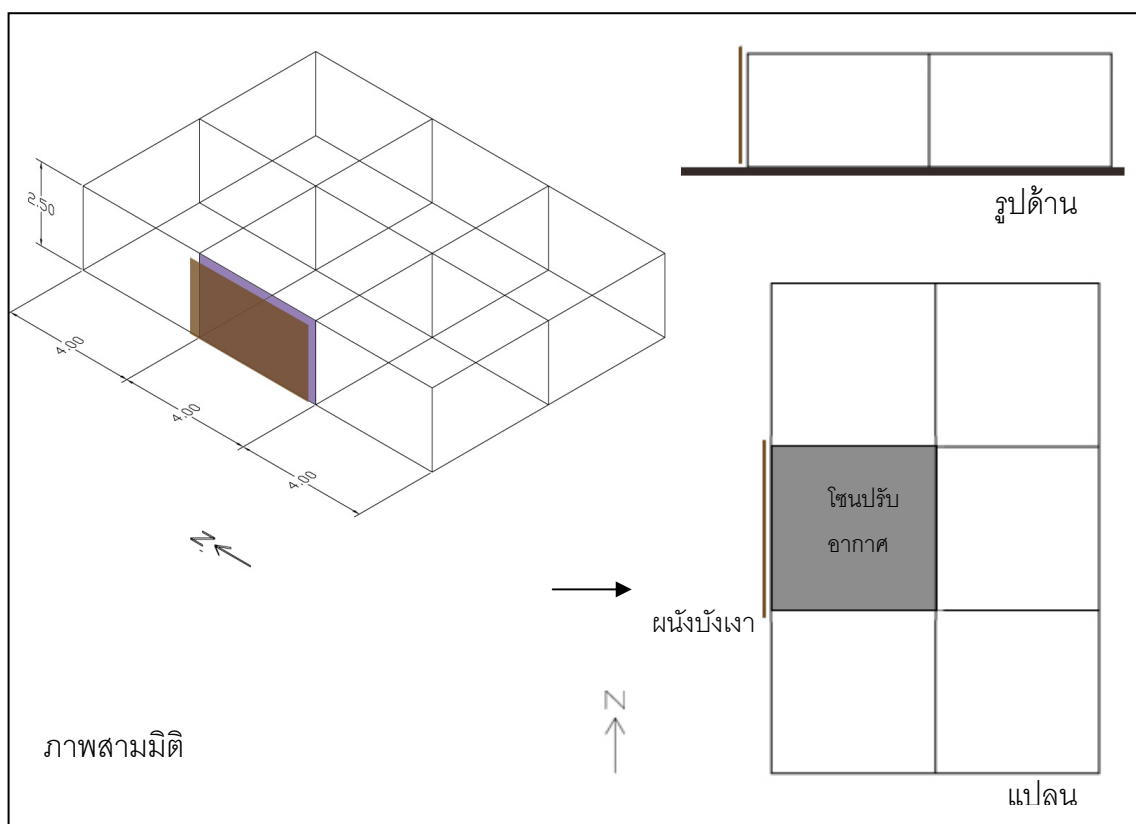
สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้จำลองพื้นผิวของอาคารข้างเคียง หรือต้นไม้โดยรอบ แต่จะใส่การบังแดด ให้กับผนังทิศตะวันตกในโซน A

โดยกำหนดค่าที่ยอมให้แสงผ่านใน Shading Schedule มีค่าคงที่ตลอดทั้งปีคือเท่ากับ 0 เนื่องจากกำหนดให้วัสดุที่ใช้เป็นผนังทึบ (ดูตารางที่ 3 ประกอบ)

ตารางที่ 28 แสดงการใส่ข้อมูลการบังแดดให้กับผนัง

| หัวข้อ                                                                        | ค่าที่ใช้ |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| User Supplied Surface Name                                                    | A_w1      |
| TransSchedShadowSurf                                                          | 0         |
| Number of Surface Vertex Groups –<br>Number of (X,Y,Z) groups in this surface | 4         |
| Vertex 1 X-coordinate {m}                                                     | 4.85      |
| Vertex 1 Y-coordinate {m}                                                     | 9.15      |
| Vertex 1 Z-coordinate {m}                                                     | 0.1       |
| Vertex 2 X-coordinate {m}                                                     | 4.85      |
| Vertex 2 Y-coordinate {m}                                                     | 4.85      |
| Vertex 2 Z-coordinate {m}                                                     | 0.1       |
| Vertex 3 X-coordinate {m}                                                     | 4.85      |
| Vertex 3 Y-coordinate {m}                                                     | 4.85      |
| Vertex 3 Z-coordinate {m}                                                     | 2.65      |
| Vertex 4 X-coordinate {m}                                                     | 4.85      |
| Vertex 4 Y-coordinate {m}                                                     | 9.15      |
| Vertex 4 Z-coordinate {m}                                                     | 2.65      |

การบังแดดให้กับผนังอาคาร อาจใช้เงาจากผนังตึกต่าง ๆ ฟ้าไปกันสาด หรือเงาจากต้นไม้ เป็นต้น ในการศึกษครั้งนี้กำหนดใช้ บังเงาจากวัสดุที่ทึบแสง โดยบังเงาให้กับผนังทางทิศตะวันตก ซึ่งบังเงาห่างจากผนังหลัก 15 cm. และยกสูงจากพื้น 10 cm. เหนือหลังคา 15cm. ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 34 ลักษณะการบังแดดให้กับผนังทางทิศตะวันตก

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ จำลองอาคารเพื่อหาค่าพลังงานเท่านั้นจึงไม่ได้ใส่ข้อมูลในส่วนของ จำนวนผู้ใช้สอยอาคาร, อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆและการใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น

### 3.6 การรั่วซึมของอากาศ (Infiltration)

กำหนดให้โซนที่ปรับอากาศมีค่าการรั่วซึมของอากาศเท่ากับ 0.5 ACH ส่วนอัตรา การรั่วซึมของอากาศที่ใช้โปรแกรมสามารถคำนวณหาได้เอง

**3.7 การใช้เครื่องปรับอากาศ** กำหนดให้มีการปรับอากาศโดยการเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศทั้งปีทุกวันในกรณีดังนี้

- กรณีปรับอากาศช่วงกลางวัน 08.00 - 17.00 น.
- กรณีปรับอากาศช่วงกลางคืน 21.00 - 06.00 น.

อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองเครื่องปรับอากาศสำหรับโปรแกรม<sup>3</sup> ชื่อว่า “Purchased Air” ข้อดีของการใช้อุปกรณ์นี้คือไม่จำเป็นต้องสร้างวงจรการหมุนเวียนของอากาศ (Air loop) หรือ วงจรการหมุนเวียนของน้ำ (Water loop) ซึ่งเหมาะต่อการหาค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศเบื้องต้นในกรณีที่ยังไม่ได้ออกแบบหรือเลือกระบบการปรับอากาศที่จะใช้ การจำลองลักษณะนี้จะเป็นการควบคุมเพียงอุณหภูมิภายในห้องให้ได้ตามระดับที่ต้องการ แต่ไม่ได้ควบคุมความชื้น การจำลอง Purchased Air ทำได้สองลักษณะคือ

1. แบบไม่มีขีดจำกัดความสามารถในการปรับอากาศ โปรแกรมจะจำลองโดยการส่งปริมาณลมเย็นให้เพียงพอต่อภาระการทำความเย็นในห้องโดยไม่มีขีดจำกัด ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องระบุชื่อของ Supply Air Node , อุณหภูมิของลมเย็นที่ใช้ในการปรับอากาศ (Cooling supply air temp) , อัตราส่วนความชื้นของลมเย็น (Cooling supply humidity ratio) ซึ่งหมายถึง น้ำหนักของน้ำในอากาศต่อน้ำหนักของอากาศหนึ่งกิโลกรัม

2. แบบที่มีขีดจำกัดความสามารถในการปรับอากาศ ลักษณะนี้ผู้ใช้โปรแกรมจะต้อง ระบุข้อมูลเพิ่มขึ้นกว่าแบบแรกคือ อัตราการส่งลมเย็นมากที่สุดที่ยอมให้ได้ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที) โดยโปรแกรมจะจำลองโดยการส่งปริมาณลมเย็นให้พอเหมาะกับภาระการทำความเย็นแต่ไม่เกินปริมาณที่กำหนดไว้

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้เลือกแบบที่1 แบบไม่มีขีดจำกัดความสามารถในการปรับอากาศ เพื่อต้องการทราบว่าถ้าต้องการให้ได้อุณหภูมิของห้องตามที่ตั้งใจไว้จะต้องใช้พลังงานมากน้อยเพียงไร ซึ่งถ้าใช้แบบที่มีขีดจำกัดความสามารถในการปรับอากาศ อาจทำให้ในบางเวลา อุณหภูมิภายในห้องจะไม่ได้ระดับที่ต้องการ

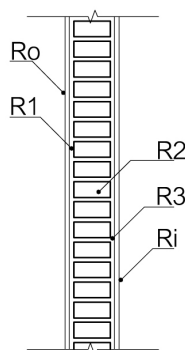
โดยกำหนดอุณหภูมิของลมเย็นที่ใช้ปรับอากาศ (Cooling supply air temp) เท่ากับ 13 °ซ และอัตราความชื้นของลมเย็น (Cooling supply humidity ratio) เท่ากับ 0.01 ลมที่หมุนกลับจะไม่มีส่วนผสมกับอากาศภายนอก<sup>4</sup> และทำการปรับอากาศห้องที่อุณหภูมิเท่ากับ 25°ซ

<sup>3</sup> จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ , การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ระบบการก่อสร้าง Structural sandwich panels เพื่อใช้กับบ้านประหยัดพลังงานในประเทศไทย (กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2549) , 122.

## ภาคผนวก ข.

## การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน

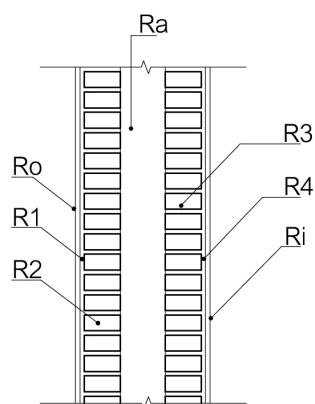
## แบบที่ 1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น



การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังก่ออิฐฉาบปูน

| โครงสร้าง                       | $x/k$<br>$m^2C/W$ | ความต้านทาน R<br>$m^2C/W$ |
|---------------------------------|-------------------|---------------------------|
| R <sub>o</sub> ฟิล์มอากาศภายนอก | –                 | 0.044                     |
| R <sub>1</sub> ปูนฉาบ           | 0.01/0.553        | 0.018                     |
| R <sub>2</sub> อิฐมอญ 7 ซม.     | 0.07/1.154        | 0.061                     |
| R <sub>3</sub> ปูนฉาบ           | 0.01/0.553        | 0.018                     |
| R <sub>i</sub> ฟิล์มอากาศภายใน  | –                 | 0.120                     |
| R รวม =                         |                   | 0.261                     |
| U =                             |                   | 3.834                     |

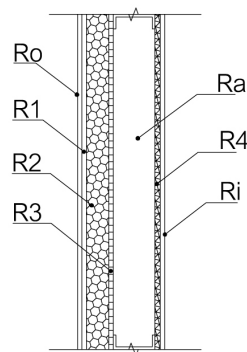
แบบที่ 2 ผนังก่ออิฐฉาบ 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.



การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังก่ออิฐ 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

| โครงสร้าง           | $x/k$<br>$m^2 \cdot ^\circ C/W$ | ความต้านทาน R<br>$m^2 \cdot ^\circ C/W$ |
|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
| Ro ฟิล์มอากาศภายนอก | —                               | 0.044                                   |
| R1 ปูนฉาบ           | 0.01/0.553                      | 0.018                                   |
| R2 อิฐฉาบ 7 ซม.     | 0.07/1.154                      | 0.061                                   |
| Ra ช่องว่าง 100 มม. | —                               | 0.160                                   |
| R3 อิฐฉาบ 7 ซม.     | 0.07/1.154                      | 0.061                                   |
| R4 ปูนฉาบ           | 0.01/0.553                      | 0.018                                   |
| Ri ฟิล์มอากาศภายใน  | —                               | 0.120                                   |
| R รวม =             |                                 | 0.481                                   |
| U =                 |                                 | 2.077                                   |

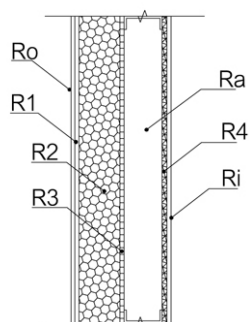
แบบที่ 3 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร



การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของ  
ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

| โครงสร้าง                   | $x/k$<br>$m^2\text{ }^\circ\text{C/W}$ | ความต้านทาน R<br>$m^2\text{ }^\circ\text{C/W}$ |
|-----------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| R0 ฟิล์มอากาศภายนอก         | —                                      | 0.044                                          |
| R1 ปูนฉาบ                   | 0.005/0.553                            | 0.009                                          |
| R2 โพลีสไตรีนโฟม หนา 2 นิ้ว | 0.05/0.035                             | 1.429                                          |
| R3 ฐีวับอร์ด หนา 10 มม.     | 0.01/0.25                              | 0.040                                          |
| Ra ช่องว่างอากาศ 100 มม     | —                                      | 0.160                                          |
| R4 ยิปซัมบอร์ด หนา 12 มม.   | 0.012/0.191                            | 0.063                                          |
| Ri ฟิล์มอากาศภายใน          | —                                      | 0.120                                          |
| R รวม =                     |                                        | 1.864                                          |
| U =                         |                                        | 0.536                                          |

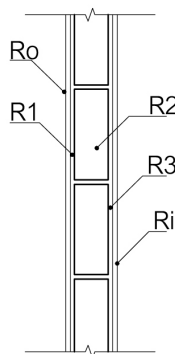
แบบที่ 4 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร



การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของ  
ผนังที่ใส่ฉนวนโฟมนอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

| โครงสร้าง                               | $x/k$<br>$m^2\text{°C/W}$ | ความต้านทาน R<br>$m^2\text{°C/W}$ |
|-----------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| R <sub>o</sub> ฟิล์มอากาศภายนอก         | —                         | 0.044                             |
| R <sub>1</sub> ปูนฉาบ                   | 0.005/0.553               | 0.009                             |
| R <sub>2</sub> โพลีสไตรีนโฟม หนา 2 นิ้ว | 0.10/0.035                | 2.857                             |
| R <sub>3</sub> วัสดุบอร์ด หนา 10 มม.    | 0.01/0.25                 | 0.040                             |
| R <sub>a</sub> ช่องว่างอากาศ 100 มม     | —                         | 0.160                             |
| R <sub>4</sub> ยิปซัมบอร์ด หนา 12 มม.   | 0.012/0.191               | 0.063                             |
| R <sub>i</sub> ฟิล์มอากาศภายใน          | —                         | 0.120                             |
| R รวม =                                 |                           | 3.293                             |
| U =                                     |                           | 0.304                             |

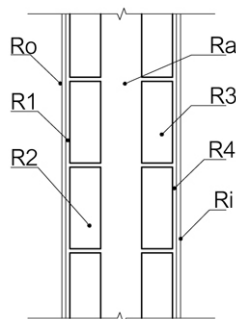
แบบที่ 5 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น



การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังก่อคอนกรีตมวลเบา 7.5cm.

| โครงสร้าง                | $x/k$<br>$m^2\text{C/W}$ | ความต้านทาน R<br>$m^2\text{C/W}$ |
|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Ro ฟิล์มอากาศภายนอก      | –                        | 0.044                            |
| R1 ปูนฉาบ                | 0.01/0.063               | 0.159                            |
| R2 คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. | 0.075/0.160              | 0.469                            |
| R3 ปูนฉาบ                | 0.01/0.063               | 0.159                            |
| Ri ฟิล์มอากาศภายใน       | –                        | 0.120                            |
| R รวม =                  |                          | 0.950                            |
| U =                      |                          | 1.052                            |

แบบที่ 6 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.



การคำนวณหาความต้านทานความร้อนรวมของผนังก่อคอนกรีตมวลเบา 7.5cm.2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง10 ซม.

| โครงสร้าง                            | $x/k$<br>$m^2^{\circ}C/W$ | ความต้านทาน R<br>$m^2^{\circ}C/W$ |
|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| R <sub>0</sub> ฟิล์มอากาศภายนอก      | —                         | 0.044                             |
| R <sub>1</sub> ปูนฉาบ                | 0.01/0.063                | 0.159                             |
| R <sub>2</sub> คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. | 0.075/0.16                | 0.469                             |
| R <sub>a</sub> ช่องว่าง 100 มม.      | —                         | 0.160                             |
| R <sub>3</sub> คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. | 0.075/0.16                | 0.469                             |
| R <sub>4</sub> ปูนฉาบ                | 0.01/0.063                | 0.159                             |
| R <sub>i</sub> ฟิล์มอากาศภายใน       | —                         | 0.120                             |
| R รวม =                              |                           | 1.579                             |
| U =                                  |                           | 0.633                             |

## ภาคผนวก ค.

## การหาค่า OTTV ได้ดังนี้

## ค่า OTTV เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด

## 1. ค่า OTTV ของผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น (เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด)

## 1) ค่า U

$$\text{ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น} = 3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

## 2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

$$1\text{-WWR} = 1 \quad (\text{พื้นที่หน้าต่างโปร่งแสง}=0) \text{ ทุกด้าน}$$

$$\text{พื้นที่ผนังทึบ (ทุกด้าน)} = 4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2.$$

3) ค่า  $TD_{eq}$  (ของผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น )

$$\begin{aligned} \text{มวลรวมของวัสดุ} &= \text{ความหนาแน่น} \times \text{ความหนา} \\ &= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) \\ &= 143.36 \text{ kg/m}^2. \end{aligned}$$

$$\text{แอลฟา} = 0.4, \quad TD_{eq} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

## 4) หาค่า OTTV

$$OTTV_i = (U_w)(1\text{-WWR})(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (SC)(WWR)(SF)$$

$$OTTV \text{ ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$OTTV \text{ ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$OTTV \text{ ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$OTTV \text{ ทิศตะวันตก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$OTTV_{\text{ทั้งหมด}} = \frac{(A_{01})(OTTV_1) + (A_{02})(OTTV_2) + (A_{03})(OTTV_3) + (A_{04})(OTTV_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$OTTV_{\text{ทั้งหมด}} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 1838.4/40 = 45.96 \text{ W/m}^2. > 45 \text{ W/m}^2.$$

ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

## 2. ค่า OTTV ของผนังก่ออิฐ 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. (เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด)

### 1) ค่า U

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น =  $3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศเหนือ, ใต้และทิศตะวันออก)

ผนังก่ออิฐ 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. =  $2.08 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

### 2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

$1-\text{WWR} = 1$  (พื้นที่หน้าต่างโปร่งแสง=0) ทุกด้าน

พื้นที่ผนังทึบ (ทุกด้าน) =  $4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2$ .

### 3) ค่า TD eq

#### ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น  $\times$  ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) = 143.36 \text{ kg/m}^2.$$

แอลฟา = 0.4,  $\text{TD}_{\text{eq}} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$

#### ผนังก่ออิฐ 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น  $\times$  ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01)$$

$$= 255.36 \text{ kg/sq.m.}$$

แอลฟา = 0.4,  $\text{TD}_{\text{eq}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

### 4) หาค่า OTTV

$$\text{OTTV}_i = (U_w)(1-\text{WWR})(\text{TD}_{\text{eq}}) + (U_i)(\text{WWR})(\Delta T) + (\text{SC})(\text{WWR})(\text{SF})$$

$$\text{OTTV ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันตก} = 2.08 \times 1 \times 10 = 20.8 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(A_{01})(\text{OTTV}_1) + (A_{02})(\text{OTTV}_2) + (A_{03})(\text{OTTV}_3) + (A_{04})(\text{OTTV}_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(20.8)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 1586.8/40 = 39.67 \text{ W/m}^2. < 45 \text{ W/m}^2.$$

ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

### 3. ค่า OTTV ของผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคิ้วและอยู่ด้านนอกอาคาร (เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด)

#### 1) ค่า U

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น =  $3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศเหนือ, ใต้และทิศตะวันออก)

ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" ฯ =  $0.54 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

#### 2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

$1-\text{WWR} = 1$  (พื้นที่หน้าต่างโปร่งแสง=0) ทุกด้าน

พื้นที่ผนังทึบ (ทุกด้าน) =  $4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2$ .

#### 3) ค่า TD eq

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น x ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) = 143.36 \text{ kg/m}^2.$$

แอลฟา = 0.4, TD eq =  $12^\circ\text{C}$

ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคิ้วและอยู่ด้านนอกอาคาร

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น x ความหนา

$$= (1568 \times 0.005) + (16 \times 0.05) + (1300 \times 0.01) + (880 \times 0.009)$$

$$= 32.20 \text{ kg/sq.m.}$$

แอลฟา = 0.4, TD eq =  $15^\circ\text{C}$

#### 4) หาค่า OTTV

$$\text{OTTV}_i = (U_w)(1-\text{WWR})(\text{TD}_{\text{eq}}) + (U_f)(\text{WWR})(\Delta T) + (\text{SC})(\text{WWR})(\text{SF})$$

$$\text{OTTV ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันตก} = 0.54 \times 1 \times 15 = 81 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(A_{01})(\text{OTTV}_1) + (A_{02})(\text{OTTV}_2) + (A_{03})(\text{OTTV}_3) + (A_{04})(\text{OTTV}_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(81)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 1459.8/40 = 36.50 \text{ W/m}^2. < 45 \text{ W/m}^2.$$

ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

#### 4. ค่า OTTV ของผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคิ้วและอยู่ด้านนอกอาคาร(เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด)

##### 1) ค่า U

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น =  $3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศเหนือ, ใต้และทิศตะวันออก)

ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4"  $\chi$  =  $0.30 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

##### 2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

1-WWR = 1 (พื้นที่หน้าต่างโปร่งแสง=0) ทุกด้าน

พื้นที่ผนังทึบ (ทุกด้าน) =  $4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2$ .

##### 3) ค่า TD eq

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น x ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) = 143.36 \text{ kg/m}^2.$$

แอลฟา = 0.4, TD eq =  $12 \text{ }^\circ\text{C}$

ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคิ้วและอยู่ด้านนอกอาคาร

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น x ความหนา

$$= (1568 \times 0.005) + (16 \times 0.10) + (1300 \times 0.01) + (880 \times 0.009)$$

$$= 33 \text{ kg/m}^2.$$

แอลฟา = 0.4, TD eq =  $15 \text{ }^\circ\text{C}$

##### 4) หาค่า OTTV

$$\text{OTTV}_i = (U_w)(1-\text{WWR})(\text{TD}_{\text{eq}}) + (U_f)(\text{WWR})(\Delta T) + (\text{SC})(\text{WWR})(\text{SF})$$

$$\text{OTTV ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันตก} = 0.30 \times 1 \times 15 = 4.5 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(A_{01})(\text{OTTV}_1) + (A_{02})(\text{OTTV}_2) + (A_{03})(\text{OTTV}_3) + (A_{04})(\text{OTTV}_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(4.5)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 1,423.8/40 = 35.60 \text{ W/m}^2. < 45 \text{ W/m}^2.$$

ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

### 5. ค่า OTTV ของผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. (เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด)

#### 1) ค่า U

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น =  $3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศเหนือ, ใต้และทิศตะวันออก)

ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. =  $1.05 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

#### 2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

$1-\text{WWR} = 1$  (พื้นที่หน้าต่างโปร่งแสง=0) ทุกด้าน

พื้นที่ผนังทึบ (ทุกด้าน) =  $4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2$ .

#### 3) ค่า TD eq

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น x ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) = 143.36 \text{ kg/m}^2$$

แอลฟา = 0.4, TD eq =  $12^\circ\text{C}$

ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม.

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น x ความหนา

$$= (377 \times 0.01) + (620 \times 0.075) + (377 \times 0.01) = 54.04 \text{ kg/m}^2$$

แอลฟา = 0.4, TD eq =  $15^\circ\text{C}$

#### 4) หาค่า OTTV

$$\text{OTTV}_i = (U_w)(1-\text{WWR})(\text{TD}_{\text{eq}}) + (U_i)(\text{WWR})(\Delta T) + (\text{SC})(\text{WWR})(\text{SF})$$

$$\text{OTTV ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$\text{OTTV ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันตก} = 1.05 \times 1 \times 15 = 15.75 \text{ W/m}^2$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(A_{01})(\text{OTTV}_1) + (A_{02})(\text{OTTV}_2) + (A_{03})(\text{OTTV}_3) + (A_{04})(\text{OTTV}_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(15.75)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 1,536.3/40 = 38.41 \text{ W/m}^2 < 45 \text{ W/m}^2$$

ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

6. ค่า OTTV ของผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.  
(เมื่อเป็นผนังทึบทั้งหมด)

1) ค่า U

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น =  $3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศเหนือ, ใต้และทิศตะวันออก)

ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น =  $0.63 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

$1\text{-WWR} = 1$  (พื้นที่หน้าต่างโปร่งแสง=0) ทุกด้าน

พื้นที่ผนังทึบ (ทุกด้าน) =  $4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2$ .

3) ค่า TD eq

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น x ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) = 143.36 \text{ kg/m}^2.$$

แอลฟา = 0.4, TD eq =  $12^\circ\text{C}$

ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น x ความหนา

$$= (377 \times 0.01) + (620 \times 0.075) + (620 \times 0.075) + (377 \times 0.01)$$

$$= 100.54 \text{ kg/m}^2.$$

แอลฟา = 0.4, TD eq =  $15^\circ\text{C}$

4) หาค่า OTTV

$$\text{OTTV}_i = (U_w)(1\text{-WWR})(\text{TD}_{\text{eq}}) + (U_i)(\text{WWR})(\Delta T) + (\text{SC})(\text{WWR})(\text{SF})$$

$$\text{OTTV ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันตก} = 0.63 \times 1 \times 15 = 9.45 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(A_{01})(\text{OTTV}_1) + (A_{02})(\text{OTTV}_2) + (A_{03})(\text{OTTV}_3) + (A_{04})(\text{OTTV}_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(9.45)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 1,473.3/40 = 36.83 \text{ W/m}^2. < 45 \text{ W/m}^2.$$

ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

**ค่า OTTV เมื่อมีหน้าต่าง10%ของพื้นที่ห้อง**
**1. ค่า OTTV ของผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น (เมื่อมีหน้าต่าง10%ของพื้นที่ห้อง)**
**1) ค่า U**

$$\text{ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น} = 3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

**2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด**

$$1-\text{WWR} = 1-0.168 = 0.832$$

$$\text{พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ,ใต้และทิศตะวันออก)} = 4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2.$$

$$\text{ทิศตะวันตก (ผนังทึบ)} = 8.32 \text{ m}^2, (\text{หน้าต่าง}) = 1.68 \text{ m}^2.$$

**3) ค่า  $TD_{eq}$  (ของผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น )**

$$\begin{aligned} \text{มวลรวมของวัสดุ} &= \text{ความหนาแน่น} \times \text{ความหนา} \\ &= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) \\ &= 143.36 \text{ kg /m}^2. \end{aligned}$$

$$\text{แอลฟา} = 0.4, \quad TD_{eq} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**4) ค่า SC**

$$SC \text{ กระฉกใส} = 0.96 \text{ W/m}^2, \quad SC = SC_1 \times SC_2 = 0.96 \times 1 = 0.96 \text{ W/m}^2$$

**5) ค่า SF  $SF = 160 \times CF = 160 \times 1.03 = 164.8$** 
**6) หาค่า OTTV**

$$OTTV_i = (U_w)(1-\text{WWR})(TD_{eq}) + (U_r)(\text{WWR})(\Delta T) + (SC)(\text{WWR})(SF)$$

$$OTTV \text{ ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$OTTV \text{ ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$OTTV \text{ ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\begin{aligned} OTTV \text{ ทิศตะวันตก} &= (3.83 \times 0.832 \times 12) + (5.88 \times 0.168 \times 5) + (0.96 \times 0.168 \times 164.8) \\ &= 38.24 + 4.94 + 26.58 = 69.76 \text{ W/m}^2. \end{aligned}$$

$$OTTV_{\text{ทั้งหมด}} = \frac{(A_{01})(OTTV_1) + (A_{02})(OTTV_2) + (A_{03})(OTTV_3) + (A_{04})(OTTV_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$OTTV_{\text{ทั้งหมด}} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(69.76)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 2076.4 / 40 = 51.91 \text{ W/m}^2. > 45 \text{ W/m}^2.$$

ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

**2. ค่า OTTV ของผนังก่ออิฐ 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. (เมื่อมีหน้าต่าง10%ของพื้นที่ห้อง)**

**1) ค่า U**

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น =  $3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศเหนือ, ใต้และทิศตะวันออก)

ผนังก่ออิฐ 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม. =  $2.08 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

หน้าต่างกระจก =  $5.88 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

**2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด**

$$1-WWR = 1 - 0.168 = 0.832$$

พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ, ใต้และทิศตะวันออก) =  $4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2$ .

ทิศตะวันตก (ผนังทึบ) =  $8.32 \text{ m}^2$ , (หน้าต่าง) =  $1.68 \text{ m}^2$ .

**3) ค่า TD eq (ของผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น )**

**ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น**

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น  $\times$  ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) = 143.36 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{แอลฟา} = 0.4, \quad \text{TD}_{eq} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**ผนังก่ออิฐ 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.**

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น  $\times$  ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01)$$

$$= 255.36 \text{ kg/sq.m.}$$

$$\text{แอลฟา} = 0.4, \quad \text{TD}_{eq} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**4) ค่า SC**

$$\text{SC กระจกใส} = 0.96 \text{ W/m}^2, \quad \text{SC} = \text{SC}_1 \times \text{SC}_2 = 0.96 \times 1 = 0.96 \text{ W/m}^2$$

**5) ค่า SF SF= 160xCF= 160x1.03= 164.8**

**6) หาค่า OTTV**

$$\text{OTTV}_i = (U_w)(1-WWR)(\text{TD}_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (\text{SC})(WWR)(\text{SF})$$

$$\text{OTTV ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$\text{OTTV ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันตก} = (2.08 \times 0.832 \times 10) + (5.88 \times 0.168 \times 5) + (0.96 \times 0.168 \times 164.8)$$

$$= 17.31+4.94+26.58 = 48.82 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(A_{01})(\text{OTTV}_1) + (A_{02})(\text{OTTV}_2) + (A_{03})(\text{OTTV}_3) + (A_{04})(\text{OTTV}_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(48.82)}{10+10+10+10}$$

$$= 1867.04/40 = 46.68 \text{ W/m}^2. > 45 \text{ W/m}^2.$$

ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

### 3. ค่า OTTV ของผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร (เมื่อมีหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง)

#### 1) ค่า U

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น =  $3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศเหนือ, ใต้ และ ทิศตะวันออก)

ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2"  $\chi$  =  $0.54 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

หน้าต่างกระจก =  $5.88 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

#### 2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

$$1-\text{WWR} = 1 - 0.168 = 0.832$$

พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ, ใต้ และ ทิศตะวันออก) =  $4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2$ .

ทิศตะวันตก (ผนังทึบ) =  $8.32 \text{ m}^2$ , (หน้าต่าง) =  $1.68 \text{ m}^2$ .

#### 3) ค่า TD eq (ของผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น )

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น  $\times$  ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) = 143.36 \text{ kg/m}^2.$$

แอลฟา = 0.4, TD eq =  $12 \text{ }^\circ\text{C}$

#### ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น  $\times$  ความหนา

$$= (1568 \times 0.005) + (16 \times 0.05) + (1300 \times 0.01) + (880 \times 0.009)$$

$$= 32.20 \text{ kg/sq.m.}$$

แอลฟา = 0.4, TD eq =  $15 \text{ }^\circ\text{C}$

#### 4) ค่า SC

$$SC \text{ กระฉากใส่} = 0.96 \text{ W/m}^2, \quad SC = SC1 \times SC2 = 0.96 \times 1 = 0.96 \text{ W/m}^2$$

5) ค่า SF  $SF = 160 \times CF = 160 \times 1.03 = 164.8$

6) หาค่า OTTV

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (SC)(WWR)(SF)$$

$$OTTV \text{ ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$OTTV \text{ ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$OTTV \text{ ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\begin{aligned} OTTV \text{ ทิศตะวันตก} &= (0.54 \times 0.832 \times 15) + (5.88 \times 0.168 \times 5) + (0.96 \times 0.168 \times 164.8) \\ &= 6.74 + 4.94 + 26.58 = 38.26 \text{ W/m}^2. \end{aligned}$$

$$OTTV_{\text{ทั้งหมด}} = \frac{(A_{01})(OTTV_1) + (A_{02})(OTTV_2) + (A_{03})(OTTV_3) + (A_{04})(OTTV_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$OTTV_{\text{ทั้งหมด}} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(38.26)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 1761.37 / 40 = 42.03 \text{ W/m}^2. < 45 \text{ W/m}^2.$$

ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

4. ค่า OTTV ของผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องค้ำและอยู่ด้านนอกอาคาร  
(เมื่อมีหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง)

1) ค่า U

$$\text{ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น} = 3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (ทิศเหนือ, ใต้ และทิศตะวันออก)}$$

$$\text{ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" } \psi = 0.30 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (ทิศตะวันตก)}$$

$$\text{หน้าต่างกระจก} = 5.88 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (ทิศตะวันตก)}$$

2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

$$1-WWR = 1 - 0.168 = 0.832$$

$$\text{พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ, ใต้ และทิศตะวันออก)} = 4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2.$$

$$\text{ทิศตะวันตก (ผนังทึบ)} = 8.32 \text{ m}^2, \text{ (หน้าต่าง)} = 1.68 \text{ m}^2.$$

3) ค่า  $TD_{eq}$  (ของผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น)

$$\text{ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น}$$

$$\begin{aligned}\text{มวลรวมของวัสดุ} &= \text{ความหนาแน่น} \times \text{ความหนา} \\ &= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) = 143.36 \text{ kg/m}^2.\end{aligned}$$

$$\text{แอลฟา} = 0.4, \quad \text{TD}_{eq} = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

**ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร**

$$\begin{aligned}\text{มวลรวมของวัสดุ} &= \text{ความหนาแน่น} \times \text{ความหนา} \\ &= (1568 \times 0.005) + (16 \times 0.10) + (1300 \times 0.01) + (880 \times 0.009) \\ &= 33 \text{ kg/m}^2.\end{aligned}$$

$$\text{แอลฟา} = 0.4, \quad \text{TD}_{eq} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

#### 4) ค่า SC

$$\text{SC กระฉกใส} = 0.96 \text{ W/m}^2, \quad \text{SC} = \text{SC}_1 \times \text{SC}_2 = 0.96 \times 1 = 0.96 \text{ W/m}^2$$

$$5) \text{ ค่า SF } \text{SF} = 160 \times \text{CF} = 160 \times 1.03 = 164.8$$

#### 6) หาค่า OTTV

$$\text{OTTV}_i = (U_w)(1-\text{WWR})(\text{TD}_{eq}) + (U_f)(\text{WWR})(\Delta T) + (\text{SC})(\text{WWR})(\text{SF})$$

$$\text{OTTV ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2.$$

$$\begin{aligned}\text{OTTV ทิศตะวันตก} &= (0.3 \times 0.832 \times 15) + (5.88 \times 0.168 \times 5) + (0.96 \times 0.168 \times 164.8) \\ &= 3.74 + 4.94 + 26.58 = 35.26 \text{ W/m}^2.\end{aligned}$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(A_{01})(\text{OTTV}_1) + (A_{02})(\text{OTTV}_2) + (A_{03})(\text{OTTV}_3) + (A_{04})(\text{OTTV}_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(35.26)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 1731.42 / 40 = 43.29 \text{ W/m}^2. < 45 \text{ W/m}^2.$$

ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

#### 5. ค่า OTTV ของผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. (เมื่อมีหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง)

##### 1) ค่า U

$$\text{ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น} = 3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \text{ (ทิศเหนือ, ใต้ และทิศตะวันออก)}$$

$$\text{ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม.} = 1.05 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \text{ (ทิศตะวันตก)}$$

หน้าต่างกระจก =  $5.88 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

$$1-\text{WWR} = 1-0.168 = 0.832$$

พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ, ใต้และทิศตะวันออก) =  $4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2$ .

ทิศตะวันตก (ผนังทึบ) =  $8.32 \text{ m}^2$ , (หน้าต่าง) =  $1.68 \text{ m}^2$ .

3) ค่า  $\text{TD}_{\text{eq}}$  (ของผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น)

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น  $\times$  ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) = 143.36 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{แอลฟา} = 0.4, \quad \text{TD}_{\text{eq}} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม.

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น  $\times$  ความหนา

$$= (377 \times 0.01) + (620 \times 0.075) + (377 \times 0.01) = 54.04 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{แอลฟา} = 0.4, \quad \text{TD}_{\text{eq}} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4) ค่า SC

$$\text{SC กระจกใส} = 0.96 \text{ W/m}^2, \quad \text{SC} = \text{SC}_1 \times \text{SC}_2 = 0.96 \times 1 = 0.96 \text{ W/m}^2$$

5) ค่า SF  $\text{SF} = 160 \times \text{CF} = 160 \times 1.03 = 164.8$

6) หาค่า OTTV

$$\text{OTTV}_i = (U_w)(1-\text{WWR})(\text{TD}_{\text{eq}}) + (U_f)(\text{WWR})(\Delta T) + (\text{SC})(\text{WWR})(\text{SF})$$

$$\text{OTTV ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$\text{OTTV ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$\text{OTTV ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{OTTV ทิศตะวันตก} &= (1.05 \times 0.832 \times 15) + (5.88 \times 0.168 \times 5) + (0.96 \times 0.168 \times 164.8) \\ &= 13.1 + 4.94 + 26.58 = 44.62 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(A_{01})(\text{OTTV}_1) + (A_{02})(\text{OTTV}_2) + (A_{03})(\text{OTTV}_3) + (A_{04})(\text{OTTV}_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$\text{OTTV ทั้งหมด} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(44.62)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 1825.02 / 40 = 45.63 \text{ W/m}^2 < 45 \text{ W/m}^2$$

ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

6. ค่า OTTV ของผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.  
(เมื่อมีหน้าต่าง 10% ของพื้นที่ห้อง)

1) ค่า U

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น =  $3.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศเหนือ, ใต้และทิศตะวันออก)

ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น =  $0.63 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

หน้าต่างกระจก =  $5.88 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ทิศตะวันตก)

2) หาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

$$1-WWR = 1 - 0.168 = 0.832$$

พื้นที่ผนังทึบ (ทิศเหนือ, ใต้และทิศตะวันออก) =  $4 \times 2.5 = 10 \text{ m}^2$ .

ทิศตะวันตก (ผนังทึบ) =  $8.32 \text{ m}^2$ , (หน้าต่าง) =  $1.68 \text{ m}^2$ .

3) ค่า  $TD_{eq}$  (ของผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น )

ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น  $\times$  ความหนา

$$= (1568 \times 0.01) + (1600 \times 0.7) + (1568 \times 0.01) = 143.36 \text{ kg/m}^2$$

แอลฟา = 0.4,  $TD_{eq} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$

ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

มวลรวมของวัสดุ = ความหนาแน่น  $\times$  ความหนา

$$= (377 \times 0.01) + (620 \times 0.075) + (620 \times 0.075) + (377 \times 0.01)$$

$$= 100.54 \text{ kg/m}^2$$

แอลฟา = 0.4,  $TD_{eq} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

4) ค่า SC

$$SC \text{ กระจกใส} = 0.96 \text{ W/m}^2, \quad SC = SC_1 \times SC_2 = 0.96 \times 1 = 0.96 \text{ W/m}^2$$

5) ค่า SF  $SF = 160 \times CF = 160 \times 1.03 = 164.8$

6) หาค่า OTTV

$$OTTV_i = (U_w) (1-WWR) (TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (SC)(WWR)(SF)$$

$$OTTV \text{ ทิศเหนือ} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$OTTV \text{ ทิศใต้} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$OTTV \text{ ทิศตะวันออก} = 3.83 \times 1 \times 12 = 45.96 \text{ W/m}^2$$

$$OTTV \text{ ทิศตะวันตก} = (0.63 \times 0.832 \times 15) + (5.88 \times 0.168 \times 5) + (0.96 \times 0.168 \times 164.8)$$

$$= 7.86 + 4.94 + 26.58 = 39.38 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{OTTV}_{\text{ทั้งหมด}} = \frac{(A_{01})(\text{OTTV}_1) + (A_{02})(\text{OTTV}_2) + (A_{03})(\text{OTTV}_3) + (A_{04})(\text{OTTV}_4)}{(A_{01} + A_{02} + A_{03} + A_{04})}$$

$$\text{OTTV}_{\text{ทั้งหมด}} = \frac{(10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(45.96) + (10)(39.38)}{10 + 10 + 10 + 10}$$

$$= 1772.61/40 = 44.32 \text{ W/m}^2. < 45 \text{ W/m}^2.$$

ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

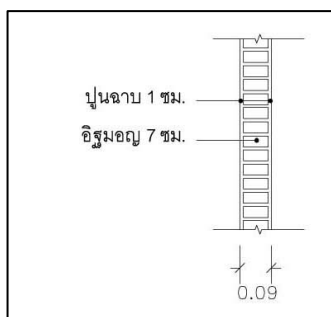
## ภาคผนวก ง.

## การคำนวณหาราคาวัสดุได้ดังนี้

## ราคาก่อสร้าง (พื้นที่ 1 ตร.ม.)

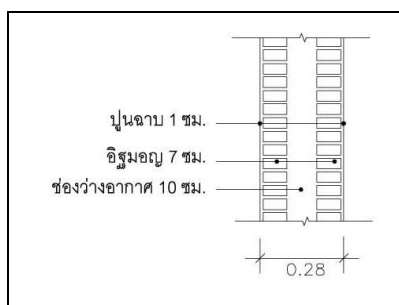
แบบที่ 1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 1 ชั้น

|   |                                    |                 |     |           |
|---|------------------------------------|-----------------|-----|-----------|
| 1 | ปูนฉาบ (เสียมอร์ตาร์ ฉาบทั่วไป)    | $2 \times 54 =$ | 108 | บาท       |
| 2 | ปูนก่อ (เสียมอร์ตาร์ ก่อ ชนิด 50 ) |                 | 67  | บาท       |
| 3 | อิฐมอดู 7 ซม.                      |                 | 81  | บาท       |
| 4 | ค่าแรงช่าง ต่อ ตรม.                |                 | 250 | บาท       |
|   | รวม                                |                 | 506 | บาท/ตร.ม. |



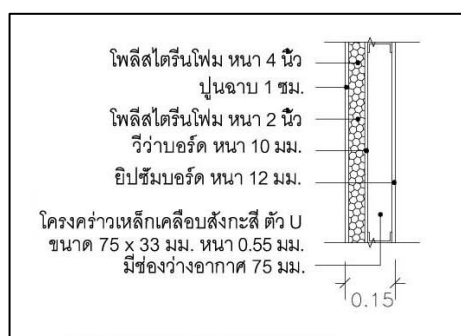
แบบที่ 2 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

|   |                                    |                 |     |           |
|---|------------------------------------|-----------------|-----|-----------|
| 1 | ปูนฉาบ (เสียมอร์ตาร์ ฉาบทั่วไป)    | $2 \times 54 =$ | 108 | บาท       |
| 2 | ปูนก่อ (เสียมอร์ตาร์ ก่อ ชนิด 50 ) | $2 \times 67 =$ | 134 | บาท       |
| 3 | อิฐมอดู 7 ซม.                      | $2 \times 81 =$ | 162 | บาท       |
| 4 | ค่าแรงช่าง ต่อ ตรม.                |                 | 350 | บาท       |
|   | รวม                                |                 | 754 | บาท/ตร.ม. |



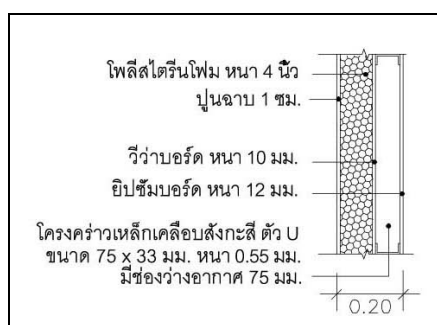
แบบที่ 3 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 2" นอกช่องค้ำและอยู่ด้านนอกอาคาร

|   |                                                     |     |                 |
|---|-----------------------------------------------------|-----|-----------------|
| 1 | ปูนฉาบ (เสียมอร์ตาร์ ฉาบทั่วไป)                     | 54  | บาท             |
| 2 | ลวดตาข่าย (ยาว 1 ม.)                                | 45  | บาท             |
| 3 | โฟลีสไตรีนโฟม ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต หนา 2 นิ้ว | 222 | บาท             |
| 4 | วีวับอร์ด หนา 10 มม.                                | 140 | บาท             |
| 5 | โครงค้ำเหล็กชุบสังกะสี ขนาด 75 มม. ความหนา 0.5 มม.  | 167 | บาท             |
| 6 | ยิปซัมบอร์ด หนา 12 มม.                              | 93  | บาท             |
| 7 | ค่าแรงช่าง ต่อ ตรม.                                 | 300 | บาท             |
|   |                                                     | รวม | 1,021 บาท/ตร.ม. |



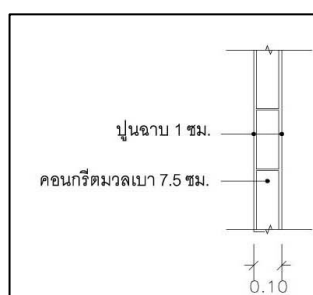
แบบที่ 4 ผนังที่ใส่ฉนวนโฟม 4" นอกช่องค้ำและอยู่ด้านนอกอาคาร

|   |                                                     |     |                 |
|---|-----------------------------------------------------|-----|-----------------|
| 1 | ปูนฉาบ (เสียมอร์ตาร์ ฉาบทั่วไป)                     | 54  | บาท             |
| 2 | ลวดตาข่าย (ยาว 1 ม.)                                | 45  | บาท             |
| 3 | โฟลีสไตรีนโฟม ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต หนา 4 นิ้ว | 389 | บาท             |
| 4 | วีวับอร์ด หนา 10 มม.                                | 140 | บาท             |
| 5 | โครงค้ำเหล็กชุบสังกะสี ขนาด 75 มม. ความหนา 0.5 มม.  | 167 | บาท             |
| 6 | ยิปซัมบอร์ด หนา 12 มม.                              | 93  | บาท             |
| 4 | ค่าแรงช่าง ต่อ ตรม.                                 | 300 | บาท             |
|   |                                                     | รวม | 1,188 บาท/ตร.ม. |



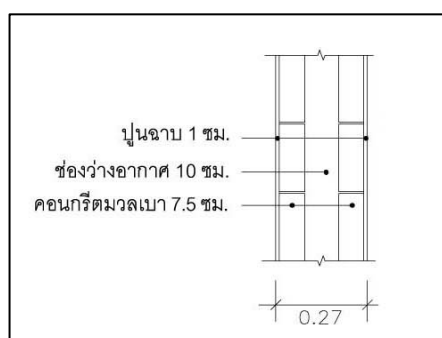
แบบที่ 5 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 1 ชั้น

|   |                                    |                 |     |           |
|---|------------------------------------|-----------------|-----|-----------|
| 1 | ปูนฉาบ (เสียมอร์ตาร์ ฉาบอิฐมวลเบา) | $2 \times 45 =$ | 90  | บาท       |
| 2 | ปูนก่อ (เสียมอร์ตาร์ ก่ออิฐมวลเบา) |                 | 13  | บาท       |
| 3 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม.              |                 | 192 | บาท       |
| 4 | ค่าแรงช่าง ต่อ ตรม.                |                 | 250 | บาท       |
|   |                                    | รวม             | 545 | บาท/ตร.ม. |



แบบที่ 6 ผนังคอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม. 2 ชั้นมีช่องว่างตรงกลาง 10 ซม.

|   |                                    |                  |     |           |
|---|------------------------------------|------------------|-----|-----------|
| 1 | ปูนฉาบ (เสียมอร์ตาร์ ฉาบอิฐมวลเบา) | $2 \times 45 =$  | 90  | บาท       |
| 2 | ปูนก่อ (เสียมอร์ตาร์ ก่ออิฐมวลเบา) | $2 \times 13 =$  | 26  | บาท       |
| 3 | คอนกรีตมวลเบา 7.5 ซม.              | $2 \times 192 =$ | 384 | บาท       |
| 4 | ค่าแรงช่าง ต่อ ตรม.                |                  | 350 | บาท       |
|   |                                    | รวม              | 850 | บาท/ตร.ม. |



เนื่องจาก การคิดราคาของผนังชนิดต่างๆ ไม่รวมโครงสร้างเสาและคาน โดยคิดเฉพาะพื้นที่ผนังทางทิศตะวันตก 10 ตร.ม. เท่านั้น

### ประวัติผู้วิจัย

|                  |                                                                                                |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ-สกุล        | นางสาวภัทราภรณ์ ศรีประเสริฐ                                                                    |
| ที่อยู่          | 79/25 ตำบลบ่อพลับ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000                                         |
| ประวัติการศึกษา  |                                                                                                |
| พ.ศ. 2547        | สำเร็จการศึกษาปริญญาสาปตยกรรมศาสตรบัณฑิต<br>สาขาสาปตยกรรมไทย มหาวิทยาลัยศิลปากร                |
| พ.ศ. 2552        | สำเร็จการศึกษาปริญญาสาปตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต<br>สาขาสาปตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| ประวัติการทำงาน  |                                                                                                |
| พ.ศ. 2548 – 2551 | ทำงานออกแบบสาปตยกรรม                                                                           |