

การศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการใช้ฉนวนกันความร้อนที่หลังคาของบ้านพักอาศัย  
ในกรุงเทพฯ และเชียงใหม่

โดย  
นางสาวภัทริน จินดาวัฒนานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม  
ภาควิชาสถาปัตยกรรม  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2551  
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

A COMPARATIVE STUDY OF BENEFITS AND COSTS OF USING THERMAL  
INSULATION AT ROOFS FOR HOUSES IN BANGKOK AND CHIANG MAI

By

Pattarin Jindawattananon

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

MASTER OF ARCHITECTURE

Department of Architecture

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2008

49054210 : สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คำสำคัญ : ผนวณกันความร้อน สภาวะนำสบาย ระยะเวลาคุ้มทุน หลังคา EnergyPlus

ภัทริน จินดาวฒนานนท : การศีกษาเปรียบเทียบความคุ้มทุนในการใช้ผนวณกันความร้อนที่หลังคาของบ้านพักอาศัยในกรุงเทพฯ และเชียงใหม่. อาจารย์ที่ปรีกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.ปรฤษญา มัททอนทวิ. 169 หน้า.

งานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศีกษาเปรียบเทียบผลของการติดตั้งผนวณกันความร้อนที่บริเวณหลังคาและฝ้าเพดานของบ้านพักอาศัย โดยศีกษาในด้านอุณหภูมิภายในอาคาร สภาวะนำสบาย การประหยัดการใช้พลังงานในการปรับอากาศ และระยะเวลาคืนทุน ใน 2 สภาพอากาศ คือ กรุงเทพฯ และ เชียงใหม่

อาคารที่นำมาศีกษาเป็นบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ขนาดปานกลาง มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 150 ตารางเมตร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ EnergyPlus จำลองการใช้ผนวณกันความร้อนที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ 1. แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ 2. ผนวณใยแก้ว (ความหนา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 นิ้ว) และ 3. ผนวณโฟม PE (ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 เซนติเมตร) สำหรับผนวณใยแก้วและผนวณโฟม PE มีทั้งแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมพอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมพอยล์ด้านบน ตลอดจนการศีกษาถึงการใช้ผนวณใยแก้วและผนวณโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป นำผลที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม EnergyPlus มาวิเคราะห์เพื่อหาผนวณที่เหมาะสมกับสภาพอากาศของกรุงเทพฯและเชียงใหม่

ในสภาพอากาศกรุงเทพฯ กรณีที่ไม่ปรับอากาศ ในช่วงวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และ วันที่ 7-9 ธันวาคม ช่วงเวลากลางวัน การใช้ผนวณทั้ง 3 ชนิด ทำให้อุณหภูมิในห้องนอนใหญ่ต่ำลง ประมาณ 2-4 องศาเซลเซียส แต่กลับทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงเวลากลางคืน ประมาณ 0.5-1.0 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 19:00-07:00 น. การใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ที่ได้แปมีค่าผลรวมของอุณหภูมิในแต่ละชั่วโมงที่แตกต่างจากอุณหภูมิในช่วงสภาวะสบาย ( $23-26^{\circ}\text{C}$ ) รวมตลอดระยะเวลา 1 ปี ( $\Delta T$ ) สูงกว่าบ้านที่ไม่มีผนวณ 227 องศาเซลเซียส และมีผลรวมของค่า PMV ในแต่ละชั่วโมง ที่ออกห่างไปจากค่า PMV ที่ยอมรับได้ ( $-0.5 - 0.5$ ) รวมตลอดระยะเวลา 1 ปี ( $\Delta PMV$ ) สูงกว่าบ้านที่ไม่มีผนวณ 20 หน่วย

ในสภาพอากาศเชียงใหม่ กรณีที่ไม่ปรับอากาศ การใช้ผนวณทั้ง 3 ชนิด ทำให้อุณหภูมิในห้องนอนใหญ่ต่ำกว่าบ้านที่ไม่มีผนวณทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ประมาณ 1-6 องศาเซลเซียส และ 0.5-2.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta T$  ในช่วงเวลา 19:00-07:00 น. การใช้ผนวณทั้ง 3 ชนิดทำให้ค่า  $\Delta T$  สูงขึ้น การใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป มีค่า  $\Delta T$  สูงกว่าบ้านที่ไม่มีผนวณ 201 องศาเซลเซียส และการใช้ผนวณใยแก้วหนา 6 นิ้ว หุ้มอลูมิเนียมพอยล์ วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป ทำให้ค่า  $\Delta PMV$  ลดลงมากที่สุด คือ 876 หน่วย

กรณีที่ใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่ (21:00 – 6:00 น.) ในสภาพอากาศกรุงเทพฯ ผนวณกันความร้อนที่ช่วยลดค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศมากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด คือ แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป ลดค่าการใช้พลังงานได้ 101 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี มีระยะเวลาคืนทุน 21 ปี ส่วนในสภาพอากาศเชียงใหม่ แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป ลดค่าการใช้พลังงานได้ 48 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี มีระยะเวลาคืนทุน 40 ปี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการหุ้มและไม่หุ้มอลูมิเนียมพอยล์ที่ผนวณใยแก้ว และผนวณโฟม PE ในด้านอุณหภูมิ สภาวะนำสบาย และการใช้พลังงาน มีค่าที่แตกต่างกันน้อย ในทั้งสองสภาพอากาศ อย่างไรก็ตามในกรณีที่ปรับอากาศในช่วงเวลากลางวัน (8:00-18:00 น.) การใช้ผนวณกันความร้อนจะช่วยลดการใช้พลังงานของบ้านและมีระยะเวลาในการคืนทุนที่สั้นกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืน

49054210 : MAJOR : (ARCHITECTURE)

KEY WORD : INSULATION, THERMAL COMFORT, PAYBACK PERIOD, ROOF, EnergyPlus

PATTARIN JINDAWATTANANON : A COMPARATIVE STUDY OF BENEFITS AND COSTS OF USING THERMAL INSULATION AT ROOFS FOR HOUSES IN BANGKOK AND CHIANG MAI. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PRECHAYA MAHATANATAWE, Ph.D . 169 pp.

The objective of this research is to analyze the effectiveness of different types of roof insulation in a residential house and to assess their performance on indoor air temperature, thermal comfort, energy savings, and payback period for Bangkok and Chiang Mai climates.

The case study is a medium-size, 150 m<sup>2</sup> two-storey house. EnergyPlus, an energy simulation software, was used to simulate models of a case study house with different types of roof insulation materials. Three types of roof insulations were used in this study – 1) aluminum foil 2) fiberglass (1, 2, 3, 4, 5, and 6-inch thickness, with and without aluminum foil cover) 3) polyethylene (PE) foam (0.2, 0.5, 1.0, 1.5, and 2 cm, with and without aluminum foil cover). The combination of fiberglass or polyethylene foam placed over a ceiling and aluminum foil installed under roof purlins were also studied. Results from energy simulation were analyzed to find the optimum choice of roof insulations for Bangkok and Chiang Mai climates.

For Bangkok climate, without air-condition, during the period of April 17-19, July 28-30, and December 7-9, the use of all types of insulation decreased indoor air temperature in a bedroom during daytime around 2-4 °C, but increased nighttime indoor air temperature, 0.5-1.0 °C. During 19.00-07.00, in case of using aluminum foil under roof purlins, the total hourly temperature difference from the comfort temperature (23-26 °C) for one year ( $\Delta T$ ) was 227 °C higher than a house without any roof insulation (a base-case house). The total hourly PMV difference from the acceptable PMV value (-0.5-0.5) for one year ( $\Delta PMV$ ) was also 20 units higher than a base-case house.

For Chiang Mai climate, without air-condition, the use of all types of insulation decreased both daytime and nighttime indoor temperature around 1-6 °C and 0.5-2.0 °C respectively. However, during 19.00-07.00, the  $\Delta T$  were increased. For the use of aluminum foil installed under roof purlins,  $\Delta T$  was 201°C higher than a base-case house. The use of 6-inch fiberglass with aluminum foil cover and aluminum foil installed under roof purlins produced the highest reduction in  $\Delta PMV$  of 876 units.

In case of using air-condition mainly at night (21:00-6:00), for Bangkok climate, the use of aluminum foil installed under roof purlins produced the highest energy-saving of 101 kWh/year and had the shortest payback period of 21 years. For Chiang Mai climate, the use of aluminum foil installed under roof purlins produced the highest energy-saving of 48 kWh/year with 40-year payback. The effects of having aluminum foil cover on fiberglass or polyethylene upon indoor temperature, thermal comfort, and energy consumptions were not significant in both climates. However, in case of using air-condition during daytime (8:00-18:00), the use of insulations decreased energy consumption for air-condition and the payback period was shorter than that of using air-condition mainly at night.

---

Department of Architecture      Graduate School, Silpakorn University      Academic Year 2008

Student's signature .....

Thesis Advisor's signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เพราะได้รับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างมากตลอดการทำงาน จากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ปรีชญา มหัทธนท์ รวมทั้งคณาจารย์ในคณะสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์ และ ดร.ทสพล เขตเจนการ ที่ได้กรุณาสละเวลามาเป็นประธานและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ และ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เอื้อเพื่อข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้

ขอบคุณทุกกำลังใจและความช่วยเหลือจากครอบครัว และบุคคลท่านอื่นๆ ที่มีได้กล่าวไว้ในที่นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมา

## สารบัญ

หน้า

|                         |   |
|-------------------------|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....    | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ.....    | ฉ |
| สารบัญตาราง.....        | ณ |
| สารบัญภาพ.....          | ญ |
| สารบัญแผนภูมิ.....      | ฎ |

### บทที่

|   |                                                   |    |
|---|---------------------------------------------------|----|
| 1 | บทนำ.....                                         | 1  |
|   | ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....             | 1  |
|   | วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                      | 3  |
|   | ขอบเขตการวิจัย.....                               | 3  |
|   | ระเบียบวิธีการวิจัย.....                          | 3  |
|   | ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                    | 4  |
| 2 | ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                | 5  |
|   | ลักษณะทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศ.....              | 5  |
|   | ความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร.....                   | 10 |
|   | อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์.....                    | 12 |
|   | คุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว.....       | 12 |
|   | คุณสมบัติที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ..... | 15 |
|   | พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคา.....           | 16 |
|   | ฉนวนกันความร้อน .....                             | 17 |
|   | ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ.....               | 20 |
|   | สภาวะน่าสบาย.....                                 | 21 |
|   | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                        | 26 |

|   |                                                 |     |
|---|-------------------------------------------------|-----|
| 3 | วิธีดำเนินการวิจัย.....                         | 38  |
|   | การกำหนดตัวแปรในการศึกษา.....                   | 38  |
|   | การเลือกวิธีการศึกษาการใช้พลังงานในอาคาร.....   | 41  |
|   | การสร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศ (Weather File).....  | 42  |
|   | การเลือกบ้านกรณีศึกษา.....                      | 52  |
|   | การจำลองอาคารในโปรแกรม EnergyPlus.....          | 59  |
|   | ขั้นตอนในการทดลองและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 70  |
| 4 | ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....                  | 77  |
|   | สภาพอากาศกรุงเทพ.....                           | 77  |
|   | แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์.....                        | 77  |
|   | ฉนวนใยแก้ว.....                                 | 83  |
|   | ฉนวนโฟม PE.....                                 | 96  |
|   | สภาพอากาศเชียงใหม่.....                         | 115 |
|   | แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์.....                        | 115 |
|   | ฉนวนใยแก้ว.....                                 | 120 |
|   | ฉนวนโฟม PE.....                                 | 133 |
| 5 | บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....                        | 154 |
|   | บทสรุปของงานวิจัย.....                          | 154 |
|   | ข้อเสนอแนะ.....                                 | 168 |
|   | บรรณานุกรม.....                                 | 159 |
|   | ภาคผนวก.....                                    | 162 |
|   | ภาคผนวก ก .....                                 | 163 |
|   | ภาคผนวก ข. ....                                 | 165 |
|   | ประวัติผู้วิจัย.....                            | 169 |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                  | หน้า |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | แสดงลักษณะภูมิอากาศของกรุงเทพฯ.....                                                                                                                              | 7    |
| 2        | แสดงลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่.....                                                                                                                      | 8    |
| 3        | แสดงค่า EER ของเครื่องปรับอากาศ.....                                                                                                                             | 21   |
| 4        | แสดงตัวเลือกความรู้สึกในสภาพอากาศแบบ 7 ตัวเลือก.....                                                                                                             | 24   |
| 5        | แสดง Present Weather Codes.....                                                                                                                                  | 45   |
| 6        | สรุปที่มาของข้อมูลที่นำมาใช้สร้างข้อมูลสภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่.....                                                                                            | 51   |
| 7        | แสดงปริมาณน้ำฝน และความหมาย.....                                                                                                                                 | 52   |
| 8        | แสดงรายละเอียดการใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในบ้านจำลอง.....                                                                                                   | 62   |
| 9        | แสดงค่า Thermal Resistance ของช่องว่างอากาศ.....                                                                                                                 | 63   |
| 10       | แสดงคุณสมบัติของกระจกใสสีเขียว หนา 8 มม.....                                                                                                                     | 63   |
| 11       | แสดงกิจกรรมและ Metabolic Rate.....                                                                                                                               | 65   |
| 12       | แสดงเครื่องใช้ไฟฟ้าของแต่ละโซนและเวลาใช้งานในวันธรรมดาและวันหยุด.....                                                                                            | 66   |
| 13       | แสดงปริมาณไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในแต่ละโซนและเวลาการใช้งาน<br>ในวันธรรมดาและวันหยุด.....                                                                            | 67   |
| 14       | แสดงช่วงเวลาการเปิดเครื่องปรับอากาศของห้องต่างๆ.....                                                                                                             | 68   |
| 15       | แสดงค่า Clo-Value สำหรับผู้ใส่สอยในบ้าน.....                                                                                                                     | 68   |
| 16       | แสดงการคิดค่าไฟฟ้าประเภทที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน.....                                                                                    | 74   |
| 17       | แสดงการคิดค่าไฟฟ้าประเภทที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า<br>เกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน.....                                                                                | 74   |
| 18       | ตัวอย่างการคิดต้นทุนจนวนกันความร้อนในงานวิจัย.....                                                                                                               | 75   |
| 19       | แสดงความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ในช่วงเวลา<br>19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ) ..... | 81   |
| 20       | สรุประยะเวลาต้นทุนของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป (กรุงเทพฯ).....                                                                                              | 83   |
| 21       | แสดงความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่ความหนาต่างๆ                                   |      |

|    |                                                                                                                                                                                   |     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|    | ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ) .....                                                                                                                                      | 91  |
| 22 | แสดงความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่ความหนาต่างๆ<br>ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น.(กรุงเทพฯ) .....   | 104 |
| 23 | แสดงระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนโฟม PE (กรุงเทพฯ) .....                                                                                                                            | 109 |
| 24 | แสดงความถี่ของค่า PMV (%) ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ระหว่าง<br>บ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป้ ในช่วงเวลา<br>19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่) .....             | 118 |
| 25 | สรุประยะเวลาคืนทุนของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป้ (เชียงใหม่).....                                                                                                             | 120 |
| 26 | แสดงความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่ความหนาต่างๆ<br>ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่) .....   | 128 |
| 27 | แสดงความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่ความหนา<br>ต่างๆ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่) ..... | 140 |
| 28 | แสดงระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนโฟม PE (เชียงใหม่).....                                                                                                                            | 145 |
| 29 | แสดงค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศ และระยะเวลาคืนทุนของฉนวน<br>เมื่อทดลองเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวันเป็นหลัก<br>ในสภาพอากาศกรุงเทพฯ.....                                    | 152 |
| 30 | แสดงผลรูปผลต่างของค่า $\Delta T$ เปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ โดยเลือก<br>ฉนวนที่ให้ผลดีที่สุดสามอันดับแรก ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. ....                                           | 155 |
| 31 | แสดงผลรูปผลต่างของค่า $\Delta PMV$ เปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ<br>โดยเลือกเฉพาะฉนวนที่ให้ผลดีที่สุดสามอันดับแรก.....                                                                 | 156 |
| 32 | แสดงผลรูปค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ และระยะเวลาคืนทุน<br>เปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน โดยเลือกเฉพาะ<br>ฉนวนที่ให้ผลดีที่สุดสามอันดับแรก.....               | 157 |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                                                  | หน้า |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | ภาพแสดงความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคาร.....                                                    | 11   |
| 2      | แสดงการสะท้อนรังสี การดูดกลืนรังสี การส่งผ่านรังสี ของวัสดุ.....                                 | 14   |
| 3      | แสดง Bioclimatic Chart.....                                                                      | 23   |
| 4      | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี PMV และค่าดัชนี PPD.....                                         | 25   |
| 5      | แสดงผังฟ้าเพดานของอาคารจำลองที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน<br>ประเภทต่างๆ.....                   | 27   |
| 6      | รูปแบบกล่องทดลอง แสดงตำแหน่งการติดตั้งฉนวน และการระบายอากาศ.....                                 | 28   |
| 7      | แสดงแปลนหลังคา (ซ้าย) และรูปตัดขวาง (ขวา) ของอาคารจำลอง.....                                     | 30   |
| 8      | แสดงกล่องทดลอง และประเภทของฉนวนกันความร้อนที่ใช้ในงานวิจัย.....                                  | 36   |
| 9      | แสดงลักษณะของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ และการติดตั้ง.....                                              | 38   |
| 10     | แสดงลักษณะของฉนวนใยแก้ว และการติดตั้ง.....                                                       | 39   |
| 11     | แสดงลักษณะของฉนวนโฟม PE และการติดตั้ง.....                                                       | 39   |
| 12     | แสดงความหนาของฉนวนและการติดตั้ง.....                                                             | 40   |
| 13     | แสดงความหนาของฉนวนและการติดตั้งฉนวนหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์.....                                      | 40   |
| 14     | แสดงความหนาของฉนวนและการติดตั้งฉนวนหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์<br>ร่วมกับการใช้อลูมิเนียมฟอยล์ได้เป..... | 41   |
| 15     | แสดงแบบแปลนชั้นล่างของบ้านกรณีศึกษา.....                                                         | 54   |
| 16     | แสดงแบบแปลนชั้นบนของบ้านกรณีศึกษา.....                                                           | 55   |
| 17     | แสดงแบบแปลนหลังคาของบ้านกรณีศึกษา.....                                                           | 56   |
| 18     | แสดงรูปด้านของบ้านกรณีศึกษา.....                                                                 | 57   |
| 19     | แสดงรูปด้านของบ้านกรณีศึกษา.....                                                                 | 58   |
| 20     | แสดงรูปตัดของบ้านกรณีศึกษา.....                                                                  | 59   |
| 21     | แสดงการแบ่งโซนของบ้านจำลอง.....                                                                  | 60   |
| 22     | แสดงภาพสามมิติของบ้านจำลอง.....                                                                  | 61   |
| 23     | แสดงส่วนที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนต่างๆ.....                                                      | 75   |

## สารบัญแผนภูมิ

| แผนภูมิที่                                                                                                                                                                                                     | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1    แสดงอุณหภูมิสูงสุดของวันเฉลี่ยรายเดือนเปรียบเทียบระหว่างกรุงเทพฯ<br>และจังหวัดเชียงใหม่.....                                                                                                              | 9    |
| 2    แสดงค่า Cooling Degree Day Base 18.3°C รายเดือน เปรียบเทียบระหว่าง<br>กรุงเทพฯและจังหวัดเชียงใหม่.....                                                                                                    | 9    |
| 3    แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน เปรียบเทียบระหว่างกรุงเทพฯ<br>และจังหวัดเชียงใหม่.....                                                                                                              | 10   |
| 4    แสดงความเข้มของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ต่อวันเฉลี่ยรายเดือน<br>(Average Daily Total Solar Radiation) เปรียบเทียบระหว่างกรุงเทพฯ<br>และจังหวัดเชียงใหม่.....                                                  | 10   |
| 5    แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนใยแก้ว<br>และฉนวนโฟม PE.....                                                                                                                               | 40   |
| 6    แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านที่ใช้<br>แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะแป ของวันที่ 16-19 เมษายน,<br>วันที่ 27-30 กรกฎาคม และวันที่ 6-9 ธันวาคม (กรุงเทพฯ).....                     | 78   |
| 7    แสดงการเปรียบเทียบค่า $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบและ<br>บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (กรุงเทพฯ).....                                                                           | 79   |
| 8    แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบ และบ้านที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ของวันที่ 16-19 เมษายน,<br>วันที่ 27-30 กรกฎาคม และวันที่ 6-9 ธันวาคม (กรุงเทพฯ) ..... | 80   |
| 9    แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลอง<br>ที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (กรุงเทพฯ) .....                                                                                        | 81   |
| 10    แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่<br>ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ<br>ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ) .....                        | 82   |

- 11 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ  
และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป (กรุงเทพฯ).....82
- 12 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และการใช้  
ฉนวนใยแก้ว ของวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และวันที่ 7-9  
ธันวาคม (กรุงเทพฯ).....84
- 13 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลอง  
ที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน (กรุงเทพฯ) .....85
- 14 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ  
บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์  
และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น.  
(รูปบน) ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน  
(รูปล่าง) (กรุงเทพฯ).....87
- 15 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ  
บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบน  
ฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่น  
อลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น.(รูปบน)  
ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน(รูปล่าง)  
(กรุงเทพฯ).....88
- 16 แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้  
ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน ของวันที่ 16-19 เมษายน, วันที่ 27-30 กรกฎาคม  
และวันที่ 6-9 ธันวาคม (กรุงเทพฯ) .....89
- 17 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลอง  
ที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่ความหนาต่างๆ (กรุงเทพฯ) .....90
- 18 แสดงค่าความแตกต่างของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่  
ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน  
ที่มีความหนาต่างๆ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ).....91

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 19 | แสดงการเปรียบเทียบค่า $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้<br>ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์<br>และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน (กรุงเทพฯ) .....                                                                                                    | 92  |
| 20 | แสดงการเปรียบเทียบค่า $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลอง<br>ที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน<br>และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียม<br>ฟอยล์ได้เป (กรุงเทพฯ) .....                                  | 93  |
| 21 | แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่าง<br>บ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่ความหนา<br>ต่างๆ (กรุงเทพฯ) .....                                                                                                                        | 94  |
| 22 | แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่าง<br>บ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้ม<br>อลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน (กรุงเทพฯ) .....                                                                              | 95  |
| 23 | แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ<br>บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป บ้านจำลองที่ใช้<br>ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการ<br>ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป (กรุงเทพฯ).....                       | 95  |
| 24 | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ<br>และการใช้ฉนวนโฟม PE ของวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม<br>และวันที่ 7-9 ธันวาคม (กรุงเทพฯ).....                                                                                                                | 97  |
| 25 | แสดงการเปรียบเทียบค่า $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ<br>และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน (กรุงเทพฯ) .....                                                                                                                                                 | 99  |
| 26 | แสดงการเปรียบเทียบค่า $\Delta T$ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE<br>วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์<br>ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. (รูปบน) ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น.<br>(รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน (รูปล่าง) (กรุงเทพฯ)..... | 100 |

- 27 แสดงการเปรียบเทียบ  $\Delta T$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์  
ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลอง  
ที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป  
ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น.(รูปบน) ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น.  
(รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน (รูปล่าง) (กรุงเทพฯ).....101
- 28 แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. ระหว่างบ้านต้นแบบ  
และบ้านที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน ของวันที่ 16-19  
เมษายน, วันที่ 27-30 กรกฎาคม และวันที่ 6-9 ธันวาคม (กรุงเทพฯ) .....102
- 29 แสดงการเปรียบเทียบ  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลอง  
ที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่ความหนาต่างๆ (กรุงเทพฯ) .....103
- 30 แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่  
ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน  
ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ) .....104
- 31 แสดงการเปรียบเทียบ  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE  
วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์  
ด้านบน (กรุงเทพฯ) .....105
- 32 แสดงการเปรียบเทียบ  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้  
แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน  
และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้  
แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป (กรุงเทพฯ) .....106
- 33 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ  
และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่ความหนาต่างๆ  
(กรุงเทพฯ) .....107
- 34 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่าง  
บ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้ม  
อลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (กรุงเทพฯ) .....107
- 35 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่าง  
บ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้

|    |                                                                                                                                                                                             |     |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|    | ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป (กรุงเทพฯ) .....                                                                   | 108 |
| 36 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. (กรุงเทพฯ) .....              | 112 |
| 37 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลา 19:00 – 07.00 น. ....                           | 112 |
| 38 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลาทั้งวัน.....                                    | 113 |
| 39 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลา 19:00 – 07.00 น. (กรุงเทพฯ) .....                          | 113 |
| 40 | แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE (กรุงเทพฯ) .....                              | 114 |
| 41 | แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนกันความร้อนของบ้านจำลอง (กรุงเทพฯ) .....                                                                                                       | 114 |
| 42 | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ภายในห้องนอนใหญ่ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เปของวันที่ 17-19 เมษายน วันที่ 28-30 กรกฎาคม และวันที่ 7-9 ธันวาคม (เชียงใหม่)..... | 115 |
| 43 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป (เชียงใหม่) .....                                                                  | 116 |
| 44 | แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ของวันที่ 16-19 เมษายน, วันที่ 27-30 กรกฎาคม และวันที่ 6-9 ธันวาคม (เชียงใหม่).....               | 117 |
| 45 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลอง                                                                                                                               |     |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|    | ที่ใช้แผ่นอคูมิเนียมฟอยล์ได้แป (เชียงใหม่) .....                                                                                                                                                                                                                         | 118 |
| 46 | แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่<br>ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอคูมิเนียมฟอยล์ได้แป<br>ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่) .....                                                                                       | 119 |
| 47 | แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ<br>และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอคูมิเนียมฟอยล์ได้แป (เชียงใหม่) .....                                                                                                                                   | 119 |
| 48 | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และการใช้<br>ฉนวนใยแก้ว ของวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และวันที่ 7-9<br>ธันวาคม (เชียงใหม่).....                                                                                                       | 121 |
| 49 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ<br>และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน (เชียงใหม่) .....                                                                                                                                             | 122 |
| 50 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอคูมิเนียม<br>ฟอยล์ และแบบหุ้มอคูมิเนียมฟอยล์ด้านบน ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น....                                                                     | 124 |
| 51 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอคูมิเนียมฟอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวน<br>ใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน<br>ร่วมกับการใช้แผ่นอคูมิเนียมฟอยล์ได้แป ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. .... | 125 |
| 52 | แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้าน<br>ที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน ของวันที่ 16-19 เมษายน, วันที่ 27-30<br>กรกฎาคม และวันที่ 6-9 ธันวาคม .....                                                                                                 | 126 |
| 53 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้าน<br>จำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่ความหนาต่างๆ (เชียงใหม่) .....                                                                                                                                         | 127 |
| 54 | แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้อง<br>นอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบน<br>ฝ้าเพดาน ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่) .....                                                                                      | 128 |
| 55 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้<br>ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอคูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอคูมิเนียม                                                                                                                               |     |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|    | พอยล์ด้านบน (เชียงใหม่) .....                                                                                                                                                                                                                                | 129 |
| 56 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลอง<br>ที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน<br>และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียม<br>พอยล์ได้แป (เชียงใหม่) .....                 | 130 |
| 57 | แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศใน 1 ปี<br>ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบน<br>ฝ้าเพดานที่ความหนาต่างๆ (เชียงใหม่) .....                                                                                                      | 131 |
| 58 | แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปีระหว่างบ้านต้นแบบ<br>บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมพอยล์<br>และแบบหุ้มอลูมิเนียมพอยล์ด้านบน (เชียงใหม่) .....                                                             | 131 |
| 59 | แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี<br>ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป บ้านจำลอง<br>ที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน<br>ร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป (เชียงใหม่) .....  | 132 |
| 60 | แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และการใช้<br>ฉนวนโฟม PE ของวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และ<br>วันที่ 7-9 ธันวาคม .....                                                                                                     | 133 |
| 61 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ<br>และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน (เชียงใหม่) .....                                                                                                                                | 134 |
| 62 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลอง<br>ที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมพอยล์ และแบบหุ้ม<br>อลูมิเนียมพอยล์ ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. ....                                                                          | 135 |
| 63 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลอง<br>ที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้า<br>เพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้<br>แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. .... | 136 |
| 64 | แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ                                                                                                                                                                                                          |     |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | และบ้านที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน ของวันที่ 16-19 เมษายน,<br>วันที่ 27-30 กรกฎาคม และวันที่ 6-9 ธันวาคม .....138                                                                                                                                               |
| 65 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลอง<br>ที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่ความหนาต่างๆ (เชียงใหม่) .....139                                                                                                                                |
| 66 | แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้อง<br>นอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบน<br>ฝ้าเพดานในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่) .....140                                                                             |
| 67 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลอง<br>ที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มฉนวนใยหินและแบบหุ้ม<br>ฉนวนใยหินด้านบน (เชียงใหม่) .....141                                                                                                 |
| 68 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลอง<br>ที่ใช้แผ่นฉนวนใยหินได้แก่ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน<br>และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นฉนวนใยหิน<br>ได้แก่ (เชียงใหม่) .....142                            |
| 69 | แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่าง<br>บ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่<br>ความหนาต่างๆ (เชียงใหม่) .....143                                                                                                   |
| 70 | แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่าง<br>บ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้ม<br>ฉนวนใยหิน และแบบหุ้มฉนวนใยหิน (เชียงใหม่) .....143                                                                              |
| 71 | แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี<br>ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นฉนวนใยหินได้แก่<br>บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้<br>ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นฉนวนใยหิน<br>ได้แก่ (เชียงใหม่) .....144 |
| 72 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นฉนวนใยหินได้แก่ ฉนวนใยแก้ว<br>และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. ....148                                                                                            |

|    |                                                                                                                                                                             |     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 73 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป่ ฉนวนใยแก้ว<br>และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลา 19:00 – 07.00 น. ....  | 149 |
| 74 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta T$ ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้าน<br>ต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป่ ฉนวนใยแก้ว<br>และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลาทั้งวัน (เชียงใหม่) .... | 149 |
| 75 | แสดงการเปรียบเทียบ $\Delta PMV$ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลอง<br>ที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป่ ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลา<br>19:00 – 07.00 น. (เชียงใหม่) ....  | 150 |
| 76 | แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่าง<br>บ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป่ ฉนวนใยแก้ว<br>และฉนวนโฟม PE (เชียงใหม่) ....      | 150 |
| 77 | แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนกันความร้อน<br>แต่ละแบบ (เชียงใหม่) ....                                                                                       | 151 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

สภาพอากาศที่แปรปรวนในปัจจุบัน ทำให้ผู้คนทั่วโลกตระหนักถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือยของตนเอง ส่งผลให้เกิดกระแสการลดภาวะโลกร้อนขึ้นมา ด้วยการหันมาปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่มุ่งทำลายสภาพแวดล้อมให้น้อยลง ในด้านสถาปัตยกรรม การออกแบบอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว บ้านพักอาศัยก็เป็นหนึ่งในงานสถาปัตยกรรมที่มีเป็นจำนวนมาก ฉะนั้นการศึกษาเพื่อลดและป้องกันความร้อนให้กับบ้านพักอาศัยก็เป็นหนึ่งในทางเลือกที่ช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้

ประเทศไทยมีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ในสภาพอากาศปัจจุบัน อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยในเวลากลางวันจะสูงกว่าอุณหภูมิในขอบเขตสภาวะน่าสบาย ส่งผลกระทบต่อการอยู่อาศัยของผู้ใช้อาคาร ต้องใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อปรับสภาพอากาศภายในอาคารให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ซึ่งก่อให้เกิดการเพิ่มภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของเครื่องปรับอากาศ และการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก การกระทำนี้ส่งผลให้เกิดวิกฤตการณ์ทางสภาพแวดล้อมและการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ

จากการศึกษาถึงสัดส่วนความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่พักอาศัยของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พบว่า พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่พักอาศัยที่ถูกใช้ไปกับการลดความร้อนภายในอาคารเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดนั่นก็คือ การใช้ระบบปรับอากาศเข้ามาเสริมเมื่อต้องการให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย<sup>1</sup> แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศก็คือ การป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร ซึ่งได้แก่ การสร้างความเย็นให้กับสภาพแวดล้อม การเลือกใช้วัสดุเพื่อป้องกันความร้อนให้กับอาคาร และการเลือกใช้การระบายอากาศภายในอาคารอย่างเหมาะสม

---

<sup>1</sup> กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, แนวทางการใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แกรนด์เพรสแอนด์แพคกิ้ง จำกัด, 2547).

การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารเกิดได้ 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน อิทธิพลจากการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อการทำให้อุณหภูมิภายในอาคารมีระดับสูงขึ้น หลังคาเป็นส่วนประกอบของอาคารที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มากที่สุด<sup>2</sup> เป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นในส่วนของพื้นที่ใช้งานใต้หลังคา และความร้อนนั้นถูกถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานลงมายังภายในอาคาร จึงเป็นสาเหตุของสภาวะไม่สบายในอาคาร ทั้งยังเป็นการเพิ่มภาระการปรับอากาศภายในอาคารด้วย การเลือกใช้นวณกันความร้อนกับหลังคาเป็นทางเลือกหนึ่งของการเลือกใช้วัสดุเพื่อป้องกันความร้อนให้กับอาคาร ซึ่งจะช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ ในปัจจุบันมีฉนวนหลายชนิดซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน การเลือกใช้นวณที่มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับประเภทของอาคารจะช่วยลดภาระเรื่องค่าไฟฟ้าและประหยัดพลังงานลงได้

นอกจากนี้ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศในแต่ละภูมิภาคของไยนั้น มีลักษณะที่แตกต่างกัน การเลือกใช้วัสดุประกอบอาคารประเภทฉนวนกันความร้อนจึงอาจมีประสิทธิผลที่แตกต่างกัน เมื่อนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศไม่เหมือนกัน จากงานวิจัยของ Khaled A. Al-Sallal.<sup>3</sup> สรุปผลได้ว่า ในเขตภูมิอากาศที่ต่างกัน ระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดเดียวกันจะมีค่าไม่เท่ากัน จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะหาคำตอบของการเลือกใช้นวณและความหนาของฉนวนที่เหมาะสมในแต่ละสภาพอากาศของประเทศไทย โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างสภาพอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ และสภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ โดยการพิจารณาเลือกฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมกับแต่ละสภาพอากาศ จะดูที่ประสิทธิภาพในด้านอุณหภูมิ สภาวะน่าสบาย การประหยัดพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ และระยะเวลาคืนทุนเป็นหลัก

---

<sup>2</sup> พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า, “การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547).

<sup>3</sup> Khaled A. Al-Sallal., “Comparison between Polystyrene and Fiberglass Roof Insulation in Warm and Cold Climate” (Department of Architectural Engineering, UAE University, United Arab Emirates, 2002).

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาผลของการใช้ฉนวนกันความร้อนที่บริเวณหลังคาและฝ้าเพดานของบ้านพักอาศัย ในด้านอุณหภูมิ สภาวะน่าสบาย และการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัย ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่

2.2 เพื่อศึกษาความคุ้มค่าของการใช้ฉนวนกันความร้อนที่บริเวณหลังคาและฝ้าเพดานของบ้านพักอาศัย ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่

## 3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนที่หลังคาสำหรับบ้านพักอาศัยในสภาพอากาศของกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่

3.2 ศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนในด้านอุณหภูมิภายในห้อง สภาวะน่าสบาย การใช้พลังงานในการปรับอากาศ และระยะเวลาคืนทุน

3.3 ฉนวนกันความร้อนที่นำมาศึกษาเป็นแบบที่นิยมใช้ทั่วไปสำหรับบ้านพักอาศัย ได้แก่ แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE

3.4 บ้านพักอาศัยที่นำมาใช้ศึกษา เป็นบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ขนาดพื้นที่ใช้สอยประมาณ 150 ตารางเมตร

## 4. ระเบียบวิธีการวิจัย

4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล โดยมีหัวข้อดังนี้

4.1.1 ความแตกต่างของสภาพอากาศของกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่

4.1.2 การถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคาร

4.1.3 คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนชนิดต่างๆ

4.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะสบายในอาคาร และเกณฑ์การวัด

4.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศของอาคาร

4.1.6 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของฉนวนกันความร้อน

4.1.7 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.2 กำหนดตัวแปรในการศึกษา

กำหนดตัวแปรในการศึกษา ซึ่งเป็นตัวแปรที่ได้จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ตัวแปรดังกล่าวได้แก่ ชนิดและความหนาของฉนวนกันความร้อน การหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉนวนกันความร้อนแบบวางบนฝ้าเพดาน การใช้ฉนวนกันความร้อนแบบวางบน

ฝ่าเพดานร่วมกับการใช้ฉนวนกันความร้อนที่ได้แปะ สภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศและเปิดเครื่องปรับอากาศ และสภาพอากาศของกรุงเทพฯและจังหวัดเชียงใหม่

#### 4.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยจำลองสภาพเหมือนจริงของบ้านกรณีศึกษา โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งมีวิธีการดังนี้

4.3.1 เลือกโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยศึกษาถึงข้อดี ข้อจำกัด ความเหมาะสมกับตัวแปรที่ต้องการศึกษา และวิธีการใช้งาน โปรแกรมที่เลือกใช้คือ EnergyPlus

4.3.2 สร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศ (Weather File) ของจังหวัดเชียงใหม่ ด้วยการศึกษาคัดข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพฯที่มีอยู่ในโปรแกรม EnergyPlus และขอข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดเชียงใหม่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

4.3.3 จำลองแบบบ้านที่ศึกษาลงในโปรแกรม EnergyPlus โดยใช้ข้อมูลในหัวข้อที่โปรแกรมกำหนดไว้ โปรแกรมจะคำนวณและให้ข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

4.3.4 วิเคราะห์ข้อมูลในด้านอุณหภูมิและสภาวะน่าสบายในห้องนอนใหญ่ ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ และวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ การประหยัดค่าไฟฟ้า และระยะเวลาคืนทุนของบ้านจำลองที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ต้องการศึกษา เปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ไม่มีฉนวนกันความร้อน

4.4 สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม ในสภาพอากาศของกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่

### 5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนแต่ละชนิดที่นำมาศึกษา ในด้านอุณหภูมิ สภาวะน่าสบาย การประหยัดพลังงานในการปรับอากาศ และระยะเวลาคืนทุน

5.2 เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนกับบ้านพักอาศัย ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศของกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่

5.3 เพื่อนำผลวิจัยที่ได้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการใช้ฉนวนกันความร้อนที่หลังคานั้นจำเป็นต้องศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคา รวมถึงตัวแปรอื่นๆที่มีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิภายในให้กับอาคารเพื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานในอาคารของฉนวนและความคุ้มค่าในการลงทุนใช้ฉนวนแต่ละชนิดต่อไป ซึ่งได้แบ่งออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ลักษณะทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศ
2. ความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร
3. อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์
4. คุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว
5. คุณสมบัติที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ
6. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคา
7. ฉนวนกันความร้อน
8. ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ
9. สภาวะน่าสบาย
10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ลักษณะทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศ

ลักษณะทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับการออกแบบที่อยู่อาศัยของมนุษย์ การใช้วัสดุอุปกรณ์ประกอบอาคารในแต่ละท้องถิ่นจึงอาจมีความแตกต่างกัน เพื่อให้เกิดสภาวะภายในอาคารที่มีความสบายในทุกช่วงเวลา

##### 1.1 ลักษณะทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศของกรุงเทพฯ

กรุงเทพฯตั้งอยู่ศูนย์กลางของประเทศไทย บนละติจูดที่ 13 องศา 44 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 100 องศา 34 ลิปดาตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเล 12 เมตร มีพื้นที่ 1568.737 ตารางกิโลเมตร กรุงเทพฯประกอบไปด้วย สามฤดูกาล ได้แก่ ฤดูฝน (มิถุนายน - ตุลาคม) ฤดูหนาว (พฤศจิกายน - กุมภาพันธ์) และฤดูร้อน (มีนาคม - พฤษภาคม)

## 1.2 ลักษณะทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของประเทศไทย บนละติจูดที่ 18 องศา 47 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 98 องศา 59 ลิปดาตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 314 เมตร ส่วนกว้างจากทิศตะวันตกจรดทิศตะวันออกประมาณ 138 กิโลเมตร ส่วนยาวจากทิศเหนือจรดทิศใต้ประมาณ 320 กิโลเมตร ห่างจากกรุงเทพฯ โดยทางรถยนต์ประมาณ 720 กิโลเมตร ตามแนวทางหลวงแผ่นดินสายเหนือ เชียงใหม่เป็นจังหวัดที่มีสภาพอากาศค่อนข้างเย็นเกือบตลอดทั้งปี อยู่ภายใต้อิทธิพลมรสุม 2 ชนิด คือลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งภูมิอากาศออกได้เป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝน (กลางพฤษภาคม - ตุลาคม) ฤดูหนาว (พฤศจิกายน - กลางกุมภาพันธ์) และฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ - กลางพฤษภาคม)

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะภูมิอากาศของกรุงเทพฯ

| CLIMATOLOGICAL DATA FOR THE PERIOD 1981-1998                          |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         | station : BANGKOK METROPOLIS |  |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------------|--|
| Elevation of station above MSL                                        |         |         | 2 Meters |         |         | Latitude: 13 44 N |         |         |         |         |         |         |                              |  |
|                                                                       |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         | Longitude:100 34 E           |  |
|                                                                       | JAN     | FEB     | MAR      | APR     | MAY     | JUN               | JUL     | AUG     | SEP     | OCT     | NOV     | DEC     | ANNUAL                       |  |
| TEMPERATURE ( °C)                                                     |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Averages                                                              |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Daily Maximum                                                         | 31.7    | 32.6    | 33.7     | 34.7    | 34.2    | 33.1              | 32.3    | 31.8    | 31.6    | 31.3    | 31.6    | 31.0    | 32.5                         |  |
| Monthly Mean                                                          | 27.0    | 28.1    | 29.6     | 30.7    | 30.4    | 29.7              | 29.2    | 28.7    | 28.2    | 28.0    | 27.8    | 26.8    | 28.7                         |  |
| Daily Minimum                                                         | 23.1    | 24.5    | 26.5     | 27.6    | 27.4    | 27.0              | 26.7    | 26.3    | 25.7    | 25.3    | 24.3    | 22.9    | 25.6                         |  |
| Dry bulb Standard Deviation                                           | 3.5     | 3.3     | 2.8      | 2.9     | 3.0     | 2.6               | 2.5     | 2.4     | 2.5     | 2.7     | 3.0     | 3.5     | 2.9                          |  |
| Extremes                                                              |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Highest                                                               | 36.0    | 36.6    | 37.4     | 38.2    | 38.1    | 37.1              | 37.1    | 36.0    | 35.0    | 35.7    | 35.3    | 36.3    | 38.2                         |  |
| Lowest                                                                | 14.7    | 16.8    | 20.2     | 22.7    | 22.3    | 23.1              | 23.2    | 22.6    | 23.0    | 19.0    | 18.2    | 15.9    | 14.7                         |  |
| Monthly Dew Point                                                     | 19.8    | 22.1    | 23.3     | 24.3    | 24.5    | 24.0              | 23.6    | 23.7    | 24.0    | 23.5    | 21.5    | 18.6    | 22.7                         |  |
| Dew Point Standard Deviation                                          | 3.6     | 2.9     | 2.3      | 1.6     | 1.2     | 1.3               | 1.2     | 1.1     | 1.0     | 1.7     | 2.6     | 3.1     | 2.0                          |  |
| Monthly Wet bulb Temperature                                          | 22.6    | 23.8    | 25.5     | 26.3    | 26.3    | 25.8              | 25.4    | 25.3    | 25.3    | 24.8    | 23.4    | 21.8    | 24.7                         |  |
| DEGREE DAY BASE 18.3 °C                                               |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Heating                                                               | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0     | 0.0     | 0.0               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0                          |  |
| Cooling                                                               | 269.4   | 283.7   | 347.9    | 370.1   | 373.5   | 341.1             | 335.4   | 319.9   | 296.6   | 299.1   | 282.9   | 262.0   | 3,781.6                      |  |
| RELATIVE HUMIDITY (%)                                                 |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Averages                                                              |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Monthly Mean                                                          | 69.2    | 72.1    | 72.4     | 71.7    | 74.3    | 74.1              | 74.8    | 76.0    | 79.7    | 79.1    | 71.6    | 67.6    | 73.5                         |  |
| Hour 01:00-06:00                                                      | 81.9    | 83.8    | 83.6     | 82.7    | 83.9    | 82.1              | 83.0    | 83.8    | 88.4    | 88.9    | 82.1    | 78.3    | 83.5                         |  |
| Hour 07:00-12:00                                                      | 75.5    | 76.8    | 75.8     | 74.6    | 76.5    | 75.4              | 76.0    | 77.1    | 81.0    | 80.9    | 74.8    | 72.2    | 76.4                         |  |
| Hour 13:00-18:00                                                      | 50.0    | 53.6    | 55.2     | 55.2    | 60.4    | 62.3              | 62.5    | 63.8    | 66.9    | 65.5    | 56.8    | 52.3    | 58.7                         |  |
| Hour 19:00-24:00                                                      | 69.2    | 74.3    | 75.2     | 74.3    | 76.5    | 76.6              | 77.6    | 79.3    | 82.6    | 81.2    | 72.7    | 67.6    | 75.6                         |  |
| WIND                                                                  |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Average Speed (m/s)                                                   | 1.3     | 2.2     | 2.6      | 2.2     | 1.8     | 2.1               | 1.9     | 1.9     | 1.2     | 1.1     | 1.3     | 1.3     | 1.7                          |  |
| Prevailing wind                                                       | NE      | S       | S        | S       | S       | SW                | SW      | SW      | SW      | NE      | NE      | NE      | S, SW                        |  |
| Maximum Speed (m/s)                                                   | 9.3     | 15.9    | 25.7     | 10.3    | 9.3     | 10.3              | 11.8    | 13.9    | 10.3    | 41.1    | 9.3     | 11.3    | 41.1                         |  |
| SKY COVER (0-10)                                                      |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Average Sky Condition                                                 | 5.9     | 6.1     | 6.4      | 6.9     | 7.9     | 8.3               | 8.6     | 8.3     | 8.8     | 8.2     | 6.8     | 5.6     | 7.4                          |  |
| Percentage of Sky cover                                               |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Clear sky (0-3)                                                       | 15      | 10      | 5        | 4       | 1       | 1                 | 1       | 0       | 0       | 1       | 6       | 17      | 5                            |  |
| Partly Cloudy sky (4-7)                                               | 59      | 62      | 65       | 55      | 32      | 21                | 18      | 13      | 14      | 28      | 52      | 61      | 40                           |  |
| Cloudy sky (8-10)                                                     | 26      | 28      | 29       | 41      | 66      | 77                | 81      | 87      | 86      | 72      | 42      | 22      | 55                           |  |
| SUNSHINE DURATION* (hours)                                            |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Average Monthly total                                                 | 250.4   | 247.6   | 263.1    | 252.6   | 207.4   | 170.5             | 151.8   | 136.8   | 133.2   | 177.2   | 200.4   | 239.3   | 2,430.3                      |  |
| Percentage of Sunshine                                                | 67.3    | 71.2    | 70.7     | 70.2    | 55.8    | 47.4              | 40.8    | 36.8    | 37.0    | 47.6    | 55.7    | 64.3    | 55.3                         |  |
| SOLAR RADIATION** (W/m <sup>2</sup> )                                 |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Average Hourly max                                                    | 864.3   | 883.6   | 865.3    | 873.3   | 777.8   | 722.8             | 690.8   | 653.0   | 632.8   | 680.6   | 745.0   | 898.0   | 773.9                        |  |
| Average Hourly mean                                                   | 364.9   | 390.3   | 400.9    | 420.1   | 382.7   | 357.3             | 339.7   | 317.4   | 287.8   | 303.0   | 321.9   | 363.6   | 354.1                        |  |
| Average Daily Total                                                   | 5,473.9 | 5,854.7 | 6,013.3  | 6,301.3 | 5,740.9 | 5,359.9           | 5,095.9 | 4,761.0 | 4,316.3 | 4,544.5 | 4,828.4 | 5,454.5 | 5,312.1                      |  |
| RAINFALL (mm)                                                         |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Average Monthly total                                                 | 5.8     | 16.1    | 28.7     | 74.9    | 221.0   | 154.0             | 176.7   | 250.0   | 397.4   | 305.3   | 64.0    | 3.3     | 1,697.2                      |  |
| Daily record high                                                     | 41.9    | 49.6    | 67.2     | 93.5    | 375.4   | 113.3             | 80.5    | 106.1   | 153.4   | 149.7   | 129.7   | 11.3    | 375.4                        |  |
| Average Number of rainy days<br>(0.1 mm. Or more)                     | 1       | 2       | 2        | 5       | 15      | 16                | 17      | 20      | 22      | 17      | 6       | 1       | 124                          |  |
| EVAPORATION (mm)                                                      |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| Average Monthly total                                                 | 140.9   | 153.2   | 190.8    | 192.3   | 184.4   | 156.1             | 158.9   | 157.5   | 134.8   | 124.2   | 124.6   | 135.9   | 1,853.6                      |  |
| remark: 1 m/s = 3.597 km/h, = 2.237 mph, = 196.85 fpm, = 1.9455 knots |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| (*) data base on 1997 - 1998 recorded period                          |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| 1 W/m2 = 0.317 Btu/h.ft2                                              |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |
| (**) data base on 1986 - 1998 recorded period                         |         |         |          |         |         |                   |         |         |         |         |         |         |                              |  |

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

(\*) data base on 1997 - 1998 recorded period

1 W/m<sup>2</sup> = 0.317 Btu/h.ft<sup>2</sup>

(\*\*) data base on 1986 - 1998 recorded period

ที่มา : ธนิต จินดาพนิก, คมกฤช ชูเกียรติมัน และปริมลภา วสุวัต, “ข้อมูลอากาศประเทศไทย  
สำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน” วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย ฉบับที่ 2, (2548).

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่

CLIMATOLOGICAL DATA FOR THE PERIOD 1981-1998

station : CHIANG MAI

Elevation of station above MSL312 Meters

Latitude: 18 47 N

Longitude: 98 59 E

|                                                   | JAN     | FEB     | MAR     | APR     | MAY     | JUN     | JUL     | AUG     | SEP     | OCT     | NOV   | DEC     | ANNUAL  |
|---------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|
| TEMPERATURE ( °C )                                |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Averages                                          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Daily Maximum                                     | 29.2    | 31.4    | 35.0    | 35.6    | 33.9    | 32.2    | 30.8    | 29.9    | 30.4    | 30.2    | 29.1  | 28.0    | 31.3    |
| Monthly Mean                                      | 21.0    | 23.0    | 27.5    | 29.2    | 28.9    | 28.1    | 27.2    | 26.5    | 26.6    | 25.7    | 23.7  | 21.6    | 25.8    |
| Daily Minimum                                     | 14.4    | 15.4    | 20.1    | 23.3    | 24.7    | 24.8    | 24.4    | 24.1    | 23.7    | 22.4    | 19.4  | 16.5    | 21.1    |
| Dry bulb Standard Deviation                       | 5.4     | 5.9     | 5.5     | 4.9     | 3.9     | 3.1     | 2.8     | 2.6     | 2.7     | 3.3     | 3.9   | 4.7     | 4.1     |
| Extremes                                          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Highest                                           | 33.2    | 37.0    | 39.3    | 41.9    | 40.0    | 39.4    | 36.0    | 35.7    | 35.1    | 37.9    | 33.5  | 33.0    | 41.9    |
| Lowest                                            | 8.7     | 9.6     | 13.9    | 18.8    | 20.9    | 22.1    | 20.0    | 21.9    | 19.6    | 14.1    | 13.1  | 7.8     | 7.8     |
| Monthly Dew Point                                 | 14.1    | 13.3    | 14.7    | 18.3    | 21.6    | 22.5    | 22.5    | 22.8    | 22.7    | 21.5    | 18.8  | 15.2    | 19.0    |
| Dew Point Standard Deviation                      | 2.5     | 3.0     | 3.1     | 2.7     | 1.8     | 1.1     | 1.1     | 1.0     | 1.1     | 1.9     | 2.6   | 2.9     | 2.1     |
| Monthly Wet bulb Temperature                      | 17.0    | 17.5    | 19.5    | 22.0    | 23.8    | 24.1    | 24.0    | 24.0    | 23.9    | 22.9    | 20.6  | 17.5    | 21.4    |
| DEGREE DAY BASE 18.3 °C                           |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Heating                                           | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0   | 0.0     | 0.0     |
| Cooling                                           | 82.8    | 136.3   | 282.7   | 325.2   | 328.1   | 291.7   | 275.1   | 254.7   | 247.0   | 229.4   | 160.4 | 101.2   | 2,714.6 |
| RELATIVE HUMIDITY (%)                             |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Averages                                          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Monthly Mean                                      | 67.3    | 56.7    | 50.1    | 55.5    | 68.4    | 74.6    | 76.8    | 79.4    | 79.7    | 77.5    | 74.7  | 71.9    | 69.4    |
| Hour 01:00-06:00                                  | 83.8    | 72.8    | 63.1    | 67.9    | 80.1    | 84.9    | 86.5    | 88.4    | 89.8    | 88.8    | 88.1  | 86.9    | 81.7    |
| Hour 07:00-12:00                                  | 78.9    | 69.5    | 61.3    | 64.6    | 73.6    | 77.5    | 80.1    | 82.4    | 83.3    | 81.9    | 81.2  | 81.2    | 76.3    |
| Hour 13:00-18:00                                  | 41.4    | 33.3    | 31.7    | 38.2    | 52.4    | 60.3    | 63.1    | 65.9    | 64.4    | 59.7    | 53.6  | 47.2    | 50.9    |
| Hour 19:00-24:00                                  | 65.1    | 51.3    | 44.5    | 51.3    | 67.3    | 75.7    | 77.6    | 80.9    | 81.5    | 79.5    | 76.1  | 72.3    | 68.6    |
| WIND                                              |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Average Speed (m/s)                               | 0.8     | 1.1     | 1.4     | 1.9     | 1.9     | 1.8     | 1.6     | 1.4     | 1.3     | 1.2     | 1.1   | 0.9     | 1.4     |
| Prevailing wind                                   | S       | S       | S       | S       | S, SW   | SW      | SW      | S       | S       | N       | N     | N       | S       |
| Maximum Speed (m/s)                               | 25.2    | 9.3     | 14.4    | 17.5    | 19.0    | 15.4    | 10.3    | 12.9    | 10.8    | 12.9    | 13.4  | 15.4    | 25.2    |
| SKY COVER (0-10)                                  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Average Sky Condition                             | 2       | 1.8     | 2.1     | 3.5     | 5.8     | 7.6     | 8.3     | 8.4     | 7.2     | 5.7     | 4.5   | 2.9     | 5.0     |
| Percentage of Sky cover                           |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Clear sky (0-3)                                   | 78      | 80      | 75      | 57      | 27      | 7       | 4       | 3       | 11      | 28      | 46    | 66      | 40      |
| Partly Cloudy sky (4-7)                           | 17      | 14      | 17      | 28      | 37      | 32      | 22      | 24      | 33      | 37      | 30    | 23      | 26      |
| Cloudy sky (8-10)                                 | 5       | 6       | 8       | 15      | 36      | 61      | 73      | 73      | 56      | 35      | 24    | 11      | 34      |
| SUNSHINE DURATION* (hours)                        |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Average Monthly total                             | 271.9   | 267.0   | 270.4   | 255.6   | 231.7   | 148.2   | 112.3   | 123.4   | 162.9   | 205.5   | 206.3 | 233.0   | 2,488.2 |
| Percentage of Sunshine                            | 73.1    | 76.7    | 72.7    | 71.0    | 62.3    | 41.2    | 30.2    | 33.2    | 45.3    | 55.3    | 57.3  | 62.6    | 56.6    |
| SOLAR RADIATION* (W/m <sup>2</sup> )              |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Average Hourly max                                | 679.5   | 721.8   | 704.6   | 774.7   | 787.8   | 806.2   | 661.9   | 757.2   | 782.0   | 767.2   | -     | 650.0   | 735.7   |
| Average Hourly mean                               | 286.8   | 315.6   | 310.4   | 338.5   | 349.8   | 360.3   | 289.2   | 315.1   | 324.5   | 317.9   | -     | 274.7   | 316.8   |
| Average Daily Total                               | 4,302.1 | 4,733.6 | 4,656.1 | 5,077.0 | 5,247.6 | 5,405.1 | 4,337.3 | 4,726.6 | 4,867.1 | 4,768.3 | -     | 4,120.4 | 4,749.2 |
| RAINFALL (mm)                                     |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Average Monthly total                             | 1.8     | 6.6     | 14.9    | 56.0    | 155.0   | 141.9   | 151.6   | 248.9   | 202.5   | 125.5   | 55.7  | 15.3    | 1,175.7 |
| Daily record high                                 | 14.4    | 33.5    | 118.9   | 176.0   | 81.0    | 92.0    | 105.3   | 105.4   | 93.3    | 93.2    | 86.5  | 63.6    | 176.0   |
| Average Number of rainy days<br>(0.1 mm. Or more) | 0       | 1       | 1       | 6       | 15      | 19      | 19      | 23      | 17      | 11      | 6     | 1       | 119     |
| EVAPORATION (mm)                                  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |         |         |
| Average Monthly total                             | 110.4   | 134.7   | 178.7   | 194.1   | 194.4   | 148.2   | 133.7   | 134.4   | 137.4   | 134.7   | 110.1 | 97.6    | 1,708.4 |

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

(\*) data base on 1997 - 1998 recorded period

1 W/m2 = 0.317 Btu/h.ft2

(-) missing value or no data report

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

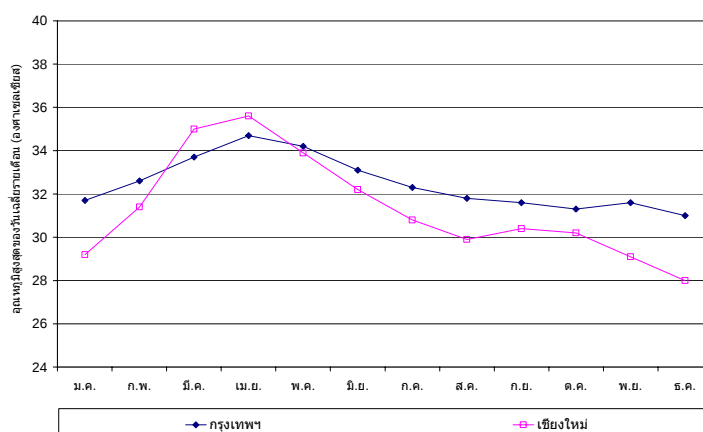
(\*) data base on 1997 - 1998 recorded period

1 W/m<sup>2</sup> = 0.317 Btu/h.ft<sup>2</sup>

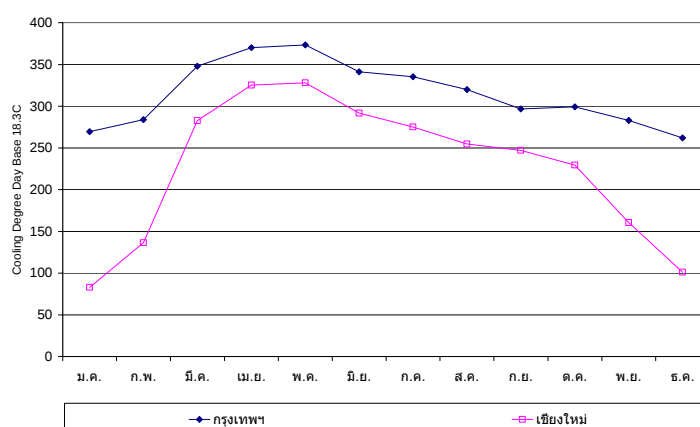
(-) missing value or no data report

ที่มา : ธนิต จินดาวงศ์, คมกฤช ชูเกียรติวัฒน์ และปริมลภา วสุวัต, “ข้อมูลอากาศประเทศไทย  
สำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน” วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย ฉบับที่ 2, (2548).

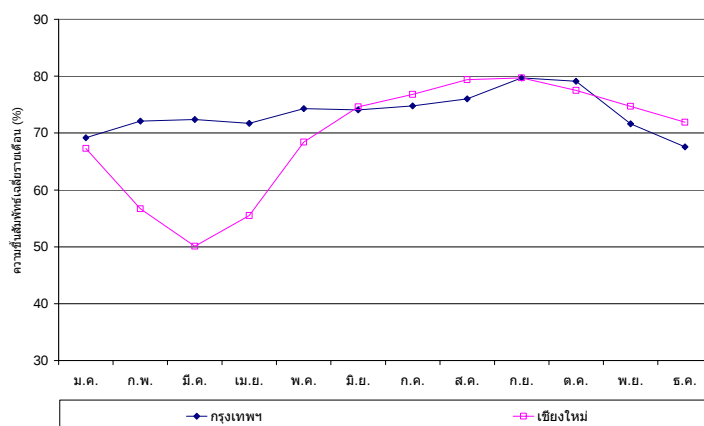
จากตารางที่ 1 และ 2 เห็นได้ว่าข้อมูลอากาศของกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่มีความแตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิสูงสุดของวันเฉลี่ยรายเดือนของจังหวัดเชียงใหม่มีค่าต่ำกว่ากรุงเทพฯ ประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส เป็นจำนวน 10 เดือน (ดูแผนภูมิที่ 2.1) ค่า Cooling Degree Day Base  $18.3^{\circ}\text{C}$  ของจังหวัดเชียงใหม่ มีค่าต่ำกว่าของกรุงเทพฯ ในทุกๆ เดือน และมีค่าต่ำมากในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ (ดูแผนภูมิที่ 2.2) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนในแต่ละเดือนของกรุงเทพฯ มีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 65% – 80% ในขณะที่ของจังหวัดเชียงใหม่มีค่าค่อนข้างแตกต่างกันในแต่ละเดือน อยู่ในช่วงระหว่าง 50% – 80% (ดูแผนภูมิที่ 2.3) ความเข้มของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ต่อวันเฉลี่ยรายเดือน (Average Daily Total Solar Radiation) ของจังหวัดเชียงใหม่มีค่าน้อยกว่าของกรุงเทพฯ ค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในช่วงหน้าหนาวและหน้าร้อน (ดูแผนภูมิที่ 2.4)



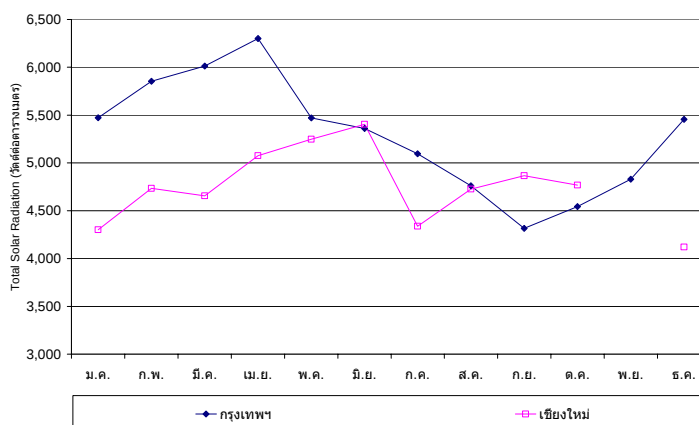
แผนภูมิที่ 1 แสดงอุณหภูมิสูงสุดของวันเฉลี่ยรายเดือน เปรียบเทียบระหว่างกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่



แผนภูมิที่ 2 แสดงค่า Cooling Degree Day Base  $18.3^{\circ}\text{C}$  รายเดือน เปรียบเทียบระหว่างกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่



แผนภูมิที่ 3 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน เปรียบเทียบระหว่างกรุงเทพฯและจังหวัดเชียงใหม่



แผนภูมิที่ 4 แสดงความเข้มของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ต่อวันเฉลี่ยรายเดือน (Average Daily Total Solar Radiation) เปรียบเทียบระหว่างกรุงเทพฯและจังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : ธนิต จินดาวงนิค, คมกฤช ชูเกียรติมั่น และปริมลภา วสุวัต, “ข้อมูลอากาศประเทศไทย สำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน” วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฉบับที่ 2, (2548). (ดัดแปลง)

## 2. ความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร

ความร้อนในอาคารมาจากแหล่งกำเนิด 2 ส่วนหลักคือ ความร้อนจากภายนอกและความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเอง โดยทั่วไปความร้อนรวมในอาคารจะมาจากภายนอกมากกว่า และเป็นความร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์แล้วส่งผ่านเข้าสู่อาคาร<sup>1</sup>

<sup>1</sup> กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, แนวทางการใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แกรนด์เพรสแอนด์แพคกิ้ง จำกัด, 2547).

ที่มาของความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร ประกอบด้วย

2.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในอาคาร (Internal Heat Gain :  $Q_i$ ) เป็นความร้อนที่อาจเกิดได้ทั้งจากคน หรือมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายในอาคาร เช่น ความร้อนจากหลอดไฟฟ้า ตู้เย็น เป็นต้น

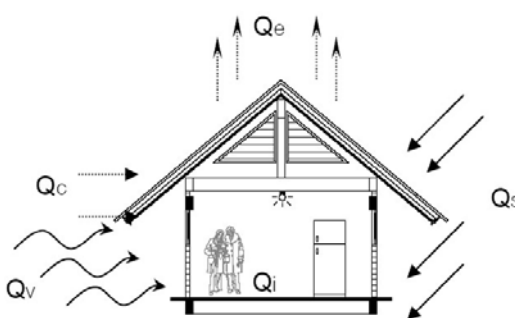
2.2 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคาร (External Heat Gain) เป็นความร้อนที่เกิดจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ดังนี้

**Conduction Heat Gain / Loss ( $Q_c$ )** หมายถึงการนำความร้อน ซึ่งอาจเกิดได้ทั้งการนำความร้อนเข้ามาภายในอาคาร หรือการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกโดยตัวนำความร้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร โดยความร้อนจะถ่ายเทจากที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเสมอ

**Solar Radiation ( $Q_s$ )** หมายถึงการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ในกรณีของประเทศไทยที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจะได้รับผลกระทบจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก

**Ventilation Heat Gain / Loss ( $Q_v$ )** หมายถึงความร้อนที่มาจากการระบายอากาศ มีลักษณะคล้ายกับการนำความร้อน แต่จะมีตัวกลางในการพาความร้อนคืออากาศ ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับทิศทางและความเร็วของกระแสลมด้วย

**Evaporative Heat Loss ( $Q_e$ )** หมายถึงการระเหยหรือความร้อนที่กลายเป็นไอน้ำ และในขณะที่เกิดการระเหยจำเป็นจะต้องใช้พลังงาน (ความร้อน) ในการเปลี่ยนสถานะทำให้สามารถช่วยลดความร้อนในบริเวณนั้นได้



ภาพที่ 1 ภาพแสดงความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคาร

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, แนวทางการใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แกรนด์เพรสแอนด์แพคกิ้ง จำกัด, 2547).

### 3. อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์

หลังคาเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุด การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังชั้นบรรยากาศของโลก บางส่วนจะแพร่กระจายไปยังชั้นบรรยากาศและเหลือบางส่วนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลก พลังงานบางส่วนจะถูกดูดซับ บางส่วนถูกสะท้อน พลังงานดังกล่าวจะเคลื่อนที่ออกไปโดยการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ชนิดของรังสีดวงอาทิตย์ ได้แก่

**รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Radiation)** เป็นรังสีที่ตกกระทบพื้นโลกโดยตรงและไม่เปลี่ยนทิศทาง

**รังสีกระจาย (Diffuse Radiation)** เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อนแสงกับเมฆ ฝุ่น ละออง หรือไอน้ำในอากาศ การกระจายที่เกิดขึ้นจะไม่สม่ำเสมอ แต่จะมีความเข้มข้นสูงในบริเวณรอบดวงอาทิตย์ ปริมาณของรังสีกระจายจะมีค่า 10 – 90% ของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่อาคาร

**รังสีสะท้อน (Reflected Radiation)** เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อนมาจากพื้นดิน หรืออาคารข้างเคียง จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่า Reflectivity ของผิว สี พื้นผิวของวัสดุที่อยู่รอบๆ อาคาร

รังสีดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เมื่อวัสดุเปลือกอาคารถูกแสงแดดก็จะร้อนขึ้น เนื่องจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นกลายเป็นรังสีคลื่นยาวทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นที่ผิววัสดุพร้อมกับการดูดซับรังสีความร้อนของวัสดุ ทำให้ผิวเปลือกอาคารร้อนขึ้น และการที่ผิวร้อนขึ้นนี้เองจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายใน

### 4. คุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว

**ค่าการแผ่รังสี (Emissivity)** คือค่าความสามารถในการแผ่หรือกระจายรังสีความร้อนออกจากผิวหน้าของวัสดุนั้น ซึ่งแสดงเป็นค่าสัดส่วนในการแผ่รังสีจากผิวของวัสดุนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดำ ค่าการแผ่รังสีของวัตถุดำเท่ากับ 1 คือสามารถกระจายความร้อนออกได้ทั้งหมดจากที่รับมา สำหรับพื้นผิวอื่นจะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.05 สำหรับโลหะมันเงา ถึงประมาณ 0.95 สำหรับวัสดุอาคารโดยทั่วไป

**ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity)** คือค่าความสามารถในการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของวัสดุ วัสดุผิวมันและมีสีอ่อนจะสะท้อนรังสีความร้อนและแสงได้ดี สำหรับวัสดุทึบตัน (Opaque) ที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูง จะมีค่าการดูดกลืนรังสีต่ำ

**ค่าการส่งผ่านรังสี (Transmissivity)** คือค่าความสามารถในการส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของวัสดุ เป็นคุณสมบัติของวัสดุโปร่งใส (Transparent) และโปร่งแสง (Translucent) การเลือกใช้วัสดุประเภทนี้จึงต้องระวังเรื่องความร้อนที่จะเข้ามาในตัวอาคาร

**ค่าการดูดกลืนรังสี (Absorptivity)** คือค่าที่บอกถึงความสามารถในการดูดกลืนรังสีความร้อนของผิววัสดุ วัสดุที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่าวัสดุที่มีสีอ่อน

รังสีจะถูกดูดกลืนตามความยาวคลื่นของรังสีบนพื้นผิว วัสดุผิวด้านที่ทาสีขาวจะมีค่าการดูดกลืนรังสีคลื่นสั้นของรังสีดวงอาทิตย์ประมาณ 0.12 แต่มีค่าการดูดกลืนรังสีคลื่นยาวจากพื้นผิวที่อุณหภูมิปกติ ประมาณ 0.95 ดังนั้นพื้นผิวนี้อาจมีค่าการแผ่รังสี 0.95 สำหรับคลื่นยาวซึ่งเป็นตัวแผ่รังสีที่ดี โดยจะสูญเสียความร้อนให้กับพื้นผิวที่เย็นกว่า ในทางตรงกันข้าม โลหะมันเงาจะมีค่าการดูดกลืน และค่าการแผ่รังสีที่ต่ำทั้งคลื่นสั้นและคลื่นยาว ในขณะที่เป็นตัวสะท้อนรังสีที่ดี ก็จะเป็นตัวแผ่รังสีที่ไม่ดีและสูญเสียความร้อนของตัวเองได้น้อย

สีของพื้นผิวจะเป็นสิ่งที่แสดงถึงค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ โดยค่าการดูดกลืนจะลดลงและค่าการสะท้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นผิวมีสีอ่อน แต่สีไม่ได้แสดงพฤติกรรมของพื้นผิวที่เกี่ยวกับการแผ่รังสีคลื่นยาว ดังนั้นสีขาวและสีดำ จะมีความแตกต่างกันอย่างมากในการดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์ พื้นผิวสีดำจะร้อนมากกว่าหากได้รับรังสีดวงอาทิตย์ แต่การแผ่รังสีคลื่นยาวของสีทั้งสองจะเท่ากัน<sup>2</sup>

รังสีความร้อนเป็นรังสีในรูปคลื่นยาว และมีพลังงานต่ำ เมื่อตกกระทบวัตถุใดๆจะสะท้อน ส่งผ่าน และถูกดูดซึมไว้ในวัสดุนั้นๆ วัสดุแต่ละประเภทมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีส่งผ่านรังสี และดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้<sup>3</sup>

1. ทิศทางของการแผ่รังสี การแผ่รังสีจะมีค่าสูงที่ทิศตั้งฉากกับวัสดุความยาวคลื่นของการแผ่รังสี
2. อุณหภูมิของพื้นผิว การแผ่รังสีของโลหะจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนการแผ่รังสีของอโลหะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

<sup>2</sup> จุไรพร ตุมพสุวรรณ, “พฤติกรรมถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540).

<sup>3</sup> โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล, “การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น : กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539).

3. ลักษณะพื้นผิว หากพื้นผิวขรุขระไม่สม่ำเสมอมีผิวเหมือนโพรงจะทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง เป็นผลให้การดูดกลืนรังสีมีค่าสูงขึ้น

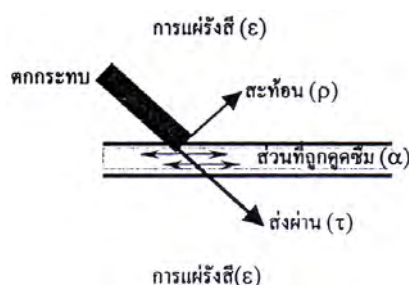
4. การเจือปนพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป

วัสดุต่างๆจะมีค่าการดูดกลืนรังสี (Absorptivity) และค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) แตกต่างกันตามลักษณะผิวของวัสดุ ลักษณะของพื้นผิวจะมีอิทธิพลสูงต่อการแผ่รังสีและการดูดกลืนรังสีของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการดูดกลืนรังสีสูง จะมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ ค่าการแผ่รังสีจะบอกถึงความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัสดุนั้นๆ

ผลรวมของการสะท้อนรังสี การดูดกลืนรังสี และการส่งผ่านรังสีจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ตกกระทบลงมา (สำหรับวัสดุทึบตัน ค่าการส่งผ่านรังสีจะเท่ากับ 0) ผลรวมของค่าทั้งสาม (ภาพที่ 2) รังสีเมื่อถูกดูดกลืนในวัสดุจะเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน ความร้อนนี้อาจจะถูกนำไป หรือแผ่รังสีออกมาในรูปรังสีคลื่นยาวจากวัสดุนั้น<sup>4</sup>

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

เมื่อ  $\rho$  คือ การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว  
 $\alpha$  คือ การดูดกลืนรังสีโดยพื้นผิว  
 $\tau$  คือ การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ



ภาพที่ 2 แสดงการสะท้อนรังสี การดูดกลืนรังสี การส่งผ่านรังสี ของวัสดุ

ที่มา : Watson, D. and Labs, K. Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices, (1983), 50.

<sup>4</sup> ไซตวิทย์ พงษ์เสริมผล, “การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น : กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539).

## 5. คุณสมบัติที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ

### 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity)

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน คือค่าที่บอกความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุชนิดใดชนิดหนึ่ง โดยวัดค่าในรูปของอัตราปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุต่อหน่วยเวลาจากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่าน

### 5.2 ค่าความนำความร้อน

ค่าความนำความร้อนของวัสดุใดๆ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C = k / \Delta x$$

เมื่อ C คือ ค่าความนำความร้อน ( $\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ (m.)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ ( $\text{W/m}\text{-}^{\circ}\text{C}$ )

5.3 ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance – R-Value) คือค่าที่แสดงประสิทธิภาพความเป็นฉนวนของวัสดุนั้นๆ ถ้าค่า R มาก แสดงถึงความเป็นฉนวนที่ดี สามารถต้านทานความร้อนที่จะถ่ายเทผ่านวัสดุได้มาก ค่านี้จะเป็นส่วนกลับของค่าความนำความร้อน สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อน ( $\text{m}^2\text{-}^{\circ}\text{C/W}$ )

C คือ ค่าความนำความร้อน ( $\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ (m.)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ ( $\text{W/m}\text{-}^{\circ}\text{C}$ )

5.4 ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) เป็นปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการทำให้วัสดุหนัก 1 หน่วย มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ค่าความจุความร้อนจำเพาะทำให้สามารถคำนวณหาความจุความร้อน (Heat Capacity) ของวัสดุต่างๆ ดังสมการต่อไปนี้

$$C = pc \quad \text{โดยที่} \quad p = m / v$$

เมื่อ C คือ ค่าความจุความร้อนของวัสดุ ( $\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ )

p คือ ความหนาแน่นของวัสดุ ( $\text{kg/m}^3$ )

c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ ( $\text{kJ/kg}\text{-}^{\circ}\text{C}$ )

m คือ มวลของวัสดุ (kg)

v คือ ปริมาตรของวัสดุ ( $m^3$ )

ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ยังสามารถใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิ มีสมการดังต่อไปนี้

$$Q = mc \Delta T$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน

m คือ มวลสารของวัสดุ (kg)

c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ ( $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )

$\Delta T$  คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต้องการ ( $^\circ\text{C}$ )

5.4 การหน่วงเวลาหรือการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) โดยปกติแล้ววัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย แต่ในสภาพการใช้งานจริง การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ คือ ปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ก่อนที่จะถ่ายเทเข้าไปในอาคารต่อไป

## 6. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคา<sup>5</sup>

เมื่อหลังคาได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะมีการส่งผ่านความร้อนแล้วสะสมไว้ในตัววัสดุหลังคา โดยการนำความร้อนผ่านมวลสารของวัสดุหลังคาและการพาความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับมวลสารความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ตลอดจนคุณสมบัติในด้านต่างๆ ของวัสดุ เช่น ความสามารถในการดูดกลืนความร้อน การสะท้อนความร้อน เป็นต้น คุณสมบัติดังกล่าวมีผลต่อภาวะการปรับอากาศของอาคาร ทำให้สามารถช่วยเพิ่มหรือลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศของอาคารได้

ในช่วงกลางวัน หลังคาจะเป็นส่วนที่ได้รับแสงแดดมากที่สุดเกือบตลอดทั้งวัน วัสดุผนังหลังคาจะดูดกลืนรังสีความร้อนที่มากับแสงอาทิตย์ จึงทำให้อุณหภูมิของวัสดุผนังหลังคามีค่าสูงขึ้น

---

<sup>5</sup> สราวุธ จิตต์เจริญ, “แนวทางการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของหลังคาอาคารในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น.” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548).

ความร้อนที่สะสมในวัสดุผนังหลังคาจะถูกถ่ายเทไปยังช่องว่างอากาศใต้หลังคา เมื่อช่องอากาศใต้หลังคามีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะถ่ายเทความร้อนไปสู่ฝ้าเพดานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และเมื่อฝ้าเพดานมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในห้อง ก็จะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนให้กับห้อง ส่งผลให้ห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ในช่วงกลางคืน จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า (Night Sky Radiation) ทำให้อุณหภูมิของวัสดุผนังหลังคาภายนอกอาคารเย็นลงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกในส่วนช่องว่างใต้หลังคาที่มีอุณหภูมิสูงกว่าก็จะสูญเสียความร้อนให้กับผิววัสดุผนังหลังคาภายนอก ทำให้ช่องอากาศมีอุณหภูมิลดลง

## 7. ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อน คือ วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งได้ ฉนวนกันความร้อนที่ใช้อยู่ทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ฉนวนแบบมีมวลและฉนวนแบบสะท้อนความร้อน

**ฉนวนกันความร้อนแบบมีมวล (Mass Insulation)** หมายถึง วัสดุที่ใช้ป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ โดยอาศัยความเป็นฉนวนของวัสดุที่มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนที่สูงของตัววัสดุเอง วัสดุส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย มีโพรง หรือช่องกลาง เช่น ฉนวนใยแก้ว (Fiber Glass) ฉนวนใยหิน (Rock Fiber) ฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose Fiber) โฟมโพลีสไตรีน (Polystyrene Foam/PS) โฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane Foam/PU) และโฟมโพลีเอทิลีน (Polyethylene Foam/PE)

**ฉนวนแบบสะท้อนความร้อน (Reflective Sheet)** หมายถึง วัสดุที่ใช้ป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ โดยอาศัยคุณสมบัติการสะท้อนรังสีความร้อนของวัสดุเพื่อที่จะลดค่าพลังงานความร้อนไม่ให้ถูกดูดซับและทะลุผ่านเข้าไปในวัสดุ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางหรือมีผิวที่มีการสะท้อนสูง เช่น แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium Foil) เซรามิคโค้ทติ้ง (Ceramic Coating) เป็นต้น

ข้อควรพิจารณาในการเลือกใช้ฉนวน<sup>6</sup> มีดังนี้

1. ความสามารถในการกันความร้อน (Thermal Conductivity)
2. ลักษณะทางกายภาพ (Physical Forms) เช่น เป็นม้วน, แผ่น, ฝอย ฯลฯ

---

<sup>6</sup> สุนทร บุญญธการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า (กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542)

3. ความหนาแน่นและน้ำหนัก (Bulk Density)
4. ช่วงอุณหภูมิของการใช้งาน (Suitability for Service Temperature)
5. การยืดหดตัวเมื่อได้รับความร้อน (Thermal Expansions)
6. ความปลอดภัยต่อสุขภาพ (Health Hazards)
7. การทนต่อแรงอัด (Resistance to Compact)
8. ความแข็งแรงทนทาน (Mechanical Strength)
9. อันตรายจากเพลิงไหม้ (Fire & Explosion Hazards)
10. การทนต่อแมลงและเชื้อรา (Resistance to Vermin & Fungus)
11. ความจุความร้อน (Optimum Heat Capacity)
12. การปลอดจากสารเคมีและกลิ่น (Freedom from Objectionable Odour)
13. การเสื่อมสภาพ (Corrosion)
14. ความทนทานต่อสารเคมี (Chemical Resistance)
15. การกันน้ำและความชื้น (Resistance to Water Penetration)

#### 7.1 ไยแก้ว (Fiber Glass)

ใยแก้วเป็นฉนวนที่ผลิตจากการหลอมแก้วแล้วปั่นออกมาเป็นเส้นใยสีขาว จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนเซลล์ปิดใยแก้วมีความหนาแน่นต่างกันตั้งแต่  $10 \text{ kg/m}^3$  ไปถึงมากกว่า  $64 \text{ kg/m}^3$  โดยทั่วไปจะใช้ที่ความหนาแน่น  $16 \text{ kg/m}^3$  อาจผลิตในรูปแบบแผ่นแข็ง แบบม้วน หรือขึ้นเป็นรูปทรงต่างๆ กัน ตัวเส้นใยจะถูกเคลือบไว้ด้วยตัวประสาน (Binder) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเส้นใย โดยมากจะเป็นฟีนอลฟอर्मัลดีไฮน์ ซึ่งจะติดไฟได้ ฉนวนใยแก้วมีข้อดีคือ มีค่าความต้านทานความร้อนสูง หาซื้อได้ง่าย ติดตั้งง่ายแต่ความต้านทานความร้อนของใยแก้วจะลดลงเมื่อได้รับความชื้น จึงต้องมีวัสดุห่อหุ้ม เช่น อลูมิเนียมฟอยล์ หรือ ฟิล์มพลาสติก ซึ่งต้องพิจารณาเรื่องการติดไฟของวัสดุที่นำมาหุ้มด้วย การติดตั้งฉนวนใยแก้ว ส่วนมากจะวางบนฝ้าเพดาน หากมีการใช้ดวงโคมแบบฝังในฝ้าเพดาน ต้องระวังเรื่องความร้อนจากหลอดไฟ ซึ่งจะทำให้ฉนวนใยแก้วเกิดความเสียหายได้

#### 7.2 ฉนวนโฟม (Foam)

ฉนวนโฟมมีด้วยกันหลายชนิด ขึ้นอยู่กับสารประกอบทางเคมีที่นำมาใช้ รูปแบบที่นำมาใช้มีทั้งแบบพ่นและแบบสำเร็จรูป ใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร น้ำหนักเบาไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับโครงสร้าง และไม่เปราะแตกหักหรือเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถป้องกันความร้อนได้ดี มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง โดยเฉพาะแบบฉีดพ่นเพราะจะใช้กับส่วนใดของอาคารก็ได้ และประหยัดเวลาในการติดตั้ง โดยชนิดของฉนวนโฟมที่นิยมใช้กันมากมีดังนี้

### ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม (Polystyrene, PS – Foam)

จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนแบบกึ่งเซลล์ปิด มี 2 ลักษณะ คือ

1. ฉนวนโพลีสไตรีนแบบอัดรีด (Extruded Polystyrene) ผลิตโดยขบวนการอัดรีด ทำให้มีเซลล์ที่ละเอียดซึ่งมีอากาศผสมกับก๊าซฟลูออโรคาร์บอน (ปัจจุบันมีการใช้ก๊าซประเภทอื่นเพื่อหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์เรือนกระจก) อยู่ภายในทำให้มีสภาพในการนำความร้อนที่ต่ำกว่าโพลีสไตรีนแบบหล่อก มีโครงสร้างและรูปร่างที่แข็งแรงคงที่มากกว่า ทำให้สามารถทนต่อแรงกดทับและต้านทานไอน้ำได้ดี แต่ข้อเสียคือ ติดไฟได้ และหากสัมผัสกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ในบรรยากาศจะมีการเสื่อมสภาพได้จึงควรมีวัสดุปิดผิวในการใช้งาน มีราคาค่อนข้างสูง

2. ฉนวนโพลีสไตรีนแบบหล่อกหรือขยายตัว (Molded or Expanded Polystyrene) เป็นสไตรีนโพลีเมอร์เช่นกัน แต่ผลิตโดยขบวนการหล่อกหรือขยายตัว ผลก็คือเซลล์จะหยาบกว่าและมีอากาศบรรจุอยู่ภายใน เมื่อเทียบกับแบบอัดรีดแล้วจะมีสภาพการนำความร้อนสูงกว่า ความหนาแน่นต่ำกว่า ด้านทานไอน้ำได้พอใช้ ติดไฟและก่อให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แต่มีราคาถูกกว่า มีการเสื่อมสภาพจากการสัมผัสรังสี UV ในบรรยากาศได้เช่นกัน จึงควรเลือกใช้ในโครงสร้างที่ปิดหรือมีแผ่นปิดผิว

### ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม (Polyurethane, PU – Foam)

ฉนวนโพลียูรีเทนโฟมเป็นพลาสติกโพลิเมอร์ประเภทหนึ่ง พ่นให้เกิดเป็นโฟมมีลักษณะแข็ง จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนแบบกึ่งเซลล์ปิด เซลล์ภายในจะบรรจุด้วยก๊าซฟลูออโรคาร์บอน ซึ่งเป็นก๊าซที่มีค่าการนำความร้อน ต่ำกว่าอากาศ ทำให้ฉนวนประเภทนี้มีสภาพการนำความร้อนต่ำ อย่างไรก็ตาม การนำความร้อนของฉนวนประเภทนี้จะเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งาน เนื่องมาจากการแพร่กระจายของอากาศเข้าไปในเซลล์ โดยเฉพาะกรณีที่สัมผัสกับรังสี UV จะทำให้สีของฉนวนเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเสื่อมสภาพลง โดยเฉพาะโฟมที่ไม่ได้ปิดผิว การดูดซับน้ำจะมีบ้าง เนื่องจากไม่ใช่เซลล์ปิดทั้งหมด และในกรณีเกิดเพลิงไหม้แม้ว่าจะมีการผสมสารป้องกันการติดไฟแล้ว แต่ก็ยังก่อให้เกิดก๊าซ ซึ่งเป็นอันตราย เนื้อฉนวนมีการขยายและหดตัวจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หากใช้โครงสร้างปิด เช่น มีวัสดุปิดผิวที่แข็งแรงพอ ก็จะเป็นฉนวนที่ดีมาก

### ฉนวนโพลีเอทิลีนโฟม (Polyethylene, PE – Foam)

ฉนวนโพลีเอทิลีนโฟมเป็นฉนวนแบบแผ่น มีฟองละเอียดของก๊าซอยู่ด้านใน จัดอยู่ในกลุ่มของฉนวนแบบเซลล์ปิด มีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 30 – 50 kg/m<sup>3</sup> มีลักษณะอ่อนนุ่มจึงไม่ควรใช้กับงานที่มีการกดทับ ไม่ค่อยดูดซับน้ำ แต่มีการเสื่อมสภาพจากรังสี UV จึงควรมีวัสดุปิดผิว ข้อดีของฉนวนชนิดนี้คือ ค่าการนำความร้อนต่ำ เบา ติดตั้งง่าย อาจใช้ติดที่วัสดุผนังหลังคาด้านใน หรือวางบนฝ้าเพดานก็ได้

### 7.3 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium Foil)

แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เป็นชนิดหนึ่งของฉนวนประเภทสะท้อนความร้อน และเป็นที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน การใช้งานทั่วไปจะติดตั้งใต้แผ่นหลังคา อาศัยความหนาของช่องอากาศระหว่างแผ่นหลังคาและแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เป็นตัวลดสภาพการนำความร้อน และความมันวาวของอลูมิเนียมฟอยล์เป็นตัวลดการแผ่รังสีความร้อน ทำให้มีความร้อนผ่านเข้าสู่อาคารได้น้อยลง อลูมิเนียมฟอยล์เป็นวัสดุที่มีการใช้งานมานาน แต่โดยมากจะใช้ร่วมกับวัสดุฉนวนอื่นๆ เช่น โยแกว หรืออิพซัมบอร์ด แต่ในปัจจุบันมีผู้ผลิตให้สามารถนำมาใช้เดี่ยวได้ โดยเพิ่มชั้นความหนาและส่วนประกอบอื่นๆเข้าไปให้มีความเหนียวมากยิ่งขึ้น เพื่อป้องกันการฉีกขาดได้ง่าย การใช้งานให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นจะต้องไม่ลืมนึกถึงคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุชนิดนี้ นั่นก็คือ การสะท้อนรังสีความร้อน ซึ่งจะสามารถทำได้นั้นวัสดุจะต้องมันวาวและเรียบ หากปล่อยให้ฝุ่นละอองมาจับที่ผิววัสดุ หรือการติดตั้งที่ไม่ได้มาตรฐานทำให้เกิดการฉีกขาด ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการสะท้อนความร้อนนั้นหมดไป

## 8. ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

ค่าในการวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศนั้นมีอยู่หลายค่า ค่าที่ใช้ในทางเทอร์โมไดนามิกส์นั้นจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ในการแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

$$\text{COP} = \frac{\text{Cooling Load}}{\text{Power Input}}$$

โดยที่ค่า Cooling Load และ Power Input เป็นค่าที่มาจากหน่วยเดียวกัน

ในการกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศตามท้องตลาดนั้น จะใช้ค่าดังต่อไปนี้

ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER)

$$\text{EER} = \frac{\text{Cooling Load (Btu/hr)}}{\text{Power Input (W)}}$$

ค่า EER มักใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กถึงกลาง ได้แก่แบบหน้าต่าง แยกส่วน หรือแบบสำเร็จครบชุดในตัว และส่วนมากค่าพลังงานที่แทนในสูตรของ EER มักจะเป็นพลังงานรวมทั้งหมด (คอมเพรสเซอร์และพัดลมทุกตัว)

ตารางที่ 3 แสดงค่า EER ของเครื่องปรับอากาศ

| เบอร์ | ค่า EER     | ความหมาย |
|-------|-------------|----------|
| 5     | 10.6 ขึ้นไป | ดีมาก    |
| 4     | 9.6 – 10.6  | ดี       |
| 3     | 8.6 – 9.6   | ปานกลาง  |
| 2     | 7.6 – 8.9   | พอใช้    |
| 1     | ต่ำกว่า 7.6 | ต่ำ      |

ความสัมพันธ์ของค่า EER และ COP สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{COP} = \text{EER} / 3.412$$

## 9. สภาวะน่าสบาย

สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) หมายถึงการที่สภาวะทางจิตใจแสดงความพึงพอใจในสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่<sup>7</sup> ซึ่งเป็นการแสดงออกทางความรู้สึกนึกคิดจากกระบวนการรับรู้ที่ได้รับอิทธิพลจากประสบการณ์ทางสภาพร่างกายและสภาพทางจิตใจ

ในสภาพปกติร่างกายมนุษย์มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส การเผาผลาญอาหารที่รับประทานเข้าไปทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในร่างกายและเป็นกระบวนการสร้างพลังงานให้ร่างกาย การที่มนุษย์รู้สึกหนาวเย็นก็เนื่องจากการถ่ายเทพลังงานจากร่างกายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก การถ่ายเทความร้อนระหว่างมนุษย์และสิ่งแวดล้อมแบ่งได้เป็น 5 ประเภทดังนี้

1. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ร่างกายถ่ายเทความร้อนออกทางผิวหนัง
2. การพาความร้อน (Convection) ร่างกายถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยลมเย็นที่พัดมาถูกร่างกายเป็นตัวกลาง
3. การระเหย (Evaporation) ร่างกายถ่ายเทความร้อนออกทางผิวหนังในรูปของเหงื่อ

<sup>7</sup> กิจชัย จิตขจรวานิช, สภาวะสบายและการปรับตัวเพื่ออยู่แบบสบายของคนในท้องถิ่น (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547).

4. การหายใจ (Respiration) ร่างกายถ่ายเทความร้อนออกทางการหายใจ
5. การนำความร้อน (Conduction) ร่างกายถ่ายเทความร้อนผ่านสิ่งที่สัมผัสกับร่างกายโดยตรง ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนที่มีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายมีดังนี้

ปัจจัยทางด้านสภาพอากาศ

1. อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)

อุณหภูมิอากาศจะแปรเปลี่ยนตามสภาพอากาศและการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

2. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนของจำนวนไอน้ำในอากาศกับจำนวนไอน้ำสูงสุดที่อากาศในอุณหภูมินั้นสามารถอุ้มอยู่ได้ ความชื้นสัมพัทธ์ 0% หมายถึงอากาศที่แห้งสนิท ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ 100% หมายถึง ณ อุณหภูมินั้นอากาศไม่สามารถอุ้มน้ำได้อีกต่อไป จึงกลั่นตัวเป็นฝน หมอก หรือน้ำค้าง ในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงและอุณหภูมิสูงด้วยจะทำให้ร่างกายรู้สึกไม่สบายและเหนียวตัว

3. อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อมและมุมกระทำระหว่างมนุษย์กับพื้นผิวนั้นๆ

4. ความเร็วลม (Air Velocity)

ความเร็วลมที่มาปะทะกับร่างกายจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกาย จึงรู้สึกเหมือนอุณหภูมิลดลง

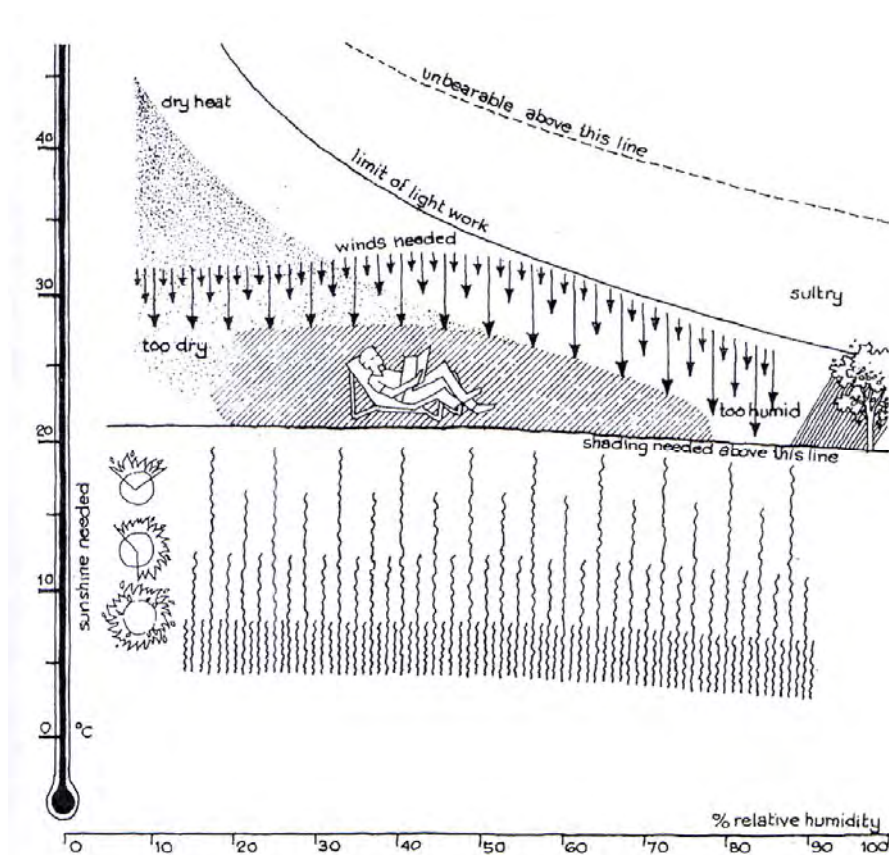
ปัจจัยทางด้านร่างกาย

5. เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-Value)

เสื้อผ้าที่สวมใส่ถือเป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อน Clo-Value คือค่าที่บอกความสามารถในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างร่างกายกับสภาพแวดล้อมผ่านเสื้อผ้าที่สวมใส่อยู่

6. อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism Rate)

อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกายจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกิจกรรมของมนุษย์



ภาพที่ 3 แสดง Bioclimatic Chart

ที่มา : Olgyay, V, Design with Climate (New Jersey : Princeton University Press, 1963).

ปัจจัยทั้งหกเมื่อนำมากำหนดขอบเขตของสภาวะน่าสบาย โดยแสดงเป็นแผนภูมิที่เรียกว่า Bioclimatic Chart (Olgyay 1963) ซึ่งได้แสดงเป็นสัญลักษณ์รูปภาพของคนนั่งในที่ร่ม ในขอบเขตของสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) อยู่ในอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 21-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 30 - 65 ไม่มีลมพัดผ่าน และไม่ได้รับรังสีความร้อนใดๆ ระดับของกิจกรรมที่ทำเท่ากับ 1.2 Met-Value และค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่เท่ากับ 1.0 Clo-Value<sup>8</sup>(ภาพที่ 3)

อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น อายุ เพศ ประเภทของอาหารที่รับประทาน ความคุ้นเคยต่อสภาพอากาศ รวมถึงสีระของแต่ละคน เหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย

<sup>8</sup> กิจชัย จิตขจรวานิช, สภาวะสบายและการปรับตัวเพื่ออยู่แบบสบายของคนในท้องถิ่น (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547)

จึงไม่อาจกำหนดขอบเขตของสภาวะน่าสบายที่แน่นอนได้ การกำหนดขอบเขตใดๆจึงเป็นเพียงสมมติฐานในสภาพแวดล้อมหนึ่งๆเท่านั้น<sup>9</sup>

### ค่าดัชนีสภาวะอากาศ

ค่าดัชนีสภาวะอากาศเป็นตัวเลขที่ใช้ประเมินความรู้สึกต่อสภาวะอากาศในสภาพแวดล้อมใดๆ โดยดูพื้นฐานของบุคคล สภาพแวดล้อมที่อาศัย และสรีระที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย เป็นอีกวิธีที่ใช้ศึกษาขอบเขตของสภาวะน่าสบาย การประเมินหาค่าคำตอบความรู้สึกในสภาพอากาศจะใช้แบบสอบถามเป็นวิธีศึกษา ส่วนคำตอบเป็นแบบตัวเลือกโดยใช้ระบบตัวเลขทั่วไปนิยมใช้แบบที่มี 7 ตัวเลือก

ดัชนีสภาวะอากาศที่สำคัญคือ PMV (Predicted Mean Vote) และ PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)<sup>10</sup> ค่า PMV คือค่าสมมติทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาจากการเฉลี่ยค่าคำตอบความรู้สึกต่อสภาพอากาศ ส่วนค่า PPD คือค่าเชิงปริมาณเป็นอัตราร้อยละของจำนวนคนในกลุ่มที่รู้สึกไม่สบายในสภาพอากาศ และคนกลุ่มนี้มีแนวโน้มว่าจะไม่พอใจในสภาพแวดล้อมนั้นๆ

ค่า PMV และ PPD เป็นตัวบ่งชี้สภาวะอากาศในสภาพแวดล้อมและมีประโยชน์ในการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายได้ ค่า PMV มีค่าอยู่ระหว่าง -3 ถึง +3 โดยความหมายของแต่ละค่าดัชนีดูตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวเลือกความรู้สึกในสภาพอากาศ แบบ 7 ตัวเลือก

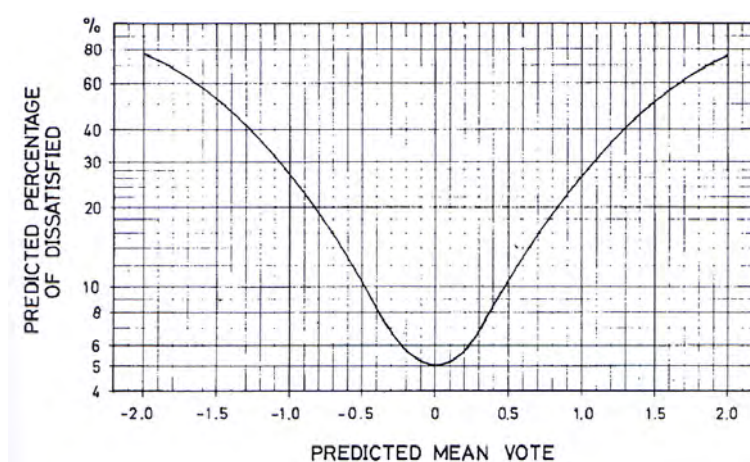
| Sensation | Description   |
|-----------|---------------|
| 3         | hot           |
| 2         | warm          |
| 1         | slightly warm |
| 0         | neutral       |
| -1        | slightly cool |
| -2        | cool          |
| -3        | cold          |

ที่มา : EnergyPlus Manual Documentation Version 2.2, "Occupant Thermal Comfort", Engineer Reference, (2008)

<sup>9</sup> Olgyay, V, Design with Climate (New Jersey : Princeton University Press, 1963).

<sup>10</sup> Fanger, P O, Thermal Comfort (Copenhagen : Danish Technical Press, 1970).

การกำหนดขอบเขตของสภาวะสบายด้วยดัชนี PMV และ PPD มิได้ระบุถึงอุณหภูมิที่แน่นอนไว้ เพราะอุณหภูมิในช่วงสภาวะสบายอาจจะมีช่วงกว้างเท่าไรก็ได้ แต่จะต้องมีจำนวนผู้ที่รู้สึกไม่สบายในสภาพอากาศน้อย ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV และค่า PPD ได้มีการกำหนดไว้ว่า ที่ค่า  $PMV = 0$  ซึ่งหมายถึงรู้สึกสบาย ค่า  $PPD = 5\%$  (รูปภาพที่ 4) แสดงให้เห็นว่า การแสดงความไม่พอใจในสภาพแวดล้อมเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การสร้างสภาวะน่าสบายจึงควรมีจุดมุ่งหมายให้เกิดความไม่พอใจน้อยที่สุด



ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี PMV และค่าดัชนี PPD

ที่มา : Fanger, P O, Thermal Comfort (Copenhagen : Danish Technical Press, 1970).

มาตรฐาน ASHRAE กำหนดให้ในสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้นั้น ควรมีบุคคลที่พึงพอใจกับสภาพอากาศอย่างน้อย 80% โดยค่า PPD จะเท่ากับ 20%<sup>11</sup> ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปภาพที่ 4 ค่าดังกล่าวจะสอดคล้องกับค่า PMV ที่มีค่าอยู่ระหว่าง -0.5 – 0.5

ในมาตรฐานสากล ISO 7730 1994 แนะนำว่าสภาวะน่าสบายในฤดูหนาว ควรเป็นสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิ 20 -24 องศาเซลเซียส ส่วนในฤดูร้อนมีอุณหภูมิ 23 – 26 องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ของทั้งสองฤดูอยู่ที่ร้อยละ 30 – 70 สำหรับขอบเขตสภาวะน่าสบายในมาตรฐาน ASHRAE ได้กำหนดไว้ว่า บุคคลที่นั่งทำงาน (1.2 met-value) ควรมีสภาวะน่าสบายอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ 20 – 23.5 องศาเซลเซียสในฤดูหนาว (ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า คือ 0.8 – 1.2 clo-value) และมีอุณหภูมิ 22.5 – 26 องศาเซลเซียสในฤดูร้อน (ค่าความเป็นฉนวน

<sup>11</sup> S.A. Mumma, "Comfort With DOAS Radiant Cooling System", ASHRAE IAQ Applications, (2004).

ของเสื้อผ้า คือ 0.35 – 0.6 clo-value) โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 60 ทั้งนี้ ขอบเขตของสภาวะน่าสบาย อาจไม่สามารถกำหนดได้อย่างแน่นอนและสภาวะน่าสบายยังมีความแตกต่างกันระหว่างบุคคลอีกด้วย<sup>12</sup>

## 10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

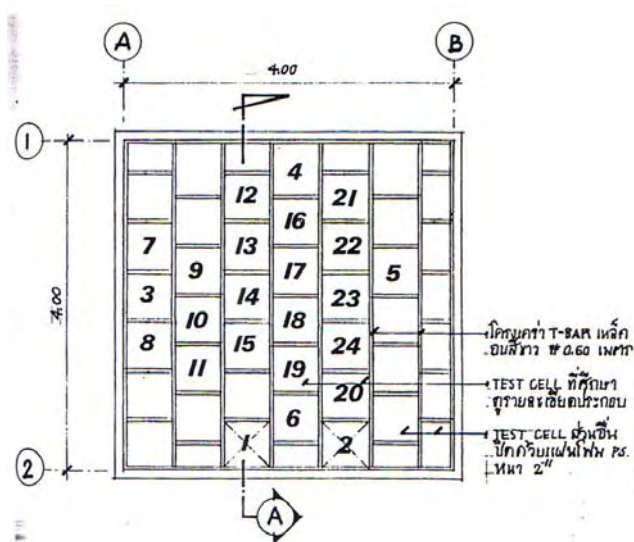
10.1 การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย<sup>13</sup>

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงหลังคาภายในอาคารจากการเลือกตัวอย่างศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยหาวิธีการป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางหลังคาในการลดภาระการทำความเย็นให้แก่อาคาร งานวิจัยชิ้นนี้ ศึกษาการใช้ฉนวนกันความร้อน 3 ประเภทหลักคือ ฉนวนใยแก้ว ความหนา 2, 4, 6 และ 8 นิ้ว, ฉนวนใยหิน หนา 1, 2, 4, 6, และ 8 นิ้ว และฉนวนเส้นใยเซลลูโลส หนา 1 นิ้ว โดยวางฉนวนแต่ละประเภทบนฝ้าเพดานแผ่นยิปซัมบอร์ดขนาด 0.60 x 0.60 เมตร (รูปภาพที่ 2.5) ของอาคารจำลองขนาด 4.00 x 4.00 เมตร หลังคากระเบื้องซีเมนต์ สีอิฐอำไพ เก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิระหว่างวันที่ 11 เมษายน 2540 เวลา 6.00 น. ถึงวันที่ 13 เมษายน 2540 เวลา 18.00 น. ทั้งในระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

ช่วงเวลาที่เปิดเครื่องปรับอากาศคือ เฉพาะวันทำงาน ตั้งแต่เวลา 8:00 – 17:00 น. ในการหาค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ จะใช้สูตรคำนวณ โดยใช้มาตรฐานความสามารถของเครื่องปรับอากาศที่ 1.4 กิโลวัตต์ต่อตัน แล้วนำค่าที่ได้มาคิดค่าไฟฟ้า

<sup>12</sup> Fanger, P O, Thermal Comfort (Copenhagen : Danish Technical Press, 1970).

<sup>13</sup> โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล, “การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น : กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539).



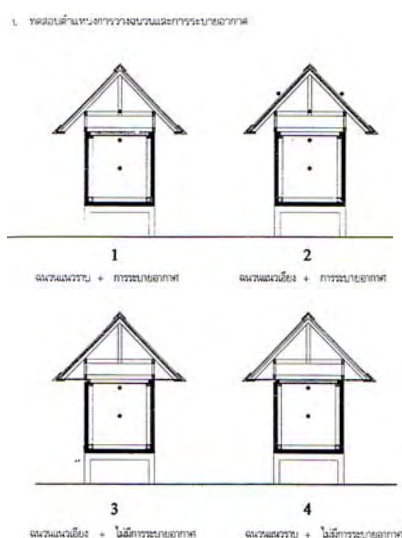
ภาพที่ 5 แสดงผังผ้าเพดานของอาคารจำลอง ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ

ผลการทดลองระบุว่า อุณหภูมิผิวใต้ผ้าเพดานของผ้าที่ใช้ฉนวนกันความร้อนมีค่าต่ำกว่า ผ้าเพดานที่ไม่ใช้ฉนวนกันความร้อนทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ววางบนผ้าเพดานจะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 26.1 เมื่อเทียบกับการไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน ในการปรับปรุงหลังจากการทดสอบและคำนวณการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแก่อาคารจำลอง เรียงจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ ฉนวนใยหินหนา 1 นิ้ว, ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว, ฉนวนใยเซลลูโลสชนิดอัดกาวหนา 1 นิ้ว, ฉนวนใยหินหนา 2 นิ้ว, ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว, ฉนวนใยหินหนา 4 นิ้ว, ฉนวนใยแก้วหนา 4 นิ้ว, ฉนวนใยหินหนา 6 นิ้ว, ฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว, ฉนวนใยหินกับฉนวนใยแก้วหนา 8 นิ้ว โดยอัตราส่วนที่ลดลงคือ ร้อยละ 21.3, 21.5, 22.9, 25.9, 26.1, 29.0, 29.1, 30.2, 30.3 และ 30.9 ตามลำดับ ฉนวนที่มีความหนามากขึ้นจะช่วยลดการใช้พลังงานแก่อาคารจำลองได้มากขึ้น การใช้ฉนวนกันความร้อนประเภทฉนวนใยแก้วหรือใยหินที่มีความหนาหนึ่งนิ้วแรก จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับความหนาในนิ้วถัดไป เมื่อพิจารณาถึงอัตราค่าไฟฟ้าที่ลดลงและระยะเวลาคืนทุนของฉนวนแต่ละประเภทพบว่า ฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมได้แก่ ฉนวนใยแก้วและฉนวนใยหินที่มีความหนาไม่เกิน 6 นิ้ว และฉนวนเส้นใยเซลลูโลสชนิดอัดกาวที่มีความหนา 1 นิ้ว

### 10.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น<sup>14</sup>

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลของรูปแบบวัสดุผนังหลังคาไทยโบราณและวัสดุผนังหลังคาไทยในปัจจุบัน เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา ได้แก่คุณสมบัติของวัสดุผนังหลังคา มุมเอียงของหลังคา และการใช้ฉนวนกันความร้อนและการระบายอากาศบริเวณชายคา

จากการทดลองโดยการเปรียบเทียบกล่องทดลอง 4 กล่อง ขนาด 1.20 x 1.20 เมตร จำนวน 2 ชุด สถานที่ทำการทดลองอยู่ในกรุงเทพฯ และเป็นที่โล่ง ชุดที่ 1 ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 11 มีนาคม 2541 ถึงเวลา 6.00 น. ของวันที่ 12 มีนาคม 2541 และชุดที่ 2 ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 13 มีนาคม 2541 ถึงเวลา 6.00 น. ของวันที่ 14 มีนาคม 2541 เพื่อศึกษาอุณหภูมิใต้หลังคา อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดาน อุณหภูมิภายในกล่อง และอุณหภูมิอากาศ



ภาพที่ 6 รูปแบบกล่องทดลอง แสดงตำแหน่งการติดตั้งฉนวน และการระบายอากาศ

จากการทดลองพบว่า ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานเฉลี่ยของกลุ่มที่มีการระบายอากาศที่ชายคามีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่มีการระบายอากาศที่ชายคา ประมาณ 5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของกล่องทดลองที่มีการติดตั้งฉนวนในแนวราบ (วางบนฝ้า

<sup>14</sup> จุไรพร ตุมพสุวรรณ, “พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540).

เพดาน) และมีการระบายอากาศที่ชายคา จะมีค่าต่ำกว่ากล่องทดลองที่มีการติดตั้งฉนวนในแนวเอียง (ตามองศาของหลังคา) และมีการระบายอากาศ ประมาณ 1.0 - 1.5 องศาเซลเซียส การวางตำแหน่งฉนวนที่ดีที่สุดคือการวางฉนวนในแนวราบ ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาพบว่า ในช่วงกลางวัน กล่องที่มีการติดตั้งฉนวนในแนวเอียงจะมีอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาต่ำกว่ากล่องที่ไม่มีการติดตั้งฉนวน โดยเฉลี่ยประมาณ 1-2 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 1 องศาเซลเซียส ในเวลากลางคืนพบว่า กล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนในแนวเอียง และมีการระบายอากาศที่ชายคา มีอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ กลุ่มที่ไม่มี การระบายอากาศที่ชายคามีอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานต่ำกว่ากลุ่มที่มีการระบายอากาศที่ชายคา ประมาณ 1 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส เนื่องจาก อุณหภูมิใต้หลังคาที่มีการระบายอากาศที่ชายคาจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิอากาศ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นอุณหภูมิที่ใต้หลังคาจะสูงขึ้น แต่อุณหภูมิใต้หลังคาของกล่องทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศที่ชายคาลดลงเนื่องจากการแผ่รังสีกลับคืนสู่ท้องฟ้าของหลังคาแผ่น โลหะ จึงทำให้อุณหภูมิกำลังทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศที่ชายคาเย็นกว่า เพราะไม่ถูกสัมผัส จากอากาศภายนอกเลย (ถ้าเป็นวัสดุฉนวนหลังคาชนิดอื่นอาจให้ข้อสรุปจากการทดลองที่แตกต่างกัน ออกไป)

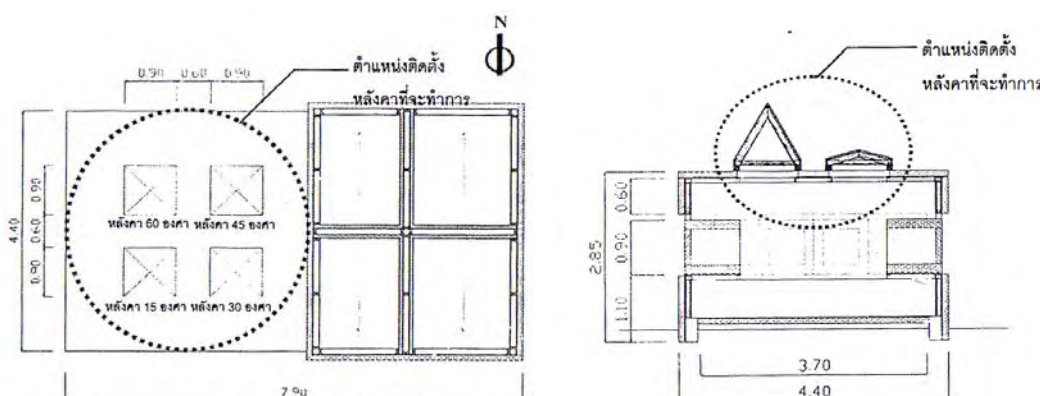
10.3 การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น<sup>15</sup>

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสวงหาต้นแบบของระบบหลังคามวลสารน้อยเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น โดยการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา

การควบคุมตัวแปรทำโดยสร้างอาคารทดลองขนาด กว้าง 4.40 เมตร ยาว 7.90 เมตร และสูง 2.85 เมตร ผนังทุกด้านสร้างด้วยฉนวน ด้านบนของอาคารทดลอง ติดตั้งหลังคาสำหรับทำการทดสอบขนาด กว้าง 0.90 เมตร ยาว 0.90 เมตร จำนวน 4 หลัง ทำการทดลองในสภาพปรับ

<sup>15</sup> พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า, “การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547).

อากาศ บันทึกข้อมูลทุก 15 นาที (เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 11 เมษายน 2546 เวลา 24.00 น. ถึง วันที่ 12 เมษายน 2546 เวลา 12.00 น.)



ภาพที่ 7 แสดงแปลนหลังคา (ซ้าย) และรูปตัดขวาง (ขวา) ของอาคารจำลอง

ตัวแปรได้แก่ หลังคาเหล็กรีดลอนที่

1. ไม่มีฉนวนโฟลีสไไตรน
2. ใช้ฉนวนโฟลีสไไตรนหนา 3 นิ้ว 2 ชั้น ตามแนวจันทัน
3. ใช้ฉนวนโฟลีสไไตรนหนา 3 นิ้ว ตามแนวจันทัน
4. ใช้ฉนวนโฟลีสไไตรนหนา 3 นิ้ว ในแนวราบบนฝ้าเพดาน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนของระบบหลังคาที่วางฉนวนกันความร้อนในตำแหน่งที่ต่างกันพบว่า หลังคาที่ไม่มีการติดตั้งฉนวนโฟมโฟลีสไไตรน ในเวลากลางวัน อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานด้านล่างมีค่าไม่แตกต่างจากอุณหภูมิอากาศภายนอก ในเวลากลางคืน อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานด้านล่างมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1.0 - 1.5 องศาเซลเซียส หลังคาที่ใช้ฉนวนโฟมโฟลีสไไตรน 2 ชั้น วางในแนวจันทัน หลังคาใช้ฉนวนโฟลีสไไตรนหนา 3 นิ้ว วางในแนวจันทัน และหลังคาใช้ฉนวนโฟมโฟลีสไไตรนหนา 3 นิ้ว วางในแนวราบ ในเวลากลางวันอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานด้านล่างมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมากถึงประมาณ 5 - 10 องศาเซลเซียส และในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานด้านล่างมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 2 - 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากฉนวนโฟลีสไไตรนเป็นวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง เมื่อระบบหลังคา มีการติดตั้งฉนวนก็จะเป็นการช่วยเพิ่มการต้านทานความร้อนจากภายนอก จึงทำให้ระบบหลังคาที่ไม่มีการติดตั้งฉนวนมีอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานสูงสุด อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานด้านล่างในเวลากลางวันและกลางคืนของหลังคาที่ใช้ฉนวนโฟมโฟลีสไไตรนหนา 3 นิ้ว วางใน

แนวราบ มีค่าต่ำกว่าอีก 3 กรณีที่เหลือ เนื่องจากหลังคาที่มีฉนวนโพลีสไตรีนมีค่าการต้านทานความร้อนมากกว่าหลังคาที่ไม่มีฉนวน และหลังคาที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้ว วางในแนวราบ มีค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายใน (AIR FILM RESISTANCE) มากกว่าระบบหลังคาที่ติดตั้งฉนวนและฝ้าเพดานในแนวจันทัน และมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของพื้นผิววัสดุน้อยกว่า จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานของหลังคาที่มีการใช้ฉนวนในแนวราบบนฝ้าเพดานมีอุณหภูมิต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศต่อปีพบว่า หลังคาเหล็กกริดลอนที่มีการระบายอากาศใต้หลังคาแต่ไม่มีฉนวนโพลีสไตรีน มีค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ มากกว่าหลังคาที่มีการใช้ฉนวนโพลีสไตรีน หนา 3 นิ้วในแนวจันทัน หลังคาที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน 2 ชั้นและหลังคาที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวราบบนฝ้าเพดานเป็นจำนวน 116.15 บาท 120.69 บาท และ 206.85 บาท ตามลำดับ ดังนั้น หลังคาเหล็กกริดลอนที่มีการระบายอากาศใต้หลังคาและใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้วในแนวราบบนฝ้าเพดานจึงเป็นหลังคาที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและทำการศึกษาต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาคุ้มทุนของระบบหลังคาที่ต่างกัน หลังคาเหล็กกริดลอนสีด้าที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนหนา 6 นิ้วในแนวราบมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 0.19 ปี รองลงมาได้แก่หลังคาเหล็กกริดลอนสีเขียวที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน หนา 3 นิ้วในแนวราบมีระยะเวลาคืนทุน 0.43 ปี หลังคาเหล็กกริดลอนสีเขียวที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน 2 ชั้นในแนวราบมีระยะเวลาคืนทุน 0.93 ปี หลังคาเหล็กกริดลอนสีเขียวที่ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน หนา 3 นิ้วในแนวจันทันมีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี และหลังคาเหล็กกริดลอนสีเขียวไม่มีฉนวนโพลีสไตรีนมีระยะเวลาคืนทุน 2.62 ปี

10.4 การใช้แผ่นสะท้อนความร้อนซีแพคโมเนียกับบ้านพักอาศัยและอาคารทั่วไปในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย<sup>16</sup>

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ระบบป้องกันรังสีความร้อนที่เปลือกอาคารทั่วไปต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร วิธีการศึกษาใช้การวิจัยเชิงทดลองกับอาคารจำลอง โดยสร้างอาคารจำลองสูงหนึ่งชั้นขนาด 4.0 x 4.0 x 2.4 เมตร จำนวน 2 หลังเหมือนกันและ

<sup>16</sup> ธนิต จินดาวงนิค, “การใช้แผ่นสะท้อนความร้อนซีแพคโมเนียกับบ้านพักอาศัยและอาคารทั่วไป ในสภาพอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย” วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฉบับที่ 2 (2548).

ตั้งอยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน ในจังหวัดปทุมธานี อาคารแรกเป็นอาคารฐานเปรียบเทียบ อาคารหลังที่สองจะทดลองติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีความร้อนแบบสองด้านเพื่อศึกษาประสิทธิภาพต่อการประหยัดพลังงานที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศ

ผลการทดลองสรุปว่าการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีความร้อนใต้วัสดุฉนวนหลังคาช่วยทำให้สภาพภายในอาคารร้อนน้อยกว่าอาคารที่ไม่ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีความร้อนในช่วงเวลากลางวัน แต่อย่างไรก็ตามในสภาพอากาศที่ร้อนอย่างประเทศไทย ในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศภายนอกก็ร้อนอยู่นอกเหนือสภาวะน่าสบาย ประกอบกับอิทธิพลความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่กระทำกับอาคารทำให้มีการถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคารมาก ด้วยสาเหตุดังกล่าวในอาคารที่ไม่มีการระบายอากาศสภาพภายในอาคารในช่วงกลางวันจึงร้อนกว่าสภาพภายนอก จึงยิ่งห่างจากสภาวะน่าสบายยิ่งขึ้น การใช้แผ่นสะท้อนรังสีความร้อนเพียงแต่ช่วยให้สภาพภายในอาคารใกล้เคียงหรือไม่ร้อนกว่าสภาพอากาศภายนอกเท่านั้น ในช่วงเวลากลางคืนแผ่นสะท้อนรังสีความร้อนที่ติดตั้งอยู่ภายใต้วัสดุฉนวนหลังคาทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายในอาคารออกไปสู่สภาพแวดล้อมภายนอก ในสภาพอาคารที่ปิดไม่มีการระบายอากาศ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่มีระบบป้องกันการถ่ายเทรังสีความร้อนในหลังคาในช่วงกลางคืนเฉลี่ยจะสูงกว่าอาคารที่ไม่มีระบบป้องกันการถ่ายเทรังสีความร้อนประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาทดลองอาคารหลังคากระเบื้องคอนกรีตที่ใช้แผ่นสะท้อนรังสีความร้อนใต้หลังคาและที่ฝ้าเพดานมีแผ่นสะท้อนรังสีความร้อนด้วย ประกอบกับมีการระบายอากาศในช่องใต้หลังคา สามารถช่วยลดพลังงานกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศทำความเย็นตลอด 24 ชั่วโมงได้โดยเฉลี่ย 18% แต่แผ่นสะท้อนรังสีความร้อนที่เหนือฝ้าเพดานนั้นฝุ่นละอองสามารถจับตัวได้ ทำให้ในระยะยาวประสิทธิภาพของการสะท้อนรังสีความร้อนจะลดลง จากการทดลองใช้แผ่นสะท้อนรังสีความร้อนใต้หลังคาในอาคารที่มีหลังคากระเบื้องคอนกรีตและมีฝ้าเพดานธรรมดา โดยในช่องฝ้าเพดานสามารถระบายอากาศตามธรรมชาติได้ ไม่พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกับเครื่องปรับอากาศลดลงอย่างเห็นได้ชัด

### 10.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการลดความร้อนจากหลังคาโดยวิธีการระบายอากาศและการใช้ฉนวนกันความร้อน<sup>17</sup>

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพในการลดความร้อนจากหลังคาโดยวิธีการระบายอากาศที่ชายคา กับการใช้ฉนวนกันความร้อนในชายคาที่ปิดทึบ โดยเปรียบเทียบกับฉนวนใยแก้วหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ทั้งในสภาพปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในห้องขนาด 20 ตารางเมตร ชั้น 3 ของทาวน์เฮาส์สูง 3 ชั้น 2 คูหา ในย่านพักอาศัยหนาแน่นปานกลางของกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปของอาคารและห้องทดลองเหมือนกัน

จากผลการทดลอง การเปรียบเทียบระหว่างการระบายอากาศที่ชายคา กับการใช้ฉนวนใยแก้วหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์วางบนฝ้าเพดานและชายคาปิดทึบ โดยปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 21.00 - 6.00 น. เป็นเวลา 3 คืน พบว่า อุณหภูมิที่ฝ้าเพดานของห้องที่ใช้ฉนวนใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศในห้องขณะปรับอากาศมากกว่าห้องที่ระบายอากาศที่ชายคา ส่วนในการปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียสตั้งแต่เวลา 9.00 - 18.00 น. พบว่าอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานของห้องที่ใช้ฉนวนจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศขณะปรับอากาศเพียงเล็กน้อย แต่ห้องที่ระบายอากาศที่ชายคา ผิวฝ้าเพดานจะร้อนกว่าอุณหภูมิห้องที่ปรับอากาศในช่วงสูงสุดถึง 4.3 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนว่าฉนวนช่วยลดความร้อนจากหลังคาที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องปรับอากาศได้ดีกว่าการระบายอากาศที่ชายคา ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน เมื่อพิจารณาผลการทดลองอื่นๆในงานวิจัยชิ้นนี้ พบว่าในสภาพที่ไม่ปรับอากาศ ในเวลากลางวัน ห้องที่ใช้ฉนวนกันความร้อนจะมีอุณหภูมิอากาศในห้องและอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่มาก แต่ในเวลากลางคืน ห้องที่ใช้ฉนวนกันความร้อนจะมีอุณหภูมิอากาศในห้องและอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกทั้งในกรณีที่เปิดหน้าต่างและปิดหน้าต่าง ห้องที่ใช้ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ววางในแนวราบบนฝ้าเพดาน มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศประหยัดกว่าห้องที่มีการระบายอากาศที่ชายคาถึง 50% (ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน)

<sup>17</sup> พันธุดา พุฒิไพโรจน์, “การศึกษาประสิทธิภาพในการลดความร้อนจากหลังคาโดยวิธีการระบายอากาศและการใช้ฉนวนกันความร้อน” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3, (2550).

### 10.6 A Study of Benefits and Costs of Gypsum Boards Used Under Roof<sup>18</sup>

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิผลและความคุ้มค่าของการเลือกใช้วัสดุฝ้าเพดานและผนังแต่ละประเภท ด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองบ้านของโครงการแสนสิริ กรุงเทพฯ เป็นบ้านพักอาศัย 2 ชั้น พื้นที่ 122.8 ตารางเมตร มีการกำหนดจำนวนคนที่อาศัยในห้องต่างๆ กิจกรรมที่ทำและเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปิดปิดในเวลาต่างๆ รวมถึงช่วงเวลา พื้นที่ และอุณหภูมิในการปรับอากาศ แบ่งเป็นวันธรรมดา ห้องรับแขกและห้องทานอาหารเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 18:00 – 22:00 น. ห้องนอนเปิดเวลา 20:00 – 6:00 น. วันหยุด ห้องรับแขกและห้องทานอาหารเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 11:00 – 22:00 น. ห้องนอนเปิดเวลา 20:00 – 7:00 น. แล้วประมวลผล เพื่อหาค่าการประหยัดพลังงานต่อปี (บาทต่อตารางเมตร) ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่อปี (บาทต่อตารางเมตร) และระยะเวลาคืนทุน (ปี)

ผลการวิจัยระบุว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการใช้ฉนวนกันความร้อนที่หลังคาประเภทต่างๆ กับผนังชนิดเดียวกันพบว่า การเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ที่ได้หลังคาและฉนวน glass wool วางบนฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดมีราคาสูงที่สุด มากกว่าการใช้ยิปซัมบอร์ดอย่างเดียวถึง 20% แต่ช่วยประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนกันความร้อน glass wool อย่างเดียว หรือ อลูมิเนียมพอยล์อย่างเดียว โดยประหยัดลงได้ประมาณ 1.94% แต่การใช้อลูมิเนียมพอยล์ได้หลังคา กับผนังที่มีมวลน้อย เช่น ผนัง fiber cement plank มีราคาก่อสร้างสูงกว่าการใช้ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดอย่างเดียวแค่ 7% แต่ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 1.89% สำหรับผนังที่มีมวลมากการใช้อลูมิเนียมพอยล์วางบนฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดได้ประสิทธิภาพดีที่สุดในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า การใช้ผนังอิฐมวลเบาที่ชั้นล่างและผนัง fiber cement plank ที่มีช่องอากาศและ heatbloc อยู่ตรงกลาง โดยใช้ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด มีประสิทธิภาพสูงสุดในการประหยัดค่าไฟฟ้า ช่วยประหยัดได้ถึง 46.03 บาทต่อตารางเมตรต่อปี

<sup>18</sup> Surapong Chirarattananon, “A Study of Benefits and Costs of Gypsum Boards Used Under Roof” (Bangkok : Energy Program School of Environment, Resource and Development Asian Institute of Technology, 2000).

### 10.7 Comparison between Polystyrene and Fiberglass Roof Insulation in Warm and Cold Climate<sup>19</sup>

เป็นการศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งฉนวนกันความร้อนให้กับบ้านพักอาศัย สิ่งที่จะพิจารณาคือ ชนิดและความหนาที่เพิ่มขึ้นของฉนวนกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของฉนวน ทำการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ RENCON จำลองสภาพบ้านพักอาศัยขนาด 108 ตารางเมตรที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน 2 ประเภทที่หลังคา แบบแรกใช้ฉนวน Polystyrene แบบที่สองใช้ฉนวน Fiberglass และทดลองเปลี่ยนความหนาของฉนวนไปเรื่อยๆ ใน 2 ที่ตั้งซึ่งมีอากาศอบอุ่นและอากาศหนาวเย็น คือ College Station, Texas และ Minneapolis, Minnesota เพื่อคำนวณหาค่าภาระการทำความร้อนและค่าภาระการทำความเย็นประจำปีของบ้านแต่ละหลัง

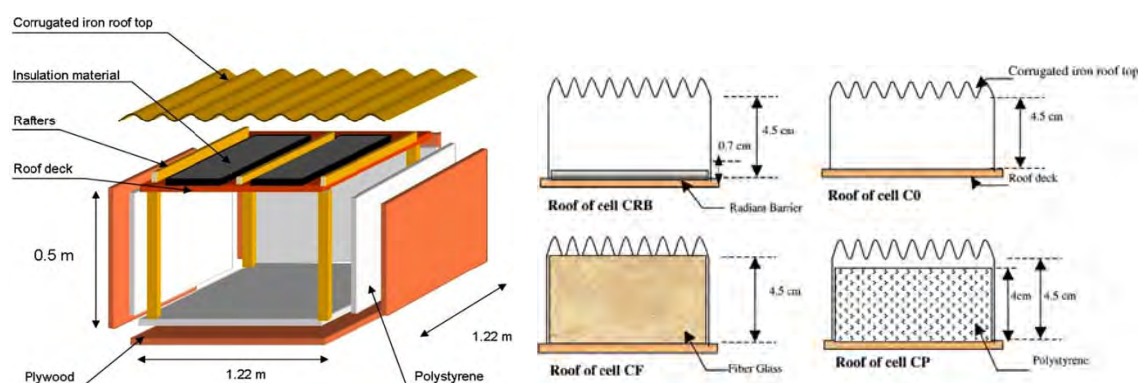
ผลการวิจัยระบุว่า เมื่อใช้ฉนวน Polystyrene ที่หลังคาของบ้านที่อยู่ในภูมิอากาศอบอุ่น ฉนวน R5 มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 2,185 ดอลลาร์สหรัฐต่อปี ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดในกลุ่ม และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 7 เดือน ในขณะที่ฉนวน Fiberglass R10 มีความคุ้มค่ามากที่สุดในการใช้ในภูมิอากาศอบอุ่น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 1,647 ดอลลาร์สหรัฐต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนที่ 4.8 เดือน สำหรับในภูมิอากาศหนาวเย็น ฉนวน Polystyrene R5 ก็มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 3,327 ดอลลาร์สหรัฐต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนที่ 3.6 เดือน ฉนวน Fiberglass R10 มีความคุ้มค่ามากที่สุดในการใช้ในภูมิอากาศหนาวเย็น มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 2,690 ดอลลาร์สหรัฐต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนที่ 1.2 เดือน ในงานวิจัยนี้ได้สรุปผลว่า ระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนกันความร้อนในเขตภูมิอากาศหนาวเย็นมีช่วงเวลานั้นสั้นกว่าในเขตภูมิอากาศอบอุ่น เมื่อพิจารณาจากการที่ประหยัดต้นทุนค่าพลังงาน (Energy costs saving) ได้มากกว่า และแนะนำว่า ควรคิดเปรียบเทียบค่าต้นทุนส่วนเพิ่มระยะยาวมากกว่าค่าวัสดุ และคิดค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน มากกว่าคิดเฉพาะค่าต้นทุนในการก่อสร้าง จึงจะได้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในการพิจารณาหาฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม

---

<sup>19</sup> Khaled A. Al-Sallal., "Comparison between Polystyrene and Fiberglass Roof Insulation in Warm and Cold Climate" (Department of Architectural Engineering, UAE University, United Arab Emirates, 2002)

## 10.8 Experimental Evaluation of Insulation Material in Roofing System under Tropical Climate<sup>20</sup>

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาอิทธิพลของการป้องกันความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่เปลือกอาคารโดยการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆที่นิยมใช้กันในห้องตลาด ทั้งนี้เพื่อต้องการทราบว่าฉนวนประเภทใดและวิธีขั้นตอนใดจะนำไปสู่การลดค่าความร้อนได้ดีที่สุด เมื่อนำมาใช้กับหลังคาโลหะรีดลอน วิธีทำการทดลอง สร้างกล่องจำลองขึ้นมา 4 กล่อง ขนาด 1.22 x 1.22 เมตร สูง 0.5 เมตร ด้านบนติดตั้งหลังคาโลหะรีดลอนสีดำและขาว โดยมีฉนวนกันความร้อน 4 ประเภทติดตั้งอยู่ใต้หลังคา ได้แก่ ฉนวน Polystyrene, Fiberglass, แผ่นสะท้อนความร้อน และแบบไม่มีฉนวน (เพื่อเอาไว้เป็นตัวอย่างข้อมูล) กล่องทดลองทั้ง 4 ได้ควบคุมสภาพแวดล้อมให้เป็นแบบเดียวกัน ตั้งอยู่ที่ เกาะ Guadeoupe West Indies และติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิไว้ภายใน



ภาพที่ 8 แสดงกล่องทดลอง และประเภทของฉนวนกันความร้อนที่ใช้ในงานวิจัย

จากงานวิจัยนี้สรุปว่า การใส่ตัวสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่หลังคาสามารถลดอัตราการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ได้ประมาณ 33-37% แต่อาจมีผลกระทบเนื่องจากการสะท้อนความร้อนไปที่หลังคาทำให้มีค่าการนำความร้อนจากหลังคาเพิ่มเข้ามาด้วย การระบายอากาศใต้หลังคา จึงเป็นสิ่งจำเป็นซึ่งหากใช้ควบคู่กับการใส่ตัวสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่หลังคา จะมี

<sup>20</sup> T. Soubdhan, T. Feuillard, F. Bade, "Experimental Evaluation of Insulation Material in Roofing System under Tropical Climate" (Solar Energy Volume 79, Issue 3, 2005)

ประสิทธิภาพในการลดอัตราการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าการใช้ฉนวนกันความร้อน Polystyrene และ Fiberglass ซึ่งเป็นตัวที่ใช้ลดค่าการนำความร้อนที่ผ่านหลังคา อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมต่อพื้นที่จะลดลง 78-88% เมื่อใช้ฉนวน Polystyrene และลดลง 73-84% เมื่อใช้ฉนวน Fiberglass การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโลหะรีดลอนในกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศใต้หลังคา การใช้ฉนวน Polystyrene จะเป็นตัวต้านทานความร้อนที่มากกว่าการใช้ฉนวน Fiberglass และมากกว่าการใช้ตัวสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการใช้ฉนวนกันความร้อนที่หลังคาของบ้านพักอาศัยในกรุงเทพฯและเชียงใหม่มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1. การกำหนดตัวแปรในการศึกษา
2. การเลือกวิธีการศึกษาการใช้พลังงานในอาคาร
3. การสร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศ (Weather File)
4. การเลือกบ้านกรณีศึกษา
5. การจำลองอาคารในโปรแกรม EnergyPlus
6. ขั้นตอนในการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

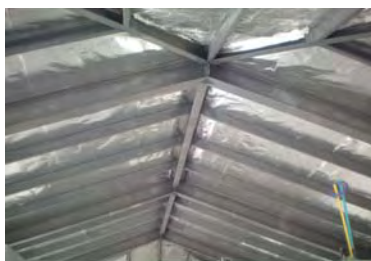
#### 1. การกำหนดตัวแปรในการศึกษา

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของการใช้ฉนวนกันความร้อนที่บริเวณหลังคาและฝ้าเพดานของบ้านพักอาศัย ในด้านการลดอุณหภูมิ สภาวะน่าสบาย การประหยัดพลังงานในการปรับอากาศ และระยะเวลาคืนทุน ของบ้านพักอาศัย ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดกรุงเทพฯและเชียงใหม่ การกำหนดตัวแปรในการศึกษาสามารถจำแนกได้ดังนี้

##### 1.1 ชนิดของฉนวน

##### 1.1.1 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

เลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์แบบเสริมแรง ซึ่งป้องกันการฉีกขาดได้ ติดตั้งที่ได้ประสิทธิภาพวัสดุเท่ากับ 90 บาทต่อตารางเมตร ค่าแรงติดตั้งเท่ากับ 5 บาทต่อตารางเมตร



ภาพที่ 9 แสดงลักษณะของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ และการติดตั้ง

### 1.1.2 ฉนวนใยแก้ว

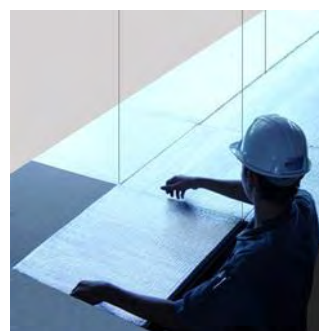
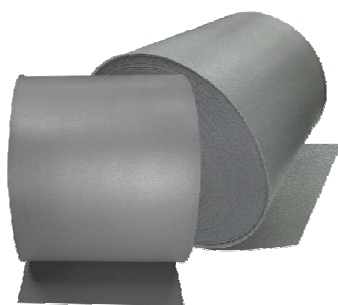
เลือกใช้ฉนวนใยแก้วแบบม้วน ติดตั้งโดยการวางบนฝ้าเพดาน ฉนวนใยแก้วความหนา 3 นิ้ว ราคาประมาณ 187 บาทต่อตารางเมตร ฉนวนใยแก้วความหนา 6 นิ้ว ราคาประมาณ 270 บาทต่อตารางเมตร ค่าแรงติดตั้งเท่ากับ 10 บาทต่อตารางเมตร



ภาพที่ 10 แสดงลักษณะของฉนวนใยแก้ว และการติดตั้ง

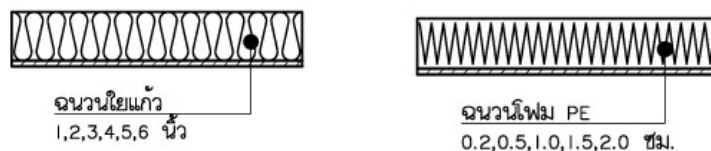
### 1.1.3 ฉนวนโฟม PE

เลือกใช้ฉนวนโฟม PE แบบม้วน ติดตั้งโดยการวางบนฝ้าเพดาน ฉนวนโฟม PE ความหนา 0.2, 0.5 และ 1.0 เซนติเมตร ราคาประมาณ 30, 75 และ 150 บาทต่อตารางเมตร ตามลำดับ ค่าแรงติดตั้งเท่ากับ 10 บาทต่อตารางเมตร



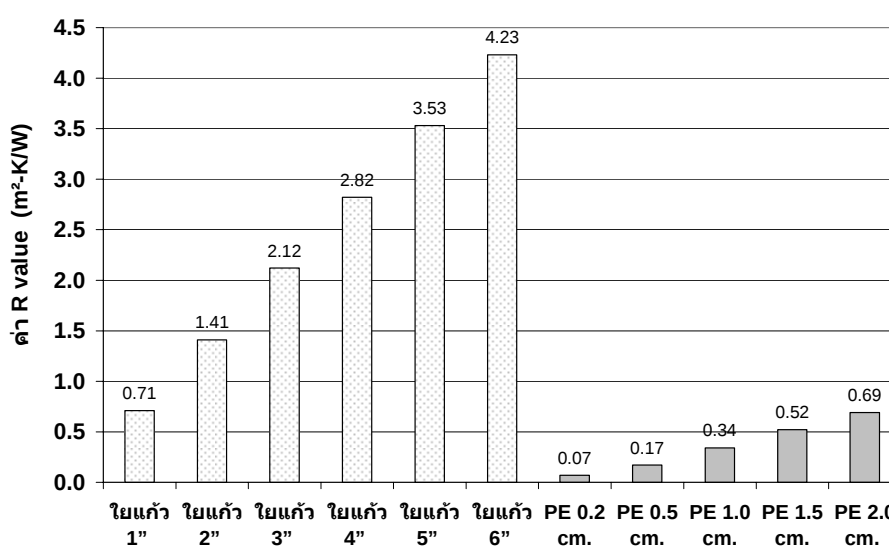
ภาพที่ 11 แสดงลักษณะของฉนวนโฟม PE และการติดตั้ง

## 1.2 ความหนาของฉนวนใยแก้ว และ ฉนวนโฟม PE



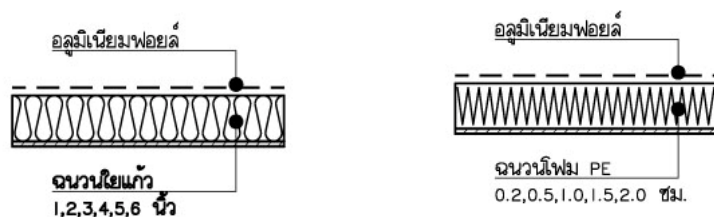
ภาพที่ 12 แสดงความหนาของฉนวน และการติดตั้ง

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนใยแก้วเท่ากับ  $0.036 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  และของฉนวนโฟม PE มีค่าเท่ากับ  $0.029 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  โดยค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนทั้งสองชนิดที่ความหนาต่างๆ ได้ผลดังแผนภูมิที่ 5



แผนภูมิที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE

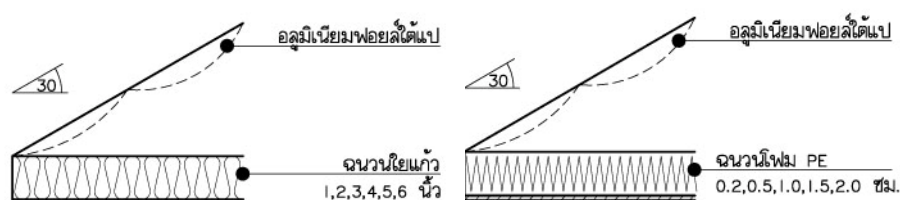
## 1.3 การหุ้มฉนวนใยแก้ว และ ฉนวนโฟม PE



ภาพที่ 13 แสดงความหนาของฉนวน และการติดตั้งฉนวนหุ้มฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE

สำหรับงานวิจัยนี้ ส่วนของฉนวนที่ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ให้ถือว่ามี การหุ้มโดยวัสดุฟิล์มพลาสติก เพื่อป้องกันความชื้นและรักษา สภาพของฉนวนให้ได้เหมือนอลูมิเนียมฟอยล์ โดยกำหนดว่าวัสดุนี้ไม่มีคุณสมบัติเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนใดๆ

1.4 การใช้ฉนวนใยแก้ว และ ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน ร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป



ภาพที่ 14 แสดงความหนาของฉนวน และการติดตั้งฉนวนหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ร่วมกับการใช้อลูมิเนียมฟอยล์ได้แป

## 1.5 สภาพอากาศ

1.5.1 Weather File กรุงเทพฯ

1.5.2 Weather File เชียงใหม่

## 1.6 การปรับอากาศ

1.6.1 สภาวะเปิดเครื่องปรับอากาศ

1.6.2 สภาวะไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ

## 2. การเลือกวิธีการศึกษาการใช้พลังงานในอาคาร

จุดหมายหลักของงานวิจัยคือการศึกษประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนที่หลังคาของบ้านพักอาศัยโดยพิจารณาในด้านอุณหภูมิ สภาวะน่าสบาย และการใช้พลังงานในการปรับอากาศของบ้าน วิธีการศึกษามีหลายวิธี เช่น การสร้างกล่องทดลอง หรือการทดลองจากสถานที่จริง ซึ่งมีข้อดีคือ ได้ผลที่ค่อนข้างตรงกับความเป็นจริง แต่ทั้งสองวิธีนี้มีความยุ่งยากในการติดตั้งเครื่องมือ การควบคุมสภาพแวดล้อมและที่ตั้งของบ้านจริงสองหลังให้เหมือนกันเป็นไปได้ยาก ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลจากบ้านจริงมีจำกัด การทดสอบจากบ้านจริงมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าและไม่สามารถเปลี่ยนตัวแปรที่ต้องการได้หลากหลาย อีกวิธีคือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้าง

แบบจำลองเสมือนจริงช่วยในการศึกษาการใช้พลังงานของอาคาร ทำให้สะดวกในการเปลี่ยนตัวแปรตามที่ต้องการ ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย อีกทั้งในปัจจุบันโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากหลายๆองค์กร จึงทำให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น แต่การที่จะได้ผลการคำนวณที่แม่นยำ จำเป็นต้องป้อนข้อมูลที่มีความถูกต้องและละเอียดเป็นอย่างมาก

โปรแกรม EnergyPlus เป็นโปรแกรมที่พัฒนามาจาก DOE2 และ BLAST ใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน โดยสามารถคำนวณหาค่าภาระในการทำความร้อนและความเย็นของระบบอุปกรณ์อาคารที่จำเป็นต่อการรักษาระดับอุณหภูมิภายในอาคาร แม้จะเป็นโปรแกรมที่ค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากต้องใส่ข้อมูลเป็นจำนวนมาก แต่โปรแกรม EnergyPlus ก็มีข้อดีดังนี้

1. เป็นโปรแกรมที่ให้ดาวน์โหลดใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
2. ใช้วิธีการคำนวณแบบ Heat Balance คือมีสมดุลพลังงานที่เข้าและออกจากระบบ ทำให้ได้ข้อมูลที่ค่อนข้างถูกต้อง<sup>1</sup>
3. สามารถคำนวณทุกช่วงระยะเวลาที่ต่ำกว่า 1 ชั่วโมง (Sub Hourly) ตามที่ผู้ใช้ระบุ ซึ่งช่วยให้ผลการคำนวณใกล้เคียงความเป็นจริง
4. สามารถคำนวณค่าพลังงานที่ใช้สำหรับอาคาร อุณหภูมิภายในห้อง อุณหภูมิผิว ประกอบอาคาร และ Thermal Comfort (PMV, TSU) ได้
5. เป็นโปรแกรมที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

### 3. การสร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศ (Weather File)

ข้อมูลสภาพอากาศ (Weather File) ที่ใช้ในโปรแกรม EnergyPlus เป็นข้อมูลที่รวบรวมสภาพอากาศในพื้นที่หนึ่งๆ (เมืองหรือจังหวัดในแต่ละประเทศ) แสดงถึงที่ตั้งและสภาพแวดล้อมของอาคารซึ่งมีผลต่อการคำนวณของโปรแกรม สำหรับชุดข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพฯ ใช้รูปแบบข้อมูลที่เรียกว่า International Weather for Energy Calculation (IWEC) ที่เป็นตัวแทนของข้อมูลกว่า 18 ปีของ DATSAV3 รายชั่วโมงจาก US National Climatic Data

---

<sup>1</sup> ปรีชญา มหัทธนะทวี, “การใช้โปรแกรม EnergyPlus”, เอกสารประกอบวิชา 261 404 การออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2550.

Center สามารถดาวน์โหลดได้จาก website ของโปรแกรม EnergyPlus ข้อมูลสภาพอากาศ ประกอบไปด้วยตัวแปรดังนี้

1. **Year** คือการบ่งบอกปีของข้อมูล โปรแกรมไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ
2. **Month** คือการบ่งบอกเดือนของข้อมูล มี 12 เดือน
3. **Day** คือการบ่งบอกวันของข้อมูล มีจำนวนตามแต่ละเดือน
4. **Hour** คือการบ่งบอกชั่วโมงของข้อมูล มี 24 ชั่วโมง กำหนดให้ชั่วโมงที่ 1 คือเวลา 0.01-1.00 น.
5. **Minute** คือการบ่งบอกนาทีของข้อมูล
6. **Data Source and Uncertainty Flags** เป็นการบอกที่มาและรูปแบบของข้อมูล โปรแกรมไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ
7. **Dry-bulb Temperature (°C)** คืออุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ตุ้มแห้งหรือเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ๆ มีอากาศถ่ายเทตามธรรมชาติ และอยู่ในร่มเงาไม่ถูกรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง โปรแกรมกำหนดให้ใส่เป็นเลขจำนวนเต็มและทศนิยม ให้มีค่าอยู่ระหว่าง -70 °C ถึง 70 °C
6. **Dew Point Temperature (°C)** คืออุณหภูมิจุดน้ำค้าง อุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำกลายเป็นของเหลวที่ความกดอากาศคงที่ โปรแกรมกำหนดให้ใส่เป็นเลขจำนวนเต็มและทศนิยม ให้มีค่าอยู่ระหว่าง -70 °C ถึง 70 °C
7. **Relative Humidity (%)** คือค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ โปรแกรมกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0% ถึง 100%
8. **Atmospheric Station Pressure (Pa)** คือค่าความกดอากาศ ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจอากาศนั้นๆ โปรแกรมกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 31,000 Pa ถึง 120,000 Pa
9. **Extraterrestrial Horizontal Radiation (Wh/m<sup>2</sup>)** คือค่ารังสีภายนอกขอบเขตของโลกโดยทั่วไปหมายถึงรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) ที่ได้รับตรงยอดสุดของบรรยากาศหรือสุดขอบเขตของบรรยากาศของโลก โปรแกรมยังไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ
10. **Extraterrestrial Direct Normal Radiation (Wh/m<sup>2</sup>)** คือค่ารังสีภายนอกขอบเขตของโลก โดยทั่วไปหมายถึงรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) ที่ได้รับตรงยอดสุดของบรรยากาศหรือสุดขอบเขตของบรรยากาศของโลก มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด โปรแกรมยังไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

11. Horizontal Infrared Radiation Intensity ( $\text{Wh/m}^2$ ) คือค่าความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดในแนวระนาบ หากค่านี้ไม่ได้ระบุไว้ใน Weather File โปรแกรมจะนำค่า Total Sky Cover และ Opaque Sky Cover (ข้อที่ 23 และ 24) มาใช้คำนวณแทน

12. Global Horizontal Radiation ( $\text{Wh/m}^2$ ) คือค่ารังสีรวมของรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (direct solar radiation) กับรังสีที่แพร่กระจายจากท้องฟ้า (diffuse sky radiation) ซึ่งตกลงมา หรือรับไว้บนพื้นที่หนึ่งหน่วยเนื้อที่ในแนวนอน โปรแกรมยังไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

13. Direct Normal Radiation ( $\text{Wh/m}^2$ ) คือค่ารังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง ตกกระทบบนพื้นโลกและไม่เปลี่ยนทิศทาง

14. Diffuse Horizontal Radiation ( $\text{Wh/m}^2$ ) คือค่ารังสีดวงอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจายโดยก๊าซ ฝุ่นละออง และวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาทุกทิศทางในท้องฟ้า

15. Global Horizontal Illuminance (lux) คือค่าความสว่างรวมของความสว่างจากแสงอาทิตย์ตรง Direct Normal Illuminance กับความสว่างของแสงอาทิตย์ที่แพร่กระจายจากท้องฟ้า (Diffuse Horizontal Illuminance) ซึ่งตกลงมา หรือรับไว้บนพื้นที่หนึ่งหน่วยเนื้อที่ในแนวนอน โปรแกรมยังไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

16. Direct Normal Illuminance (lux) คือค่าความสว่างที่ตกบนผิวรับแสง มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด โปรแกรมยังไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

17. Diffuse Horizontal Illuminance (lux) คือค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจายโดยก๊าซ ฝุ่นละออง และวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสง ความสว่างกระจายนี้มาทุกทิศทางในท้องฟ้า เมื่อผิวรับแสงเป็นพื้นนอน โปรแกรมยังไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

18. Zenith luminance ( $\text{Cd/m}^2$ ) คือปริมาณแสงที่สะท้อนผิวรับแสงแล้วเข้าตาผู้สังเกต โปรแกรมยังไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

19. Wind Direction (degrees) คือทิศทางลม โปรแกรมกำหนดให้ ทิศเหนือ = 0.0 , ทิศตะวันออก = 90.0, ทิศใต้ = 180.0 และทิศตะวันตก = 270.0 ทิศทางลมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 360 องศา

20. Wind Speed (m/s) คือค่าความเร็วลม โปรแกรมกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 40 m/s

21. **Total Sky Cover** คือปริมาณเมฆบนท้องฟ้า บอกค่าเป็นสัดส่วน เมื่อจำนวนเต็มเท่ากับ 10 (ค่า 10 แสดงว่ามีปริมาณเมฆเต็มท้องฟ้า) ค่า Total Sky Cover จะนำมาใช้คำนวณร่วมกับค่า Opaque Sky Cover เมื่อค่า Horizontal Infrared Radiation Intensity ไม่ได้ระบุไว้ใน Weather File

22. **Opaque Sky Cover** คือค่าความหนาความบางของเมฆที่มีอยู่ในท้องฟ้า บอกค่าเป็นสัดส่วน เมื่อจำนวนเต็มเท่ากับ 10 (ค่า 10 แสดงว่ามีปริมาณเมฆเต็มท้องฟ้าและทั้งหมดเป็นเมฆทึบ) ค่า Opaque Sky Cover จะนำมาใช้คำนวณร่วมกับค่า Total Sky Cover เมื่อค่า Horizontal Infrared Radiation Intensity ไม่ได้ระบุไว้ใน Weather File

23. **Visibility (km)** คือระยะทางไกลที่สุดในทิศทางที่กำหนดไว้ ซึ่งผู้สังเกตสามารถมองเห็นวัตถุที่มีขนาดพอสมควรได้ด้วยตาเปล่าและบอกได้ว่าวัตถุนั้นเป็นอะไร โดยวัดค่าที่สถานีออกมาเป็นระยะทาง โปรแกรมยังไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

24. **Ceiling Height (m)** โปรแกรมยังไม่ได้นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

25. **Present Weather Observation** คือค่าที่บ่งบอกว่าได้มีการเก็บข้อมูลในหัวข้อต่างๆ ของ Present Weather Codes หรือไม่ ค่า 0 คือได้มีการเก็บข้อมูล และ ค่า 9 คือไม่ได้มีการเก็บข้อมูล

26. **Present Weather Codes** คือค่าที่บ่งบอกถึงระดับความรุนแรงของสภาพอากาศ แต่ละประเภทซึ่งมีด้วยกัน 9 ประเภท ระดับความรุนแรงของแต่ละประเภทมี 10 ระดับแทนด้วยตัวเลข 0 ถึง 9 หากระบุค่า Present Weather Observation = 0 และที่ปรากฏการณ์การเกิดฝนใน Present Weather Codes = 9 จะหมายถึง ไม่มีฝนตก

ตารางที่ 5 แสดง Present Weather Codes

| Column<br>--<br>Position<br>in Field | Element<br>Description                                  | Possible<br>Values | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                    | Occurrence of<br>Thunderstorm,<br>Tornado, or<br>Squall | 0 - 2, 4, 6<br>- 9 | 0 = Thunderstorm—lightning and thunder.<br>Wind gusts less than 25.7 m/s, and hail, if any,<br>less than 1.9 cm diameter<br><br>1 = Heavy or severe thunderstorm—frequent<br>intense lightning and thunder. Wind gusts<br>greater than 25.7 m/s and hail, if any, 1.9 cm or |

| Column<br>--<br>Position<br>in Field | Element<br>Description                             | Possible<br>Values | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      |                                                    |                    | <p>greater diameter</p> <p>2 = Report of tornado or waterspout</p> <p>4 = Moderate squall—sudden increase of wind speed by at least 8.2 m/s, reaching 11.3 m/s or more and lasting for at least 1 minute</p> <p>6 = Water spout (beginning January 1984)</p> <p>7 = Funnel cloud (beginning January 1984)</p> <p>8 = Tornado (beginning January 1984)</p> <p>9 = None if Observation Indicator element equals 0, or else unknown or missing if Observation Indicator element equals 9</p>                                       |
| 2                                    | Occurrence of Rain, Rain Showers, or Freezing Rain | 0 - 9              | <p>0 = Light rain</p> <p>1 = Moderate rain</p> <p>2 = Heavy rain</p> <p>3 = Light rain showers</p> <p>4 = Moderate rain showers</p> <p>5 = Heavy rain showers</p> <p>6 = Light freezing rain</p> <p>7 = Moderate freezing rain</p> <p>8 = Heavy freezing rain</p> <p>9 = None if Observation Indicator element equals 0, or else unknown or missing if Observation Indicator element equals 9</p> <p>Notes:</p> <p>Light = up to 0.25 cm per hour Moderate = 0.28 to 0.76 cm per hour Heavy = greater than 0.76 cm per hour</p> |
| 3                                    | Occurrence of Rain Squalls, Drizzle, or            | 0, 1, 3 - 9        | <p>0 = Light rain squalls</p> <p>1 = Moderate rain squalls</p> <p>3 = Light drizzle</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| Column<br>--<br>Position<br>in Field | Element<br>Description                                     | Possible<br>Values | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      | Freezing<br>Drizzle                                        |                    | <p>4 = Moderate drizzle</p> <p>5 = Heavy drizzle</p> <p>6 = Light freezing drizzle</p> <p>7 = Moderate freezing drizzle</p> <p>8 = Heavy freezing drizzle</p> <p>9 = None if Observation Indicator element equals 0, or else unknown or missing if Observation Indicator element equals 9</p> <p>Notes: When drizzle or freezing drizzle occurs with other weather phenomena: Light = up to 0.025 cm per hour Moderate = 0.025 to 0.051 cm per hour Heavy = greater than 0.051 cm per hour</p> <p>When drizzle or freezing drizzle occurs alone: Light = visibility 1 km or greater Moderate = visibility between 0.5 and 1 km Heavy = visibility 0.5 km or less</p> |
| 4                                    | Occurrence of<br>Snow, Snow<br>Pellets, or Ice<br>Crystals | 0 - 9              | <p>0 = Light snow</p> <p>1 = Moderate snow</p> <p>2 = Heavy snow</p> <p>3 = Light snow pellets</p> <p>4 = Moderate snow pellets</p> <p>5 = Heavy snow pellets</p> <p>6 = Light ice crystals</p> <p>7 = Moderate ice crystals</p> <p>8 = Heavy ice crystals</p> <p>9 = None if Observation Indicator element equals 0, or else unknown or missing if Observation Indicator element equals 9</p> <p>Notes: Beginning in April 1963, any occurrence of ice</p>                                                                                                                                                                                                          |

| Column<br>--<br>Position<br>in Field | Element<br>Description                                                  | Possible<br>Values | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      |                                                                         |                    | crystals is recorded as a 7.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 5                                    | Occurrence of<br>Snow<br>Showers,<br>Snow Squalls,<br>or<br>Snow Grains | 0 - 7, 9           | 0 = Light snow<br>1 = Moderate snow showers<br>2 = Heavy snow showers<br>3 = Light snow squall<br>4 = Moderate snow squall<br>5 = Heavy snow squall<br>6 = Light snow grains<br>7 = Moderate snow grains<br>9 = None if Observation Indicator element<br>equals 0, or else unknown or missing if<br>Observation Indicator element equals 9                                                                                      |
| 6                                    | Occurrence of<br>Sleet, Sleet<br>Showers, or<br>Hail                    | 0 - 2, 4, 9        | 0 = Light ice pellet showers<br>1 = Moderate ice pellet showers<br>2 = Heavy ice pellet showers<br>4 = Hail<br>9 = None if Observation Indicator element<br>equals 0, or else unknown or missing if<br>Observation Indicator element equals 9<br>Notes: Prior to April 1970, ice pellets were<br>coded as sleet. Beginning in April 1970, sleet<br>and small hail were redefined as ice pellets and<br>are coded as 0, 1, or 2. |
| 7                                    | Occurrence of<br>Fog, Blowing<br>Dust, or<br>Blowing<br>Sand            | 0 - 9              | 0 = Fog<br>1 = Ice fog<br>2 = Ground fog<br>3 = Blowing dust<br>4 = Blowing sand<br>5 = Heavy fog<br>6 = Glaze (beginning 1984)                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| Column<br>--<br>Position<br>in Field | Element<br>Description                                                          | Possible<br>Values | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      |                                                                                 |                    | 7 = Heavy ice fog (beginning 1984)<br>8 = Heavy ground fog (beginning 1984)<br>9 = None if Observation Indicator element equals 0, or else unknown or missing if Observation Indicator element equals 9 Notes: These values recorded only when visibility is less than 11 km.                                                                             |
| 8                                    | Occurrence of Smoke, Haze, Smoke and Haze, Blowing Snow, Blowing Spray, or Dust | 0 - 7, 9           | 0 = Smoke<br>1 = Haze<br>2 = Smoke and haze<br>3 = Dust<br>4 = Blowing snow<br>5 = Blowing spray<br>6 = Dust storm (beginning 1984)<br>7 = Volcanic ash<br>9 = None if Observation Indicator element equals 0, or else unknown or missing if Observation Indicator element equals 9 Notes: These values recorded only when visibility is less than 11 km. |
| 9                                    | Occurrence of Ice Pellets                                                       | 0 - 2, 9           | 0 = Light ice pellets<br>1 = Moderate ice pellets<br>2 = Heavy ice pellets<br>9 = None if Observation Indicator element equals 0, or else unknown or missing if Observation Indicator element equals 9                                                                                                                                                    |

ที่มา : EnergyPlus Manual Documentation Version 2.2, "Weather Converter Program",  
Auxiliary Program, (2008), 42-45.

27. Precipitable Water (mm.) คือค่าปริมาณน้ำฝน โปรแกรมยังไม่นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

28. Aerosol Optical Depth (thousandth) คือค่าความลึกของแสงที่เกิดจากละอองของเหลว หมอก และควัน หรือหมายถึงค่าฝุ่นละอองในบรรยากาศ โปรแกรมยังไม่นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

29. Snow Depth (cm) คือระยะที่วัดจากผิวชั้นบนสุดของหิมะกับผิวพื้นดินใต้หิมะ โดยสมมติว่าหิมะแผ่ปกคลุมพื้นดิน สมำเสมอในระดับเดียวกัน โปรแกรมยังไม่นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

30. Day Since Last Snowfall โปรแกรมยังไม่นำค่านี้มาใช้ในการคำนวณ

นอกจากนี้ยังต้องมีข้อมูลเรื่องตำแหน่งที่ตั้ง, ละติจูด, ลองติจูด, Time Zone และความสูงจากระดับน้ำทะเลด้วย

ข้อมูลสภาพของกรุงเทพฯ ชื่อ THA\_Bangkok\_IWEC.epw ซึ่งมีอยู่ในโปรแกรมแล้ว แต่เนื่องจากไม่มีชุดข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ จึงต้องสร้างขึ้นมาโดยศึกษาข้อมูลและตัวแปรจากข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพฯ การสร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศเป็นวิธีการทางสถิติเพื่อนำข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงจำนวนหลายๆ ปี มาสร้างเป็นข้อมูลจำนวน 1 ปี ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดได้ เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลตัวแปรเพื่อนำมาสร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่ โดยข้อมูลที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ Dry Bulb Temperature, Dew Point Temperature, Relative Humidity, Atmospheric Station Pressure, Wind Direction, Wind Speed, Total Sky Cover และ Precipitable Water และข้อมูลที่ได้จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้แก่ Global Horizontal Radiation, Direct Normal radiation และ Diffuse Horizontal Radiation พบว่ามีข้อจำกัดเรื่องข้อมูล Direct Normal Radiation และ Diffuse Horizontal Radiation ของจังหวัดเชียงใหม่ไม่ได้มีข้อมูลยาวนานพอถึง 10 ปีขึ้นไป และมีการขาดหายของข้อมูลบางช่วงของปีที่มีการเก็บข้อมูลไปบ้าง ทำให้มีข้อมูลไม่มากพอที่จะนำวิธีการทางสถิติมาใช้อาตัวแทนข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่สำหรับโปรแกรม EnergyPlus ได้ จึงต้องอาศัยวิธีสร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศของแต่ละปีขึ้นมา แล้วจึงนำไปใช้ในโปรแกรม ค่าที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ผล คือค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ปีที่มีข้อมูลตามที่ต้องการ คือปี พศ. 2546, 2547, 2548 และ 2550

ตารางที่ 6 สรุปที่มาของข้อมูลที่นำมาใช้สร้างข้อมูลสภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่

| ข้อมูล                          | หน่วย   | กรม<br>อุตุนิยมวิทยา | ศูนย์<br>อุตุนิยมวิทยา<br>ภาคเหนือ | ภาควิชา<br>ฟิสิกส์<br>ม.ศิลปากร |
|---------------------------------|---------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| DRY BLUB TEMP.                  | C       |                      | •                                  |                                 |
| DEW POINT TEMP.                 | C       | •                    |                                    |                                 |
| RELATIVE HUMIDITY               | %       |                      | •                                  |                                 |
| ATMOSPHERIC STATION<br>PRESSURE | Pa      |                      | •                                  |                                 |
| DIRECT NORMAL RADIATION         | Wh/m2   |                      |                                    | •                               |
| DIFFUSE HORIZONTAL RADIATION    | Wh/m2   |                      |                                    | •                               |
| WIND DIRECTION                  | degrees |                      | •                                  |                                 |
| WIND SPEED                      | m/s     |                      | •                                  |                                 |
| TOTAL SKY COVER                 |         |                      | •                                  |                                 |
| PRECIPITABLE WATER              | mm.     |                      | •                                  |                                 |

ปัญหา อุปสรรคและแนวทางการแก้ไขการสร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่สำหรับโปรแกรม EnergyPlus มีดังนี้

1. เนื่องจากไม่มีข้อมูล Horizontal Infrared Radiation Intensity จึงใช้ค่า Total Sky Cover และค่า Opaque Sky Cover แทน โดยค่า Opaque Sky Cover ใช้ค่าโดยประมาณร้อยละ 70 ของค่า Total Sky Cover

2. ค่า Present Weather Codes จะเน้นไปที่ค่าปรากฏการณ์ฝน เป็นค่าลำดับที่ 2 ในจำนวน 9 ลำดับ (ลำดับอื่นๆแทนค่าด้วยเลข 9 หมายถึงไม่มีการเก็บข้อมูลในเรื่องนั้นๆ) ซึ่งโปรแกรมระบุว่าเป็นค่าสำคัญที่ทำให้ผนังอาคารเปียก จะมีผลต่อการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในอาคาร<sup>2</sup> โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อบ่งบอกระดับความรุนแรงของฝนในรายชั่วโมง

<sup>2</sup> EnergyPlus Manual Documentation Version 2.2, “Weather Converter Program”, Auxiliary Program, (2008), 40.

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณน้ำฝน และความหมาย

| ปริมาณน้ำฝน (มม.) | ความหมาย    |
|-------------------|-------------|
| น้อยกว่า 0.1      | ไม่มีฝน     |
| 0.1 – 35.0        | ฝนตกน้อย    |
| 35.1 – 90.0       | ฝนตกปานกลาง |
| 90 ขึ้นไป         | ฝนตกหนักมาก |

ที่มา : ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่

ความหมายและการแทนค่าในโปรแกรม EnergyPlus

1. ไม่มีปริมาณน้ำฝน แทนค่าใน Present Weather Codes ด้วยเลข 9 เมื่อ Present Weather Observation แทนค่าด้วยเลข 0
2. ปริมาณน้ำฝน 0.1 - 35.0 มม. แทนค่าใน Present Weather Codes ด้วยเลข 0 หมายถึง ฝนตกน้อย
3. ปริมาณน้ำฝน 35.1 - 90.0 มม. แทนค่าใน Present Weather Codes ด้วยเลข 1 หมายถึง ฝนตกปานกลาง
4. ปริมาณน้ำฝน 90.1 - 100 มม. แทนค่าใน Present Weather Codes ด้วยเลข 2 หมายถึง ฝนตกหนัก

#### 4. การเลือกบ้านกรณีศึกษา

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยมุ่งศึกษาการใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป ดังนั้นบ้านกรณีศึกษาจึงถูกกำหนดให้เป็นบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ขนาดปานกลางที่มีรูปแบบที่สามารถตั้งอยู่ได้ในพื้นที่กรุงเทพฯและเชียงใหม่ มีพื้นที่ใช้สอยเหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการของผู้อยู่อาศัย โครงสร้างทั่วไปและวัสดุเป็นแบบที่พบได้ตามท้องตลาด โดยมีรายละเอียดของบ้านดังนี้

1. เป็นบ้านพักอาศัยสองชั้น พื้นที่ใช้สอยของอาคารเท่ากับ 150 ตารางเมตร
2. ชั้นล่างประกอบด้วย ที่จอดรถ 2 คัน ห้องรับแขก ห้องทานอาหาร ห้องครัว ห้องน้ำ 1 ห้อง
3. ชั้นบนประกอบด้วย ห้องนอนใหญ่ 1 ห้อง ห้องนอนเล็ก 2 ห้อง ห้องน้ำ 2 ห้อง

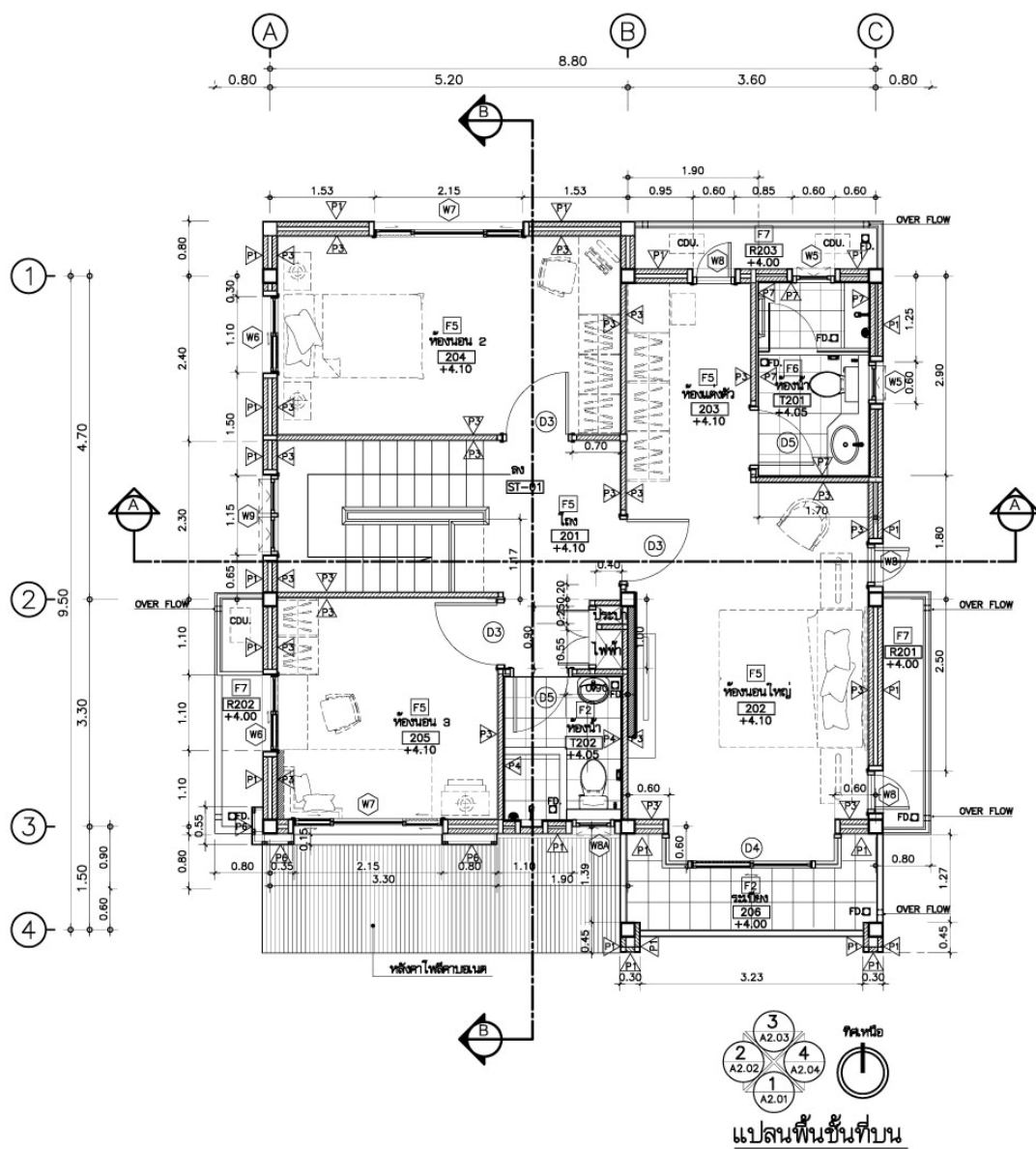
4. ความสูงระหว่างพื้นถึงฝ้าเพดานชั้นล่างเท่ากับ 2.80 เมตร
5. ความสูงระหว่างพื้นชั้นที่สองถึงฝ้าเพดานเท่ากับ 2.60 เมตร

โดยมีรายละเอียดการใช้วัสดุในส่วนต่างๆขององค์ประกอบอาคารดังนี้

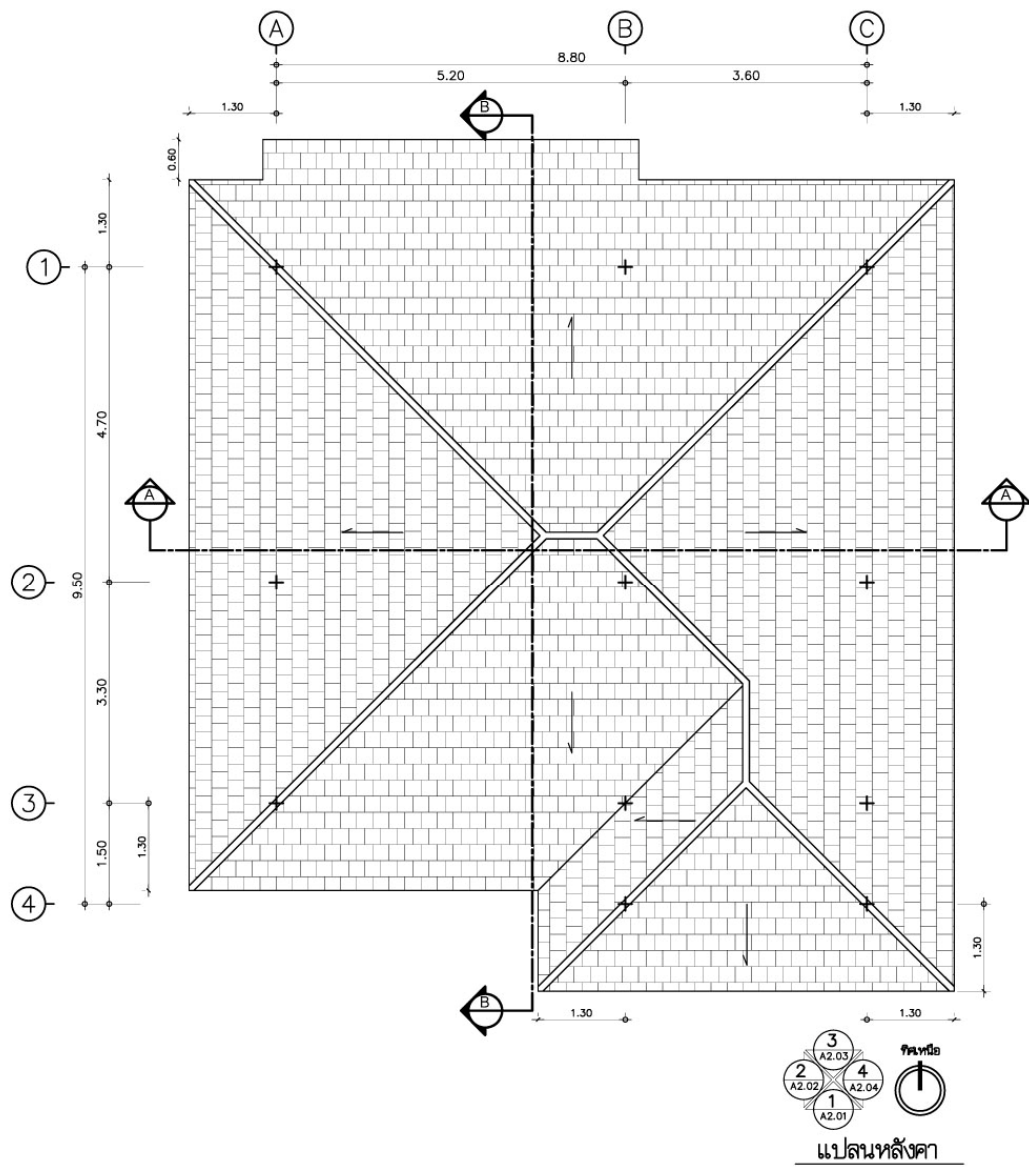
1. พื้นชั้นล่าง พื้น คสล. หนา 10 ซม. ปูกระเบื้องเซรามิก
2. พื้นห้องน้ำชั้นล่าง พื้น คสล. หนา 10 ซม. ปูกระเบื้องเซรามิก
3. พื้นชั้นบน พื้น คสล. หนา 10 ซม. ปูพื้น Laminate
4. พื้นห้องน้ำชั้นบน พื้น คสล. หนา 10 ซม. ปูกระเบื้องเซรามิก
5. ผนังภายนอกทั่วไป ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม.
6. ผนังภายในทั่วไป ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม.
7. ผนังห้องน้ำ ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม. ภายในบุกระเบื้องเซรามิก
8. ฝ้าเพดานชั้นที่ 1 ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม.
9. ฝ้าเพดานชั้นที่ 2 ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม.
10. หลังคา กระเบื้องซีแพคโมเนีย
11. หน้าต่าง กระจกใสสีเขียว หนา 8 มม.



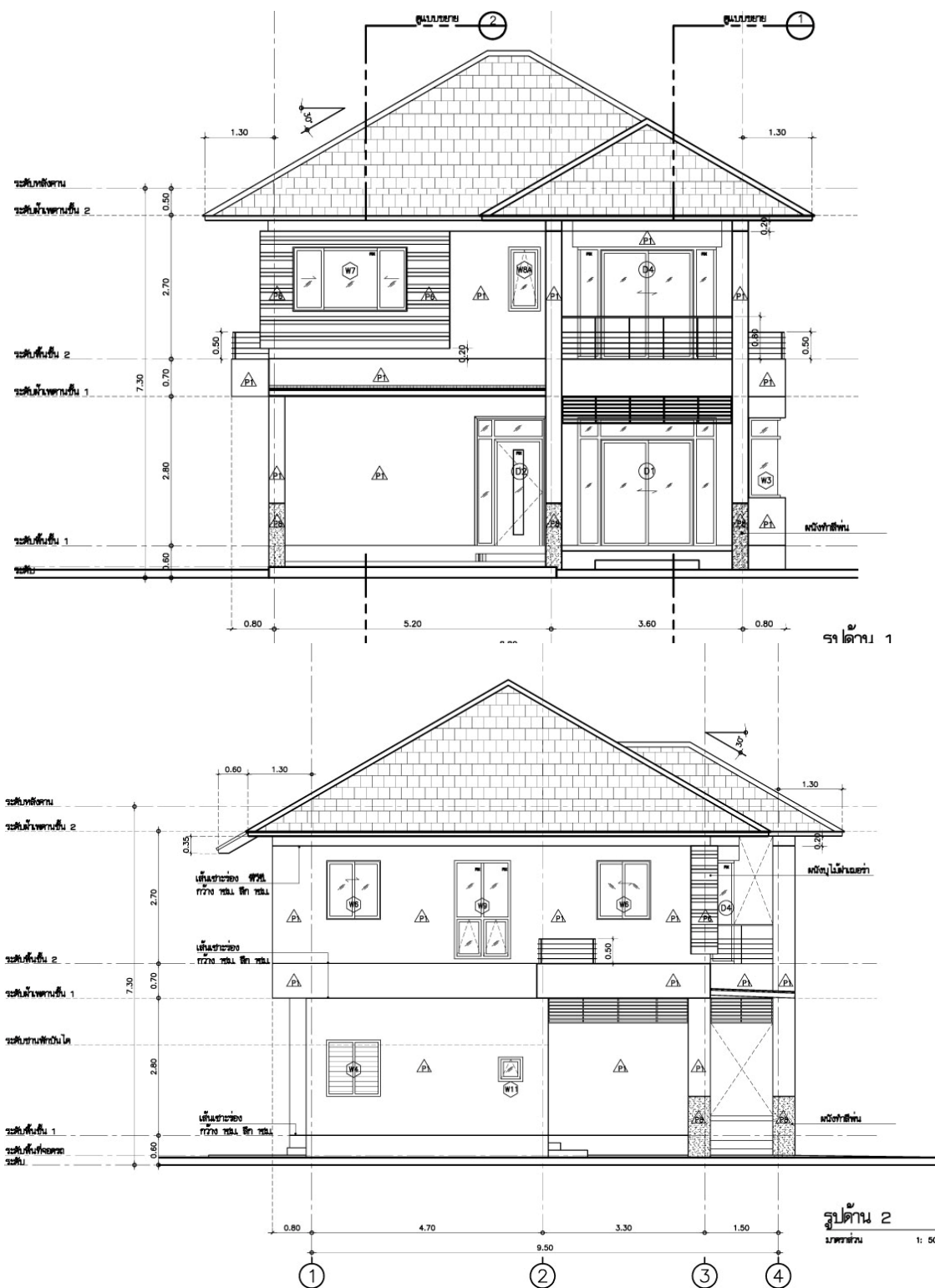
ภาพที่ 15 แสดงแบบแปลนชั้นล่างของบ้านกรณีศึกษา



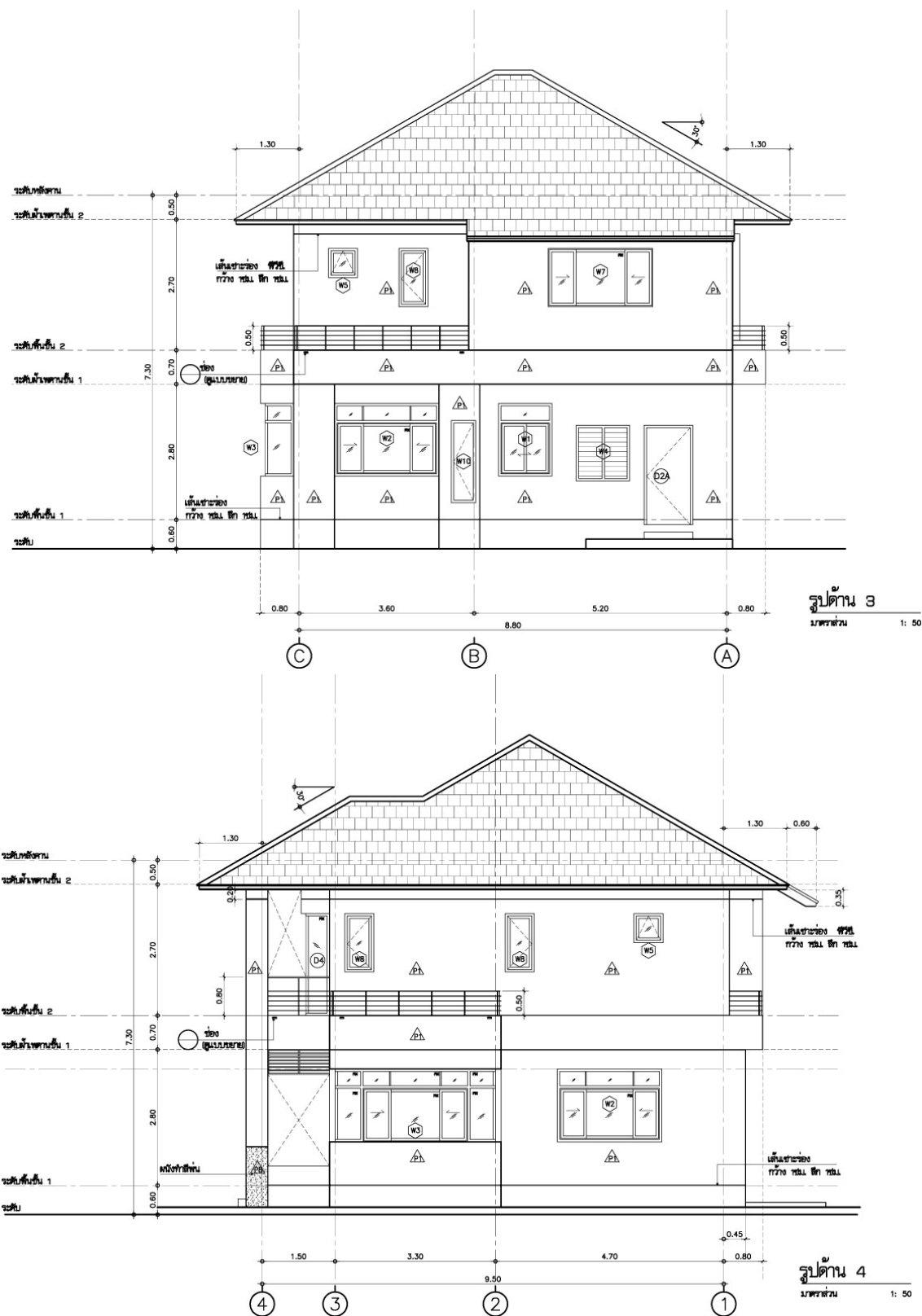
ภาพที่ 16 แสดงแบบแปลนชั้นบนของบ้านกรณีศึกษา



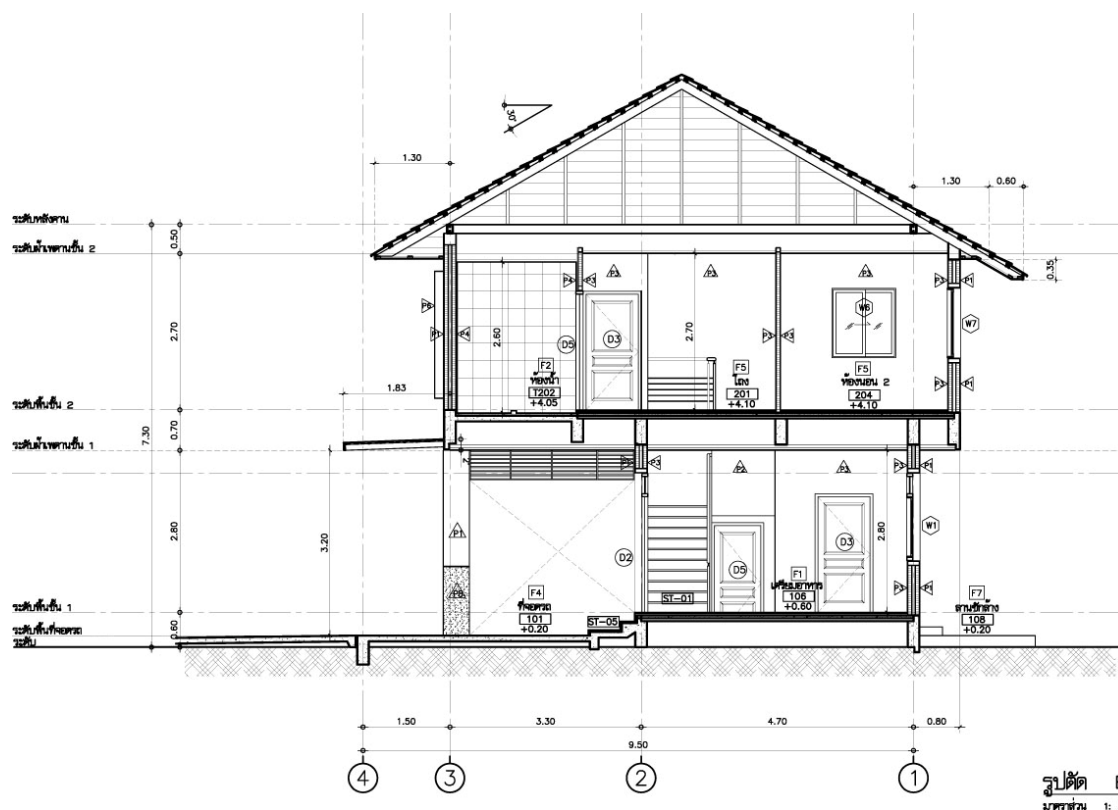
ภาพที่ 17 แสดงแบบแปลนหลังคาของบ้านกรณีศึกษา



ภาพที่ 18 แสดงรูปด้านของบ้านกรณีศึกษา



ภาพที่ 19 แสดงรูปด้านของบ้านกรณีศึกษา



ภาพที่ 20 แสดงรูปตัดของบ้านกรณีศึกษา

## 5. การจำลองอาคารในโปรแกรม EnergyPlus

### 5.1 ที่ตั้งของอาคาร

กำหนดให้ที่ตั้งของบ้านที่ศึกษาอยู่ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน คือ กรุงเทพฯและ เชียงใหม่ หน้าบ้านหันไปทางทิศใต้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### กรุงเทพฯ

ละติจูด 13.92 องศา, ลองจิจูด 100.6 องศา

Time Zone 7, ความสูงจากระดับน้ำทะเล 2 เมตร

#### เชียงใหม่

ละติจูด 18.47 องศา, ลองจิจูด 98.59 องศา

Time Zone 7, ความสูงจากระดับน้ำทะเล 314 เมตร

## 5.2 ข้อมูลสภาพอากาศ (Weather File)

### กรุงเทพฯ

ใช้ชุดข้อมูลสภาพอากาศชื่อ “THA\_Bangkok\_IWEC.epw” ซึ่งสามารถดาวน์โหลดไฟล์ได้จากเว็บไซต์ของโปรแกรม EnergyPlus กำหนดให้โปรแกรมคำนวณผลในช่วง 1 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม – 31 ธันวาคม

### เชียงใหม่

เนื่องจากโปรแกรม Energy Plus ยังไม่มีข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ จึงใช้ข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ ที่ได้แสดงรายละเอียดไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.4 การสร้างข้อมูลสภาพอากาศ (Weather File)

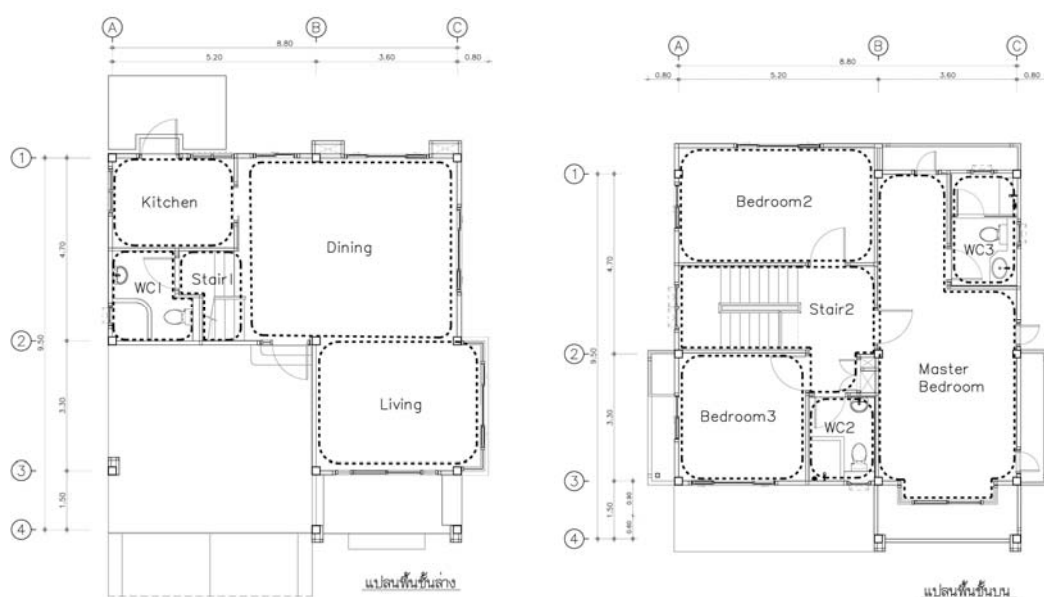
## 5.3 การแบ่งโซนของอาคาร

แบ่งโซนของอาคารตามพื้นที่ใช้สอย ซึ่งจะสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยในการทำกิจกรรม การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และการใช้เครื่องปรับอากาศ

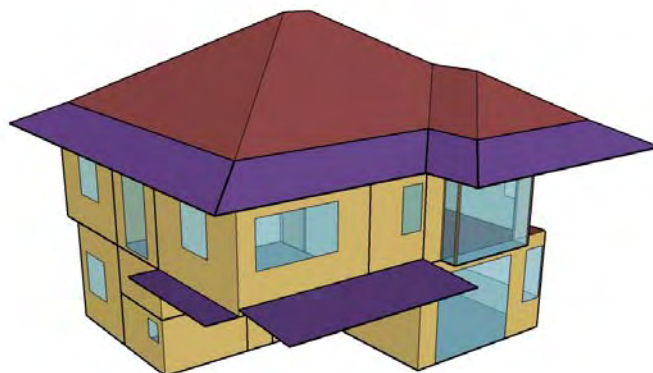
ชั้นล่างมีจำนวน 5 โซน ได้แก่ โซน Living, Dining, Kitchen, WC1 และ Stair1

ชั้นบนมีจำนวน 6 โซน ได้แก่ โซน Stair2, Master Bedroom, Bedroom2, Bedroom3, WC2, WC3

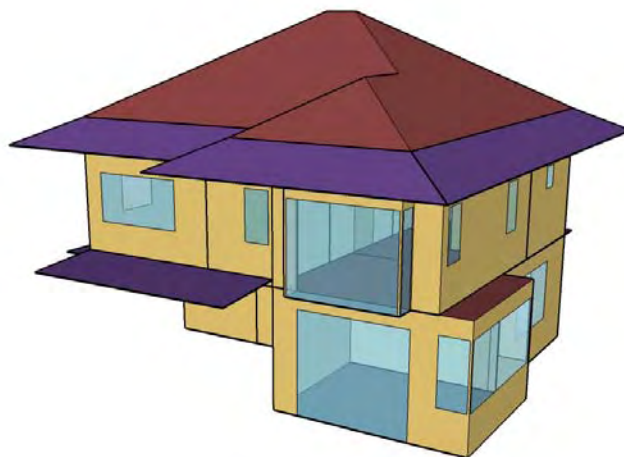
และโซนหลังคา คือ โซน Roof



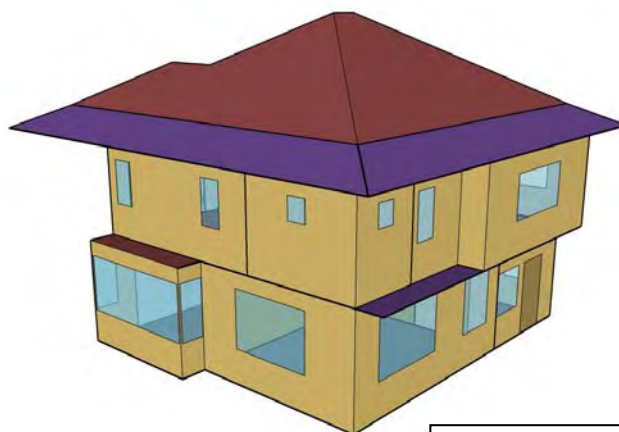
ภาพที่ 21 แสดงการแบ่งโซนของบ้านจำลอง



ทิศตะวันตกและทิศใต้



ทิศใต้และทิศตะวันออก



ทิศตะวันออกและทิศเหนือ

ภาพที่ 22 แสดงภาพสามมิติของบ้านจำลอง

#### 5.4 วัสดุที่ใช้และคุณสมบัติของวัสดุ

ข้อมูลวัสดุที่นำมาใช้รวบรวมมาจาก พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน เอกสาร ตำรา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต และข้อมูลที่มีอยู่ในโปรแกรม EnergyPlus โดยนำมาพิจารณาประกอบกัน โดยยึดข้อมูลที่ปรากฏในพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานเป็นหลัก

ตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดการใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในบ้านจำลอง

| ลำดับ | รายการ                     | Roughness   | Thickness (m.) | Conductivity (W/m-K) | Density (kg/m <sup>3</sup> ) | Specific Heat (J/kg-K) | Absorptance : Thermal | Absorptance : Solar | Absorptance : Visible |
|-------|----------------------------|-------------|----------------|----------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 1     | พื้นปูกระเบื้อง เซรามิก    | Very Smooth | 0.008          | 0.338                | 1200                         | 800                    | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 2     | พื้น Laminate              | Smooth      | 0.076          | 0.713                | 1360                         | 1260                   | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 3     | พื้น คสล. หน้า 10 ซม.      | Rough       | 0.1            | 1.442                | 2400                         | 920                    | 0.9                   | 0.7                 | 0.7                   |
| 4     | ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ      | Smooth      | 0.1            | 0.807                | 1760                         | 837                    | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 5     | ผนังกรุกระเบื้องเซรามิก    | Very Smooth | 0.008          | 0.338                | 1200                         | 800                    | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 6     | แผ่นยิปซัมบอร์ด 9 มม.      | Smooth      | 0.09           | 0.191                | 880                          | 1090                   | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 7     | แผ่นสมาร์ทบอร์ด หน้า 8 มม. | Smooth      | 0.08           | 0.084                | 1260                         | 950                    | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 8     | หลังคากระเบื้องซีแพค       | Rough       | 0.0127         | 0.993                | 2400                         | 920                    | 0.9                   | 0.7                 | 0.7                   |
| 9     | แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์        | Smooth      | 0.00015        | 221                  | 2740                         | 896                    | 0.05                  | 0.15                | 0.15                  |
| 10    | ฉนวนใยแก้ว หน้า 1 นิ้ว     | Smooth      | 0.025          | 0.036                | 16                           | 960                    | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 11    | ฉนวนใยแก้ว หน้า 2 นิ้ว     | Smooth      | 0.050          | 0.036                | 16                           | 960                    | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 12    | ฉนวนใยแก้ว หน้า 3 นิ้ว     | Smooth      | 0.076          | 0.036                | 16                           | 960                    | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 13    | ฉนวนใยแก้ว หน้า 4 นิ้ว     | Smooth      | 0.101          | 0.036                | 16                           | 960                    | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 14    | ฉนวนใยแก้ว หน้า 5 นิ้ว     | Smooth      | 0.126          | 0.036                | 16                           | 960                    | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |

| ลำดับ | รายการ                  | Roughness     | Thickness (m.) | Conductivity (W/m-K) | Density (kg/m <sup>3</sup> ) | Specific Heat (J/kg-K) | Absorptance : Thermal | Absorptance : Solar | Absorptance : Visible |
|-------|-------------------------|---------------|----------------|----------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 15    | ฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้ว   | Smooth        | 0.152          | 0.036                | 16                           | 960                    | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 16    | ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 ซม.  | Smooth        | 0.002          | 0.029                | 45                           | 1210                   | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 17    | ฉนวนโฟม PE หนา 0.5 ซม.  | Smooth        | 0.005          | 0.029                | 45                           | 1210                   | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 18    | ฉนวนโฟม PE หนา 1 ซม.    | Smooth        | 0.01           | 0.029                | 45                           | 1210                   | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 19    | ฉนวนโฟม PE หนา 1.5 ซม.  | Smooth        | 0.015          | 0.029                | 45                           | 1210                   | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 20    | ฉนวนโฟม PE หนา 2 ซม.    | Smooth        | 0.02           | 0.029                | 45                           | 1210                   | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |
| 21    | ไม้เนื้อแข็ง หนา 1 นิ้ว | Medium Smooth | 0.0254         | 0.15                 | 608                          | 1630                   | 0.9                   | 0.5                 | 0.5                   |

ตารางที่ 9 แสดงค่า Thermal Resistance ของช่องว่างอากาศ

| ลำดับ | รายการ                                                                                  | Thermal Resistance (m <sup>2</sup> -K/W) |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1     | ช่องว่างอากาศในแนวตั้ง ช่องอากาศลึก 10 ซม.                                              | 0.16                                     |
| 2     | ช่องว่างอากาศในแนวระนาบ ช่องอากาศลึก 10 ซม.                                             | 0.174                                    |
| 3     | ช่องว่างอากาศแนวหลังคา ความชัน 30 องศา โดยมีค่าเฉลี่ยความกว้างของช่องอากาศเท่ากับ 6 ซม. | 0.9975                                   |

ที่มา : พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พศ. 2535

ตารางที่ 10 แสดงคุณสมบัติของกระจกใสสีเขียว หนา 8 มม.

| คุณสมบัติ                                          | ค่า              |
|----------------------------------------------------|------------------|
| Optical Data Type                                  | Spectral Average |
| Thickness (m)                                      | 0.008            |
| Solar Transmittance at Normal Incidence            | 0.487            |
| Solar Reflectance at Normal Incidence : Front Side | 0.056            |

| คุณสมบัติ                                            | ค่า   |
|------------------------------------------------------|-------|
| Solar Reflectance at Normal Incidence : Back Side    | 0.056 |
| Visible Transmittance at Normal Incidence            | 0.749 |
| Visible Reflectance at Normal Incidence : Front Side | 0.070 |
| Visible Reflectance at Normal Incidence : Back Side  | 0.070 |
| IR Transmittance at Normal Incidence                 | 0.0   |
| IR Hemispherical Emissivity : Front Side             | 0.84  |
| IR Hemispherical Emissivity : Back Side              | 0.84  |
| Conductivity (W/m-K)                                 | 0.9   |

ที่มา : EnergyPlus Version 2.2, DataSet

### 5.5 ผู้ใช้สอยและพฤติกรรมการอยู่อาศัย

งานวิจัย บ้านประหยัดพลังงานที่ใช้ธรรมชาติร่วมกับระบบปรับอากาศ (บ้านต้นแบบในเขตชานเมืองกรุงเทพมหานคร)<sup>3</sup> สํารวจบ้านเดี่ยวพักอาศัย 2 ชั้น ขนาดปานกลางที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมไม่เกิน 150 – 250 ตารางเมตร พบว่าพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยเกือบ 100% จะออกไปทำงานหรือเรียนหนังสือในช่วงเวลากลางวันของวันธรรมดา ช่วงเวลาที่คน

อาศัยอยู่ในบ้านเป็นช่วง 16.00 น. – 08.00 น. ของวันธรรมดาและตลอดทั้งวันในวันหยุด และใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ในห้องนอน รองลงมาคือห้องนั่งเล่นหรือห้องรับแขกที่ส่วนมากมักเป็นห้องเดียวกัน บ้านเกือบทุกหลังที่สำรวจมีการติดเครื่องปรับอากาศมากที่สุดในห้องนอน เครื่องปรับอากาศมักถูกเปิดในช่วงหัวค่ำ กลางคืน และช่วงที่มีอากาศร้อน

งานวิจัยนี้กำหนดให้จำนวนผู้ใช้สอยในบ้านจำลองมี 4 คน ประกอบด้วย พ่อ แม่ และ ลูก 2 คน พ่อแม่ทำงานวันจันทร์ถึงศุกร์ ลูกทั้งสองอยู่ในช่วงวัยเรียน ไปเรียนวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ช่วงวันหยุดสมาชิกอยู่บ้านเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะการอยู่อาศัยในวันธรรมดาและวันหยุด มีรายละเอียดต่างกัันดังนี้

#### วันธรรมดา

สมาชิกในครอบครัวตื่นนอนเวลา 06.00 น.

---

<sup>3</sup> ปรศณี เมฆศรีสวัสดิ์, “บ้านประหยัดพลังงานที่ใช้ธรรมชาติร่วมกับระบบปรับอากาศ (บ้านต้นแบบในเขตชานเมืองกรุงเทพมหานคร)” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2548).

ทานอาหารมื้อเช้าในช่วงเวลา 07.00 - 07.30 น.

ไปทำงานและเรียนหนังสือ ช่วงเวลา 8.00 - 17.00 น.

สมาชิกจะกลับบ้านอีกครั้ง เวลาประมาณ 17.00 - 18.00 น.

ทานอาหารมื้อเย็นเวลา 18.00 - 19.00 น.

ช่วงเวลานอนหลับพักผ่อนคือ 22.00 - 06.00 น.

### วันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุด

สมาชิกในครอบครัวจะตื่นนอนเวลา 07.00 น.

ทานอาหารมื้อเช้าเวลา 08.00 - 09.00 น.

พักผ่อนอยู่กับบ้าน ช่วงเวลาระหว่างมื้อเช้าและมื้อกลางวัน

ทานอาหารมื้อเที่ยงเวลา 12.00 - 13.00 น.

พักผ่อนอยู่กับบ้าน ช่วงเวลาระหว่างมื้อกลางวันและมื้อเย็น

ทานอาหารมื้อเย็นเวลา 18.00 - 19.00 น.

ช่วงเวลานอนหลับพักผ่อนคือ 22.00 - 07.00 น.

### 5.6 จำนวนผู้ใช้สอยและกิจกรรม

การทำกิจกรรมของคนในบ้านก่อให้เกิดความร้อนที่ถ่ายเทออกมาจากร่างกาย เรียกว่าค่า Metabolic Rate แสดงดังตาราง

ตารางที่ 11 แสดงกิจกรรมและ Metabolic Rate

| กิจกรรม         | Metabolic Rate<br>(W/person) |
|-----------------|------------------------------|
| นั่งพักผ่อนเฉยๆ | 108                          |
| นอน             | 72                           |
| ทำอาหาร         | 171                          |
| พิมพ์งาน        | 117                          |
| ยืน, ผ่อนคลาย   | 126                          |

ที่มา : EnergyPlus Manual Documentation Version 2.2, "Group Internal Gain", Input-Output Reference, (2008), 260-261.

### 5.7 การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า

เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยทำให้เกิดความร้อนในขณะใช้งาน การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านจำลองแสดงดังตาราง

ตารางที่ 12 แสดงเครื่องใช้ไฟฟ้าของแต่ละโซนและเวลาใช้งานในวันธรรมดาและวันหยุด

| โซน               | พื้นที่ใช้<br>สอย       | อุปกรณ์ไฟฟ้า           | กำลังไฟฟ้า<br>(วัตต์) | เวลาใช้งาน (น.)<br>วันธรรมดา | เวลาใช้งาน (น.)<br>วันหยุด |
|-------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|
| Living            | ห้องรับแขก<br>/นั่งเล่น | -พัดลมตั้งพื้น 16"     | 68                    | 19-21                        | 9-12                       |
|                   |                         | -โทรทัศน์สี 26"        | 95                    | 19-21                        | 9-12, 13-18,<br>19-21      |
|                   |                         | -เครื่องเล่นวีดีโอ     | 30                    | 19-21                        | 9-12, 13-18,<br>19-21      |
|                   |                         | -กล่องสัญญาณ<br>เคเบิล | 15                    | 19-21                        | 9-12, 13-18,<br>19-21      |
| Dining            | ทานอาหาร                | -พัดลมตั้งพื้น 16"     | 68                    | 7-8, 18-19                   | 8-9, 12-13, 18-19          |
| Kitchen           | ครัว                    | -ตู้เย็น 6 ลบ.ฟุต      | 88                    | 0-24                         | 0-24                       |
|                   |                         | -เครื่องปั่นนมบั้ง     | 850                   | 6.20-6.30                    | 7.20-7.30                  |
|                   |                         | -เตาไมโครเวฟ           | 1200                  | 6.20-6.30<br>17.30-17.40     | 7.20-7.30<br>17.30-17.40   |
|                   |                         | -กระติกน้ำร้อน<br>2.4L | 600                   | 6.00-6.30<br>17.30-18.00     | 7.00-7.30<br>17.30-18.00   |
|                   |                         | -หม้อหุงข้าว           | 600                   | 6.00-6.30<br>17.30-18.00     | 7.00-7.30<br>17.30-18.00   |
| Master<br>Bedroom | ห้องนอน<br>ใหญ่         | -คอมพิวเตอรื           | 230                   | 21-22                        | 21-22                      |
|                   |                         | -จอภาพ                 | 102                   | 21-22                        | 21-22                      |
| Bedroom2          | ห้องนอน2                | -คอมพิวเตอรื           | 230                   | 21-22                        | 21-22                      |
|                   |                         | -จอภาพ                 | 102                   | 21-22                        | 21-22                      |
| Bedroom3          | ห้องนอน3                | -คอมพิวเตอรื           | 230                   | 21-22                        | 21-22                      |
|                   |                         | -จอภาพ                 | 102                   | 21-22                        | 21-22                      |

### 5.8 การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง

หลอดไฟที่เลือกใช้เป็นแบบ Compact Fluorescent แต่ละหลอดมีกำลังไฟฟ้า 11 วัตต์ ติดตั้งแบบฝังในฝ้าเพดาน

ตารางที่ 13 แสดงปริมาณไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในแต่ละโซนและเวลาการใช้งานในวันธรรมดาและวันหยุด

| โซน            | พื้นที่ใช้สอย        | จำนวน<br>ดวงคอม | เวลาใช้งาน(น.)<br>วันธรรมดา | เวลาใช้งาน (น.)<br>วันหยุด |
|----------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|
| Living         | ห้องรับแขก/นั่งเล่น  | 4               | 18-21                       | 18-21                      |
| Dining         | ทานอาหาร             | 6               | 7.00-7.30<br>18-19          | 8.00-9.30<br>18-19         |
| Kitchen        | ครัว                 | 2               | 7-8<br>17-18                | 7-8<br>17-18               |
| WC1            | ห้องน้ำ1             | 1               | 18-19                       | 16-17                      |
| WC2            | ห้องน้ำ2             | 2               | 6-7<br>20-21                | 7-8<br>20-21               |
| WC3            | ห้องน้ำ3             | 2               | 6-7<br>20-21                | 7-8<br>20-21               |
| Master Bedroom | ห้องนอนใหญ่          | 8               | 6-7<br>21-22                | 7-8<br>21-22               |
| Bedroom2       | ห้องนอน2             | 4               | 6-7<br>21-22                | 7-8<br>21-22               |
| Bedroom3       | ห้องนอน3             | 2               | 6-7<br>21-22                | 7-8<br>21-22               |
| Stair1         | โถงบันได<br>ชั้นล่าง | 2               | 6-7<br>20-21                | 7-8<br>20-21               |
| Stair2         | โถงบันได<br>ชั้นบน   | 2               | 6-7<br>20-21                | 7-8<br>20-21               |

### 5.9 การใช้เครื่องปรับอากาศและการควบคุมอุณหภูมิ

ห้องรับแขก ห้องนอนใหญ่ ห้องนอน 2 และห้องนอน 3 เป็นห้องที่เปิดเครื่องปรับอากาศ โดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ 25 °C ห้องรับแขกจะเปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในเวลากลางวันของวันหยุด ส่วนห้องนอนทั้งสามห้องจะเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืนของทุกวัน

ตารางที่ 14 แสดงช่วงเวลาการเปิดเครื่องปรับอากาศของห้องต่างๆ

| โซน            | พื้นที่ใช้สอย       | เวลาใช้งาน (น.)<br>วันธรรมดา | เวลาใช้งาน (น.)<br>วันหยุด |
|----------------|---------------------|------------------------------|----------------------------|
| Living         | ห้องรับแขก/นั่งเล่น | -                            | 13-18                      |
| Master Bedroom | ห้องนอนใหญ่         | 21-6                         | 21-7                       |
| Bedroom2       | ห้องนอน2            | 21-6                         | 21-7                       |
| Bedroom3       | ห้องนอน3            | 21-6                         | 21-7                       |

ในการจำลองเครื่องปรับอากาศของงานวิจัยนี้ ใช้อุปกรณ์ที่โปรแกรม EnergyPlus เรียกว่า Purchased Air ซึ่งเหมาะต่อการหาพลังงานในการปรับอากาศเบื้องต้น โดยจะเป็นเพียงการควบคุมระดับอุณหภูมิภายในห้องให้ได้ตามความต้องการ แต่ไม่มีการควบคุมความชื้น เหมาะสำหรับกรณีที่ยังไม่ได้เลือกระบบปรับอากาศที่จะใช้

### 5.10 เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-Value)

เสื้อผ้าที่สวมใส่ถือเป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อน ซึ่งมีผลต่อสภาวะน่าสบายของคนอยู่อาศัยในบ้าน ในงานวิจัยนี้กำหนดให้คนในบ้านจำลองสวมใส่เสื้อผ้างดังนี้

ตารางที่ 15 แสดงค่า Clo-Value สำหรับผู้ใช้สอยในบ้าน

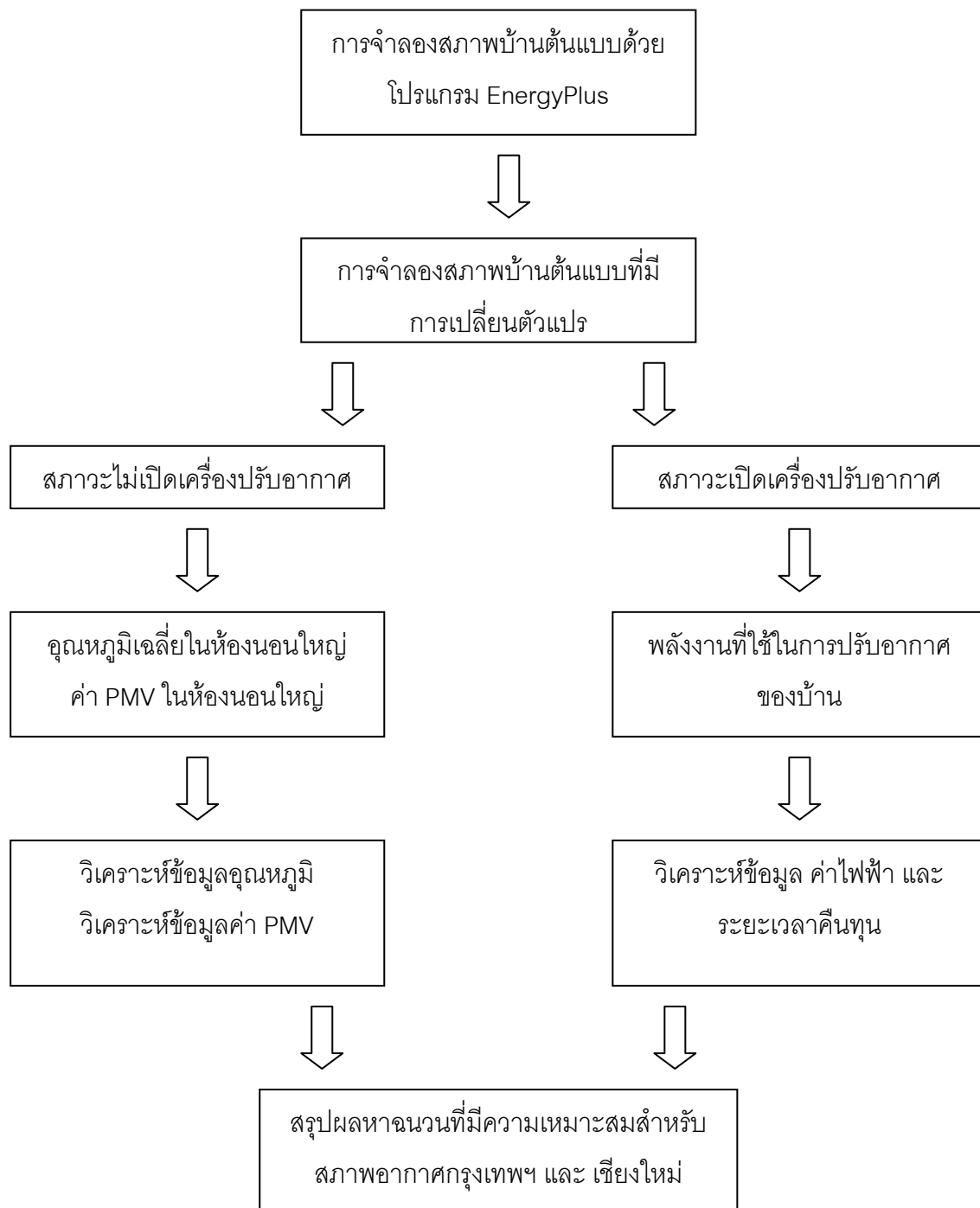
| เพศ                  | เสื้อผ้าที่สวมใส่      | ค่า Clo-Value (clo) |
|----------------------|------------------------|---------------------|
| ชาย<br>(ชุดอยู่บ้าน) | ชุดชั้นในชาย           | 0.04                |
|                      | กางเกงขาสั้น           | 0.19                |
|                      | เสื้อแขนสั้น           | 0.19                |
|                      | รวมเสื้อผ้าใส่อยู่บ้าน | 0.42                |
| ชาย (ชุดนอน)         | ชุดนอนผ้าบาง           | 0.31                |

| เพศ                   | เสื้อผ้าที่สวมใส่      | ค่า Clo-Value (clo) |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
| หญิง<br>(ชุดอยู่บ้าน) | ชุดชั้นในหญิง          | 0.04                |
|                       | กางเกงขายาว            | 0.19                |
|                       | เสื้อแขนสั้น           | 0.19                |
|                       | รวมเสื้อผ้าใส่อยู่บ้าน | 0.42                |
| หญิง (ชุดนอน)         | ชุดนอนผ้าบาง           | 0.31                |

ที่มา : Garment Insulation Value, ASHRAE Standrad 55 1992, 8.9.

## 6. ขั้นตอนในการทดลองและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

### 6.1 ขั้นตอนในการทดลอง



## 6.2 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากโปรแกรม EnergyPlus ที่นำมาใช้วิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย **อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องนอนใหญ่** ( $^{\circ}\text{C}$ ) ตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อศึกษาในสภาวะไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ

**ค่า PMV ในห้องนอนใหญ่** ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. เป็นช่วงเวลาที่มีคนอาศัยอยู่ในห้องนอนใหญ่ เพื่อศึกษาสภาวะน่าสบาย ในสภาวะไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ

**ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศของบ้านจำลอง** (kWh) เพื่อศึกษาในสภาวะเปิดเครื่องปรับอากาศของบ้านทั้งหลัง

ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ด้วยการแปลงข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปที่สามารถนำไปสรุปผลได้ดังนี้

6.2.1 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องนอนใหญ่ จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

6.2.1.1 ศึกษาอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน ใน 3 ฤดูกาล เพื่อดูค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน กลางคืน และความแตกต่างของอุณหภูมิจากบ้านต้นแบบ

6.2.1.2 ศึกษาถึงความแตกต่างของอุณหภูมิภายในห้อง เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในช่วงสภาวะสบาย จาก ASHRAE Standard 55 ระบุว่าในขอบเขตของสภาวะน่าสบายในฤดูร้อน จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 23 – 26 องศาเซลเซียส ในการวิเคราะห์จะนำค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละชั่วโมงในรอบ 1 ปี มารวมกัน (สมการที่ 1) หากผลรวมของอุณหภูมิที่แตกต่างจากช่วง 23 - 26 องศาเซลเซียส มีค่าน้อย จะเป็นผลดี เพราะหมายถึงในแต่ละชั่วโมงมีอุณหภูมิที่ห่างจากสภาวะน่าสบายเป็นจำนวนน้อย

$$\Delta T = \sum |T_a - T_o| \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ  $\Delta T$  = ผลรวมของอุณหภูมิในแต่ละชั่วโมงที่แตกต่างจากอุณหภูมิ 23 - 26 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 1 ปี ในห้องนอนใหญ่

$T_a$  = อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องนอนใหญ่ ในแต่ละชั่วโมงใน 1 ปี ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_0$  = อุณหภูมิระหว่าง 23 - 26 °C

ถ้า  $T_a < 23$ ,  $T_0 = 23$

ถ้า  $T_a > 26$ ,  $T_0 = 26$

ถ้า  $T_a$  มีค่าอยู่ในช่วง 23 – 26,  $T_0 = T_a$

ในเรื่องของอุณหภูมิจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นช่วงเวลาคือ ช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. เป็นช่วงเวลาที่คาดว่าไม่มีคนอาศัยอยู่ในห้องนอนใหญ่ ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. เป็นช่วงเวลาที่คาดว่ามีความร้อนอยู่ในห้องนอนใหญ่ และช่วงเวลาทั้งวันเพื่อดูภาพรวมของผลของการใช้ฉนวนกันความร้อนกับบ้านจำลอง

6.2.2 ศึกษาถึงความแตกต่างของค่า PMV ภายในห้อง เมื่อเปรียบเทียบกับค่า PMV ในช่วงสภาวะน่าสบาย จากมาตรฐาน ASHRAE กำหนดให้ในสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้นั้น ควรมีคนคนที่พึงพอใจกับสภาพอากาศอย่างน้อย 80% โดยค่า PPD จะเท่ากับ 20% ซึ่งจะสอดคล้องกับค่า PMV ที่มีค่าอยู่ระหว่าง -0.5 – 0.5 ในการวิเคราะห์จะนำค่าความแตกต่างของค่า PMV ในแต่ละชั่วโมงในรอบ 1 ปี มารวมกัน (สมการที่ 2) หากผลรวมของค่า PMV ที่ออกห่างไปจากค่า -0.5 – 0.5 มีค่าน้อย จะเป็นผลดี เพราะหมายถึงมีผลรวมของสภาวะที่ไม่น่าสบายเป็นจำนวนน้อย

การคำนวณค่า PMV ของโปรแกรม EnergyPlus จะมีการคำนวณเกี่ยวกับค่าพลังงานที่สูญเสียจากร่างกายในรูปแบบต่างๆ เช่น เหงื่อ และการหายใจ เป็นต้น นอกจากนี้การคำนวณค่า PMV ได้คำนึงถึงปัจจัยสภาพแวดล้อมภายในห้อง เช่น อุณหภูมิภายในห้อง Mean Radiant Temperature เป็นต้น (ดูภาคผนวก ก.)

$$\Delta PMV = \sum |PMV_a - PMV_0| \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ  $PMV_a$  = ค่า PMV ในห้องนอนใหญ่ทุกๆ ชั่วโมงใน 1 ปี

$\Delta PMV$  = ผลรวมของค่า PMV ในแต่ละชั่วโมง ที่ออกห่างไปจากค่า -0.5 - 0.5 ตลอดระยะเวลา 1 ปี ในห้องนอนใหญ่

$PMV_0$  มีค่าระหว่าง -0.5 – 0.5

ถ้า  $PMV_a < -0.5$ ,  $PMV_0 = -0.5$

ถ้า  $PMV_a > 0.5$ ,  $PMV_0 = 0.5$

ถ้า  $PMV_a$  มีค่าอยู่ในช่วง -0.5 – 0.5,  $PMV_0 = PMV_a$

การวิเคราะห์ข้อมูลค่า PMV เลือกช่วงเวลาที่คาดว่ามีความร้อนอยู่ในห้องนอนใหญ่ คือ ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น.

6.2.3 ศึกษาปริมาณพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศของบ้านจำลอง ทำการแปลงให้อยู่ในรูปของค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศของบ้านจำลอง การคิดค่าไฟฟ้าเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้านครหลวง แล้วนำไปหารระยะเวลาคื่นทุน

งานวิจัยนี้กำหนดให้บ้านจำลองใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานอยู่ในระดับ 5 ซึ่งมีค่า EER =  $10.6^4$  มีค่าเทียบเท่ากับค่า COP ดังนี้

$$\text{COP} = \text{EER} / 3.412$$

$$\text{COP} = 10.6 / 3.412$$

$$\text{COP} = 3.106$$

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)} = \text{En/COP}$$

$$\text{เมื่อ En} = \text{Purchased Cooling ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus (kWh)}$$

$$\text{COP} = \text{ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ}$$

การคิดค่าไฟฟ้าตามข้อกำหนดของการไฟฟ้านครหลวง ตาราง 16,17

---

<sup>4</sup>พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2535.

ตารางที่ 16 แสดงการคิดค่าไฟฟ้าประเภทที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)

| ค่าไฟฟ้าต่ำสุด                 | คือ                      | ไม่มีการใช้ไฟฟ้า | 4.67   | บาท |
|--------------------------------|--------------------------|------------------|--------|-----|
| 5 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก | (หน่วยที่ 1-5)           | เป็นเงิน         | 4.96   | บาท |
| 10 หน่วยต่อไป                  | (หน่วยที่ 6-15)          | หน่วยละ          | 0.7124 | บาท |
| 10 หน่วยต่อไป                  | (หน่วยที่ 16-25)         | หน่วยละ          | 0.8993 | บาท |
| 10 หน่วยต่อไป                  | (หน่วยที่ 26-35)         | หน่วยละ          | 1.1516 | บาท |
| 65 หน่วยต่อไป                  | (หน่วยที่ 36-100)        | หน่วยละ          | 1.5348 | บาท |
| 50 หน่วยต่อไป                  | (หน่วยที่ 101-150)       | หน่วยละ          | 1.6282 | บาท |
| 250 หน่วยต่อไป                 | (หน่วยที่ 151-400)       | หน่วยละ          | 2.1329 | บาท |
| เกินกว่า 400 หน่วย             | (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) | หน่วยละ          | 2.4226 | บาท |

ที่มา : การไฟฟ้านครหลวงแห่งประเทศไทย

ตารางที่ 17 แสดงการคิดค่าไฟฟ้าประเภทที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)

| ค่าไฟฟ้าต่ำสุด คือ         | ไม่มีการใช้ไฟฟ้า         | เดือนละ  | 83.18  | บาท |
|----------------------------|--------------------------|----------|--------|-----|
| 35 หน่วย(กิโลวัตต์ชั่วโมง) | (หน่วยที่ 1-35)          | เป็นเงิน | 85.21  | บาท |
| 115 หน่วยต่อไป             | (หน่วยที่ 36-150)        | หน่วยละ  | 1.1236 | บาท |
| 250 หน่วยต่อไป             | (หน่วยที่ 151-400)       | หน่วยละ  | 2.1329 | บาท |
| เกินกว่า 400 หน่วย         | (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) | หน่วยละ  | 2.4226 | บาท |

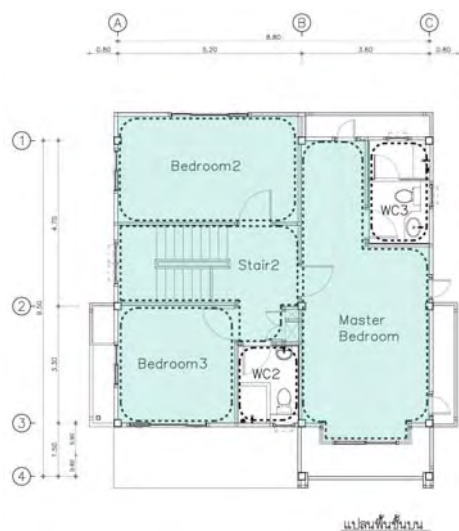
หมายเหตุ : พลังงานไฟฟ้า 1 kWh = ไฟฟ้า 1 หน่วย

ที่มา : การไฟฟ้านครหลวงแห่งประเทศไทย

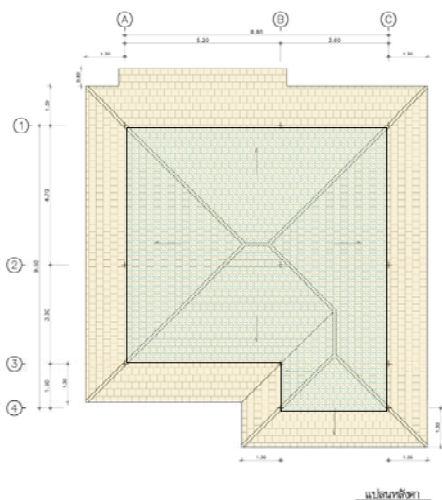
ค่าไฟฟ้าต่อเดือน (บาท) = ค่าไฟฟ้าที่คำนวณจากตาราง + ค่า Ft + ภาษีมูลค่าเพิ่ม

ค่า Ft (Energy Adjustment charge) คือ ค่าการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะมีการปรับทุก ๆ 4 เดือน ค่าประจำเดือน มกราคม – เมษายน 2552 มีค่าเท่ากับ 92.55 สตางค์

การคิดต้นทุนของฉนวนมีดังนี้



พื้นที่ปูฉนวนบนฝ้าเพดาน 66 ตารางเมตร



พื้นที่ปูแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ใต้แป 92 ตารางเมตร

ภาพที่ 23 แสดงส่วนที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนต่างๆ

ตารางที่ 18 ตัวอย่างการคิดต้นทุนฉนวนกันความร้อนในงานวิจัย

| รายการ          | พื้นที่<br>ตร.ม. | ค่าวัสดุ<br>บาท/ตร.ม. | ค่าติดตั้ง<br>บาท/ตร.ม. | รวมราคา |
|-----------------|------------------|-----------------------|-------------------------|---------|
| อลูมิเนียมฟอยล์ | 92               | 90                    | 5                       | 8,740   |
| PE 0.2 cm.      | 66               | 30                    | 10                      | 2,640   |
| อลูมิเนียมฟอยล์ | 92               | 90                    | 5                       | 8,740   |
| รวม             |                  |                       |                         | 11,380  |
| PE 0.5 cm.      | 66               | 75                    | 10                      | 5,610   |
| อลูมิเนียมฟอยล์ | 92               | 90                    | 5                       | 8,740   |
| รวม             |                  |                       |                         | 14,350  |
| PE 1.0 cm.      | 66               | 150                   | 10                      | 10,560  |
| อลูมิเนียมฟอยล์ | 92               | 90                    | 5                       | 8,740   |
| รวม             |                  |                       |                         | 19,300  |

การคิดระยะเวลาคืนทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = C_a / (C_b - C_c)$$

เมื่อ  $C_a$  = ต้นทุนของฉนวน (บาท)

$C_b$  = ค่าไฟฟ้าของบ้านต้นแบบ ใน 1 ปี (บาท)

$C_c$  = ค่าไฟฟ้าของบ้านที่ใช้ฉนวน ใน 1 ปี (บาท)

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ในสองสภาพอากาศคือจังหวัดกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่ ในแต่ละสภาพอากาศจะทำการวิเคราะห์โดยแบ่งตามชนิดของฉนวนกันความร้อนที่ใช้กับบ้านจำลอง ได้แก่

1. แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์
2. ฉนวนใยแก้ว
3. ฉนวนโฟม PE

สำหรับฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE มีทั้งแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน และการใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป

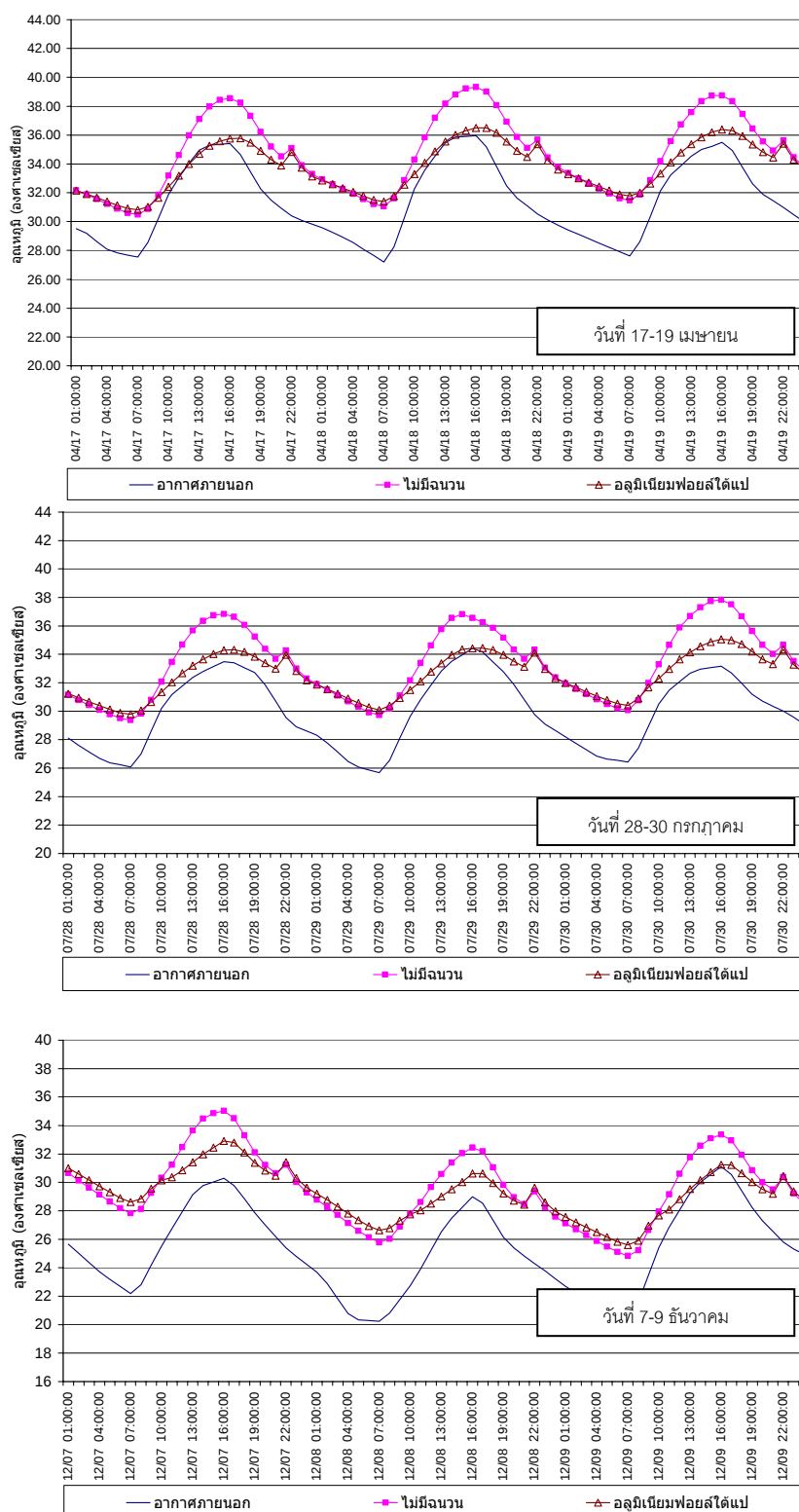
โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างบ้านจำลองที่ไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน กับบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนกันความร้อนข้างต้น ในด้านอุณหภูมิ สภาพะนาสบาย การประหยัดพลังงานในการปรับอากาศ และระยะเวลาคุ้มทุน

“บ้านจำลองที่ไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน” ต่อไปนี้จะแทนด้วยคำว่า บ้านต้นแบบ

#### 1. สภาพอากาศกรุงเทพฯ

##### 1.1 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

1.1.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิตลอดวัน ของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป ในสภาพที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (กรุงเทพฯ)



แผนภูมิที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้แผ่น อลูมิเนียมฟอยล์ได้แป ของวันที่ 17-19 เม.ย., วันที่ 28-30 ก.ค. และวันที่ 7-9 ธ.ค. (กรุงเทพฯ)

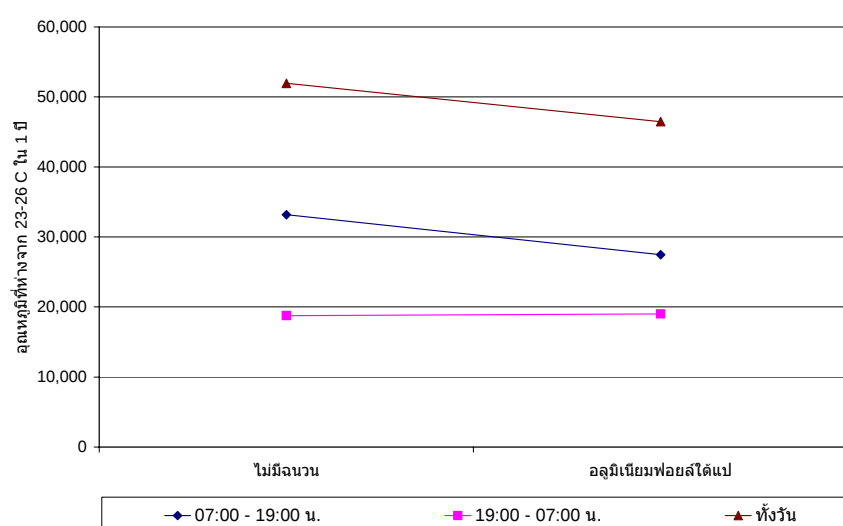
ในวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และวันที่ 7-9 ธันวาคม ในช่วงกลางวัน การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ได้ประมาณ 2 - 4 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงกลางคืน จะทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้นเล็กน้อย ประมาณ 0.5 - 1.0 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ (แผนภูมิที่ 6)

1.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ โดยพิจารณาจากค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (กรุงเทพฯ)

ในช่วงเวลา 07:00 - 19:00 น. บ้านต้นแบบมีค่า  $\Delta T$  เท่ากับ 33,179 องศาเซลเซียส ส่วนบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะมีค่า  $\Delta T$  เท่ากับ 27,462 องศาเซลเซียส การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ได้แปะจึงช่วยลดค่า  $\Delta T$  ลงไปได้ 5,717 องศาเซลเซียส

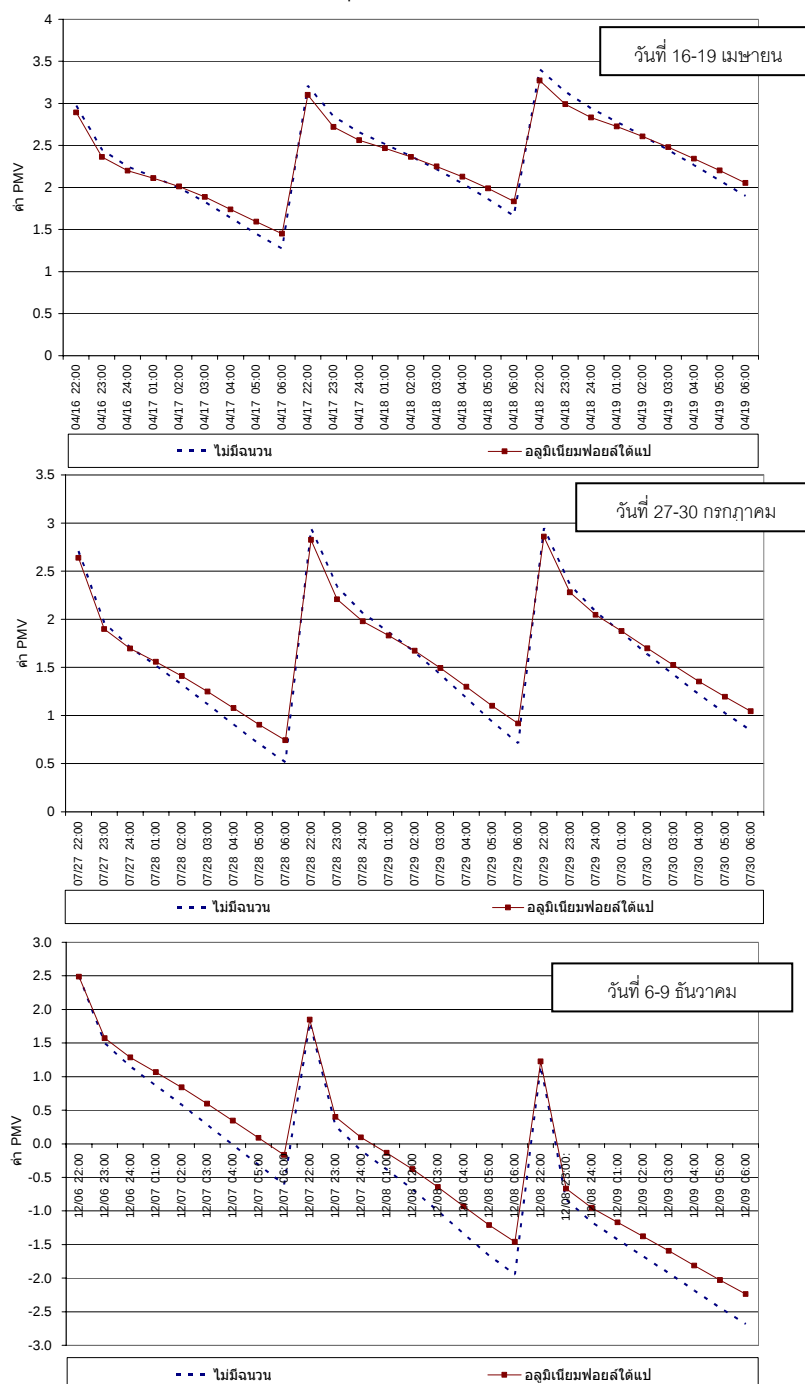
ช่วงเวลา 19:00 - 07:00 น. บ้านต้นแบบมีค่า  $\Delta T$  เท่ากับ 18,774 องศาเซลเซียส บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะมีค่า  $\Delta T$  เท่ากับ 19,009 องศาเซลเซียส การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะทำให้ค่า  $\Delta T$  สูงขึ้น 227 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาจากผลรวมทั้งหมด ช่วงเวลาทั้งวัน บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ 5,490 องศาเซลเซียส หรือคิดเป็นร้อยละ 10.5 เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ (แผนภูมิที่ 7)



แผนภูมิที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (กรุงเทพฯ)

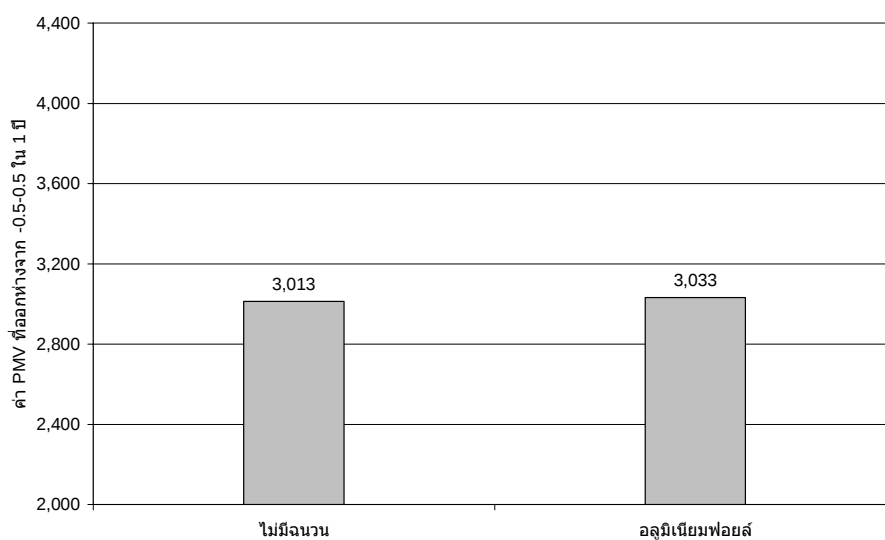
1.1.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ โดยพิจารณาจากความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort) ในห้องนอนใหญ่ ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ)



แผนภูมิที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ ของวันที่ 16-19 เม.ย., วันที่ 27-30 ก.ค. และ วันที่ 6-9 ธ.ค. (กรุงเทพฯ)

ช่วงวันที่ 16-19 เมษายน และ วันที่ 27-30 กรกฎาคม และวันที่ 6-7 ธันวาคม การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ทำให้ค่า PMV ออกห่างจากสภาวะน่าสบายมากกว่าการไม่ใช้ ฉนวนกันความร้อน แต่ในช่วงวันที่ 8 – 9 ธันวาคม การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ ช่วยทำให้เข้า ใกล้สภาวะน่าสบายมากขึ้น (แผนภูมิที่ 8)

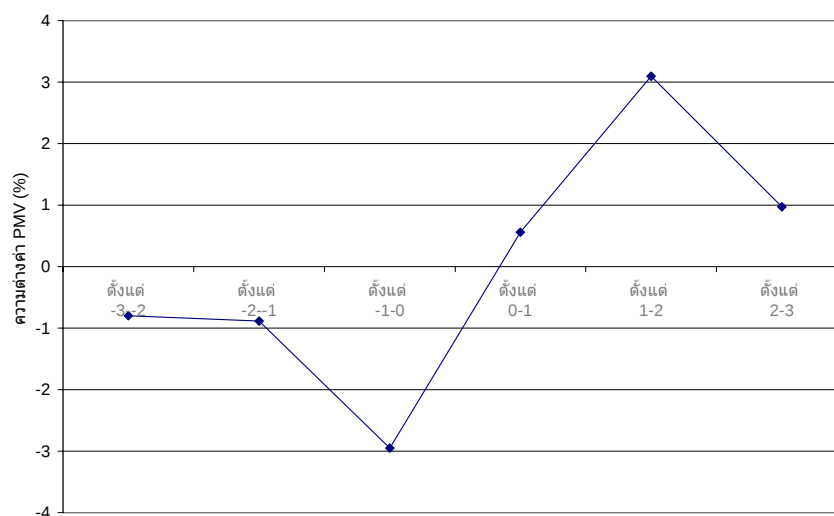
บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้มีค่า  $\Delta$ PMV มากกว่าบ้านต้นแบบ คิดเป็นจำนวน 20 หน่วยต่อปี (แผนภูมิที่ 9)



แผนภูมิที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta$ PMV ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่น อลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ (กรุงเทพฯ)

ตารางที่ 19 แสดงความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบและ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ)

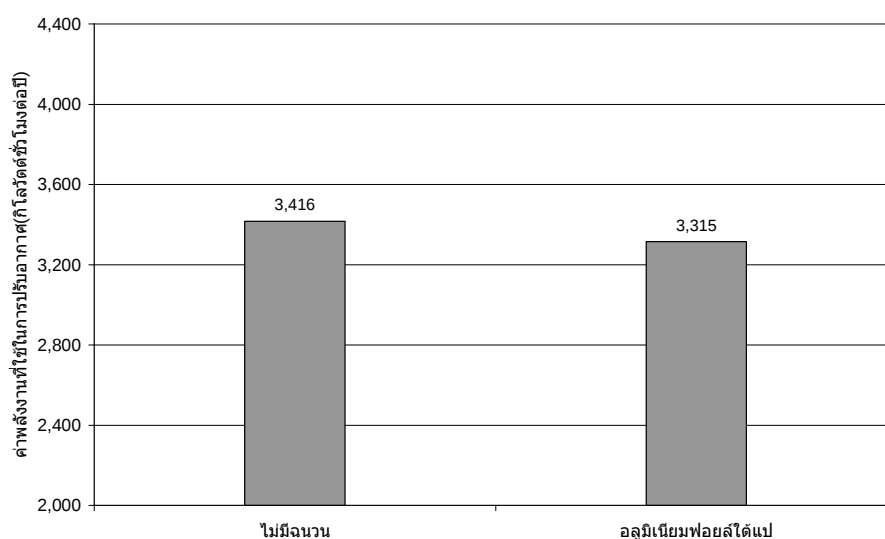
| ความหมาย                              | cold | cool | slightly cool | neutral | slightly warm | warm | hot |
|---------------------------------------|------|------|---------------|---------|---------------|------|-----|
| ดัชนีตัวเลข                           | -3   | -2   | -1            | 0       | 1             | 2    | 3   |
| บ้านต้นแบบ (A)                        | 3    | 4    | 14            | 30      | 26            | 22   |     |
| บ้านใช้แผ่น อลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ (B) | 3    | 3    | 11            | 30      | 29            | 23   |     |
| (B)-(A) (%)                           | 0    | -1   | -3            | 0       | 3             | 1    |     |



แผนภูมิที่ 10 แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ (จากตารางที่ 4.1) ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ)

1.1.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ โดยพิจารณาจากค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศต่อปี (กรุงเทพฯ)

บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะมีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีน้อยกว่าบ้านต้นแบบ 101 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 2.98 (แผนภูมิที่ 11)



แผนภูมิที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (กรุงเทพฯ)

เมื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุนของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

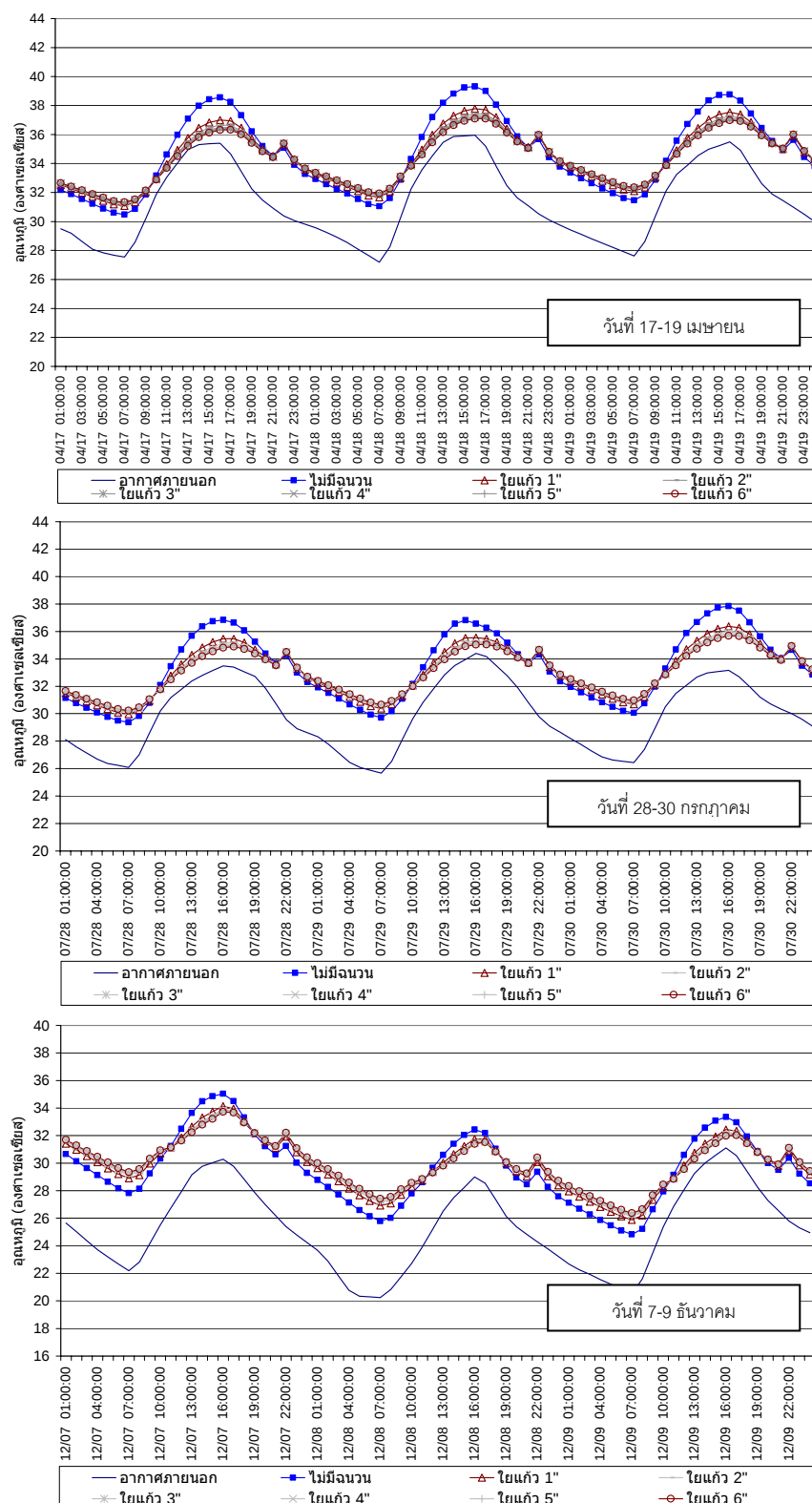
ตารางที่ 20 สรุประยะเวลาคืนทุนของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ (กรุงเทพฯ)

| ฉนวน                         | รวมต้นทุน<br>(บาท) | ค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับ<br>อากาศ /ปี<br>(kWh) | ค่าไฟฟ้า<br>/ปี<br>(บาท) | ประหยัด<br>/ปี<br>(บาท) | ระยะเวลาคืนทุน<br>(ปี) |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1. ไม่มีฉนวน                 | -                  | 3,416                                           | 12,191                   | -                       | -                      |
| 2. แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ | 8,740              | 3,315                                           | 11,783                   | 408                     | 21                     |

## 1.2 ฉนวนใยแก้ว

1.2.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิตลอดวัน ของการใช้ฉนวนใยแก้ว ในสถานะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (กรุงเทพฯ)

ในวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และวันที่ 7-9 ธันวาคม การใช้ฉนวนใยแก้ว หนา 1 – 6 นิ้ว ช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ได้ประมาณ 2 - 4 องศาเซลเซียส ในช่วงกลางวัน ส่วนในช่วงกลางคืน จะทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้นเล็กน้อยประมาณ 0.5 – 1.0 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ (แผนภูมิที่ 12)

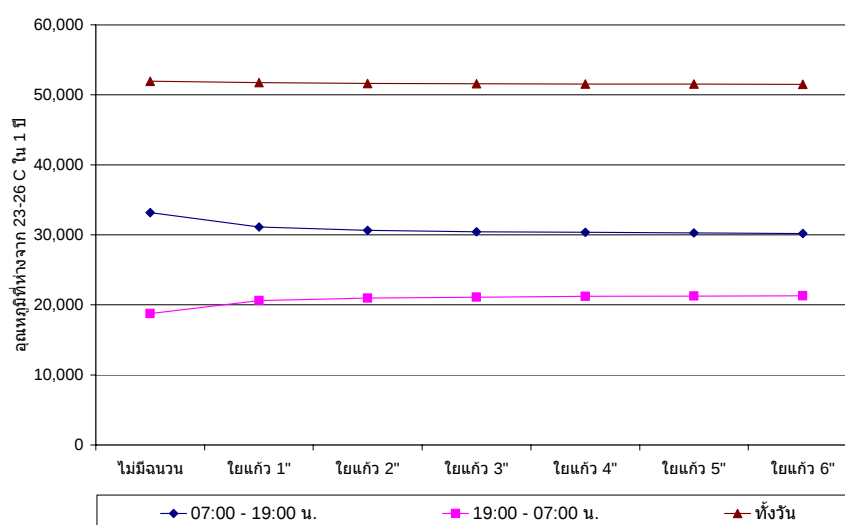


แผนภูมิที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และการใช้ฉนวนใยแก้ว ของวันที่ 17-19 เม.ย., วันที่ 28-30 ก.ค. และวันที่ 7-9 ธ.ค. (กรุงเทพฯ)

1.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้นนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (กรุงเทพฯ)

ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. บ้านจำลองที่ใช้นนวนใยแก้วที่มีความหนา 1 - 6 นิ้ว ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 2,060 - 2,964 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ โดยนวนใยแก้วที่มีความหนามากขึ้นจะช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากขึ้นด้วย แต่ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. จะมีผลกลับกันคือ บ้านจำลองที่ใช้นนวนใยแก้วที่มีความหนา 1 - 6 นิ้ว ทำให้ค่า  $\Delta T$  มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1,832 – 2,514 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ

เมื่อพิจารณาจากผลรวมของช่วงเวลาทั้งวัน บ้านจำลองที่ใช้นนวนใยแก้วที่มีความหนา 1 - 6 นิ้ววางบนฝ้าเพดาน ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 228 - 449 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ นวนใยแก้วที่มีความหนามากขึ้นจะยิ่งช่วยทำให้ค่า  $\Delta T$  ของช่วงเวลาทั้งวันลดลง (แผนภูมิที่ 13)

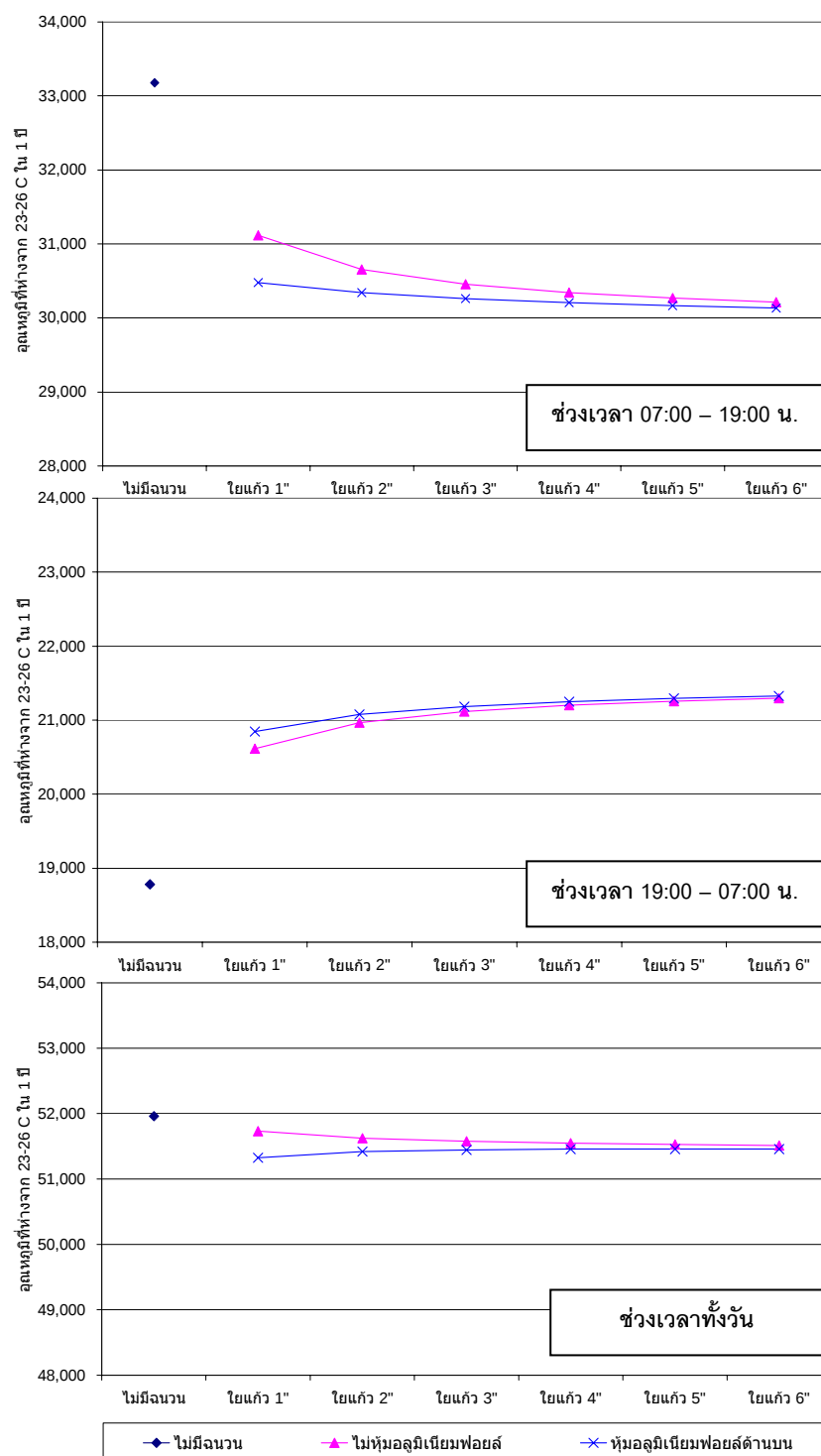


แผนภูมิที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้นนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน (กรุงเทพฯ)

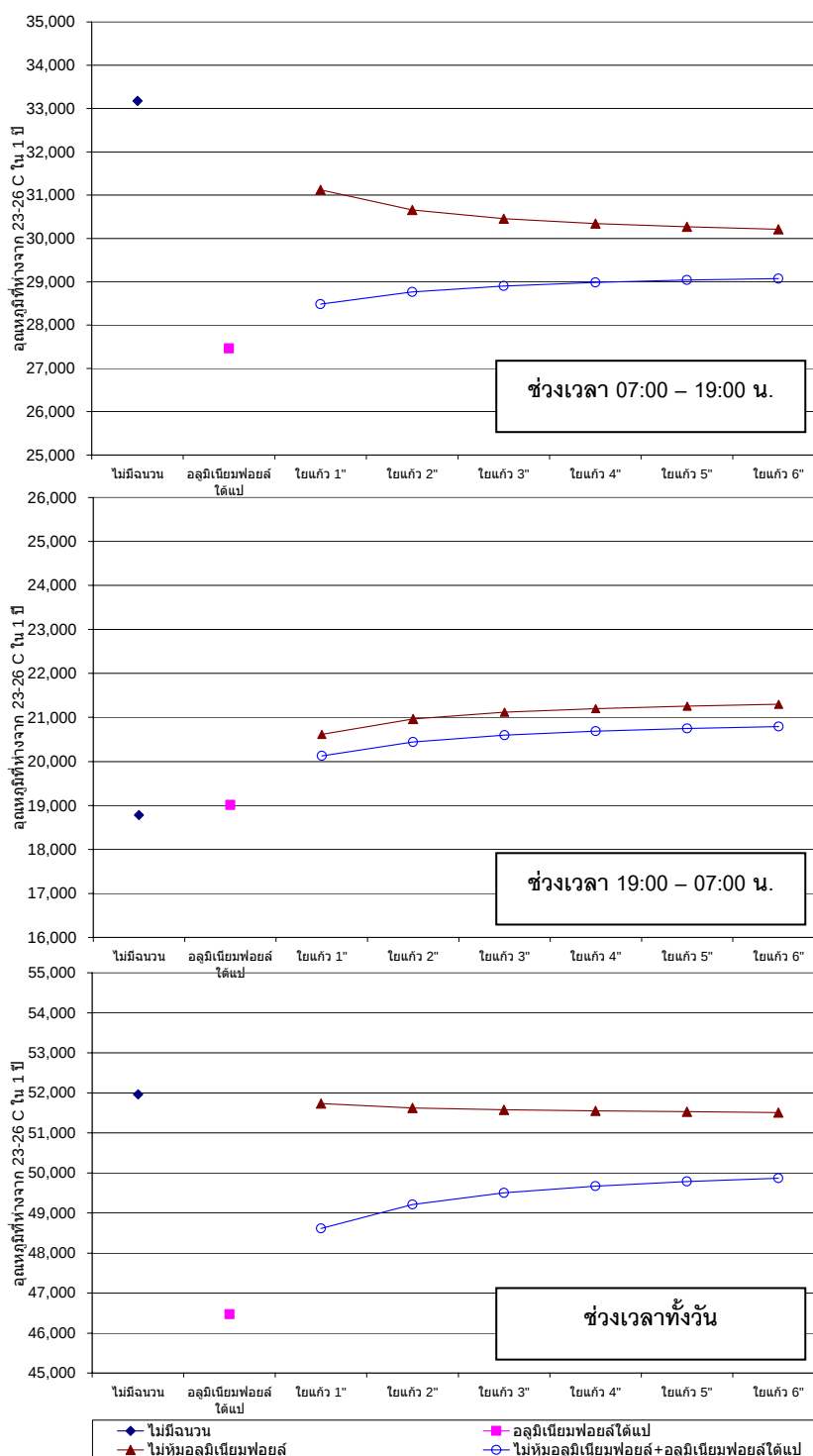
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการใช้นนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานความหนา 1 - 6 นิ้ว แบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ พบว่า ช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. บ้านจำลองที่ใช้นนวนใยแก้วแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 82 – 640 องศาเซลเซียส ในทางตรงกันข้าม ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. บ้านจำลองที่ใช้นนวนใยแก้วแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ กลับทำให้ค่า  $\Delta T$  สูงขึ้นประมาณ 30 - 232 องศาเซลเซียส เมื่อ

พิจารณาผลรวมของเวลาทั้งวัน บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วแบบหุ้มอลูมิเนียมพอยล์ ช่วยทำให้ค่า  $\Delta T$  ลดลงประมาณ 52 – 409 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมพอยล์ การใช้ฉนวนใยแก้วที่มีความหนามากขึ้นเมื่อหุ้มอลูมิเนียมพอยล์กลับทำให้ค่า  $\Delta T$  ยิ่งสูงขึ้น (แผนภูมิที่ 14)

ในการศึกษาค่า  $\Delta T$  ของการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ ได้ผลการทดลองคือ ในทั้งสองช่วงเวลา บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ ช่วยลดค่า  $\Delta T$  จากบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อนำไปพิจารณาเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียว พบว่าในทั้งสองช่วงเวลา บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียวมีค่า  $\Delta T$  น้อยกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. ประมาณ 1,024 – 1,613 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. ประมาณ 1,117 – 1,784 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ การใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียวจึงช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ (แผนภูมิที่ 15)

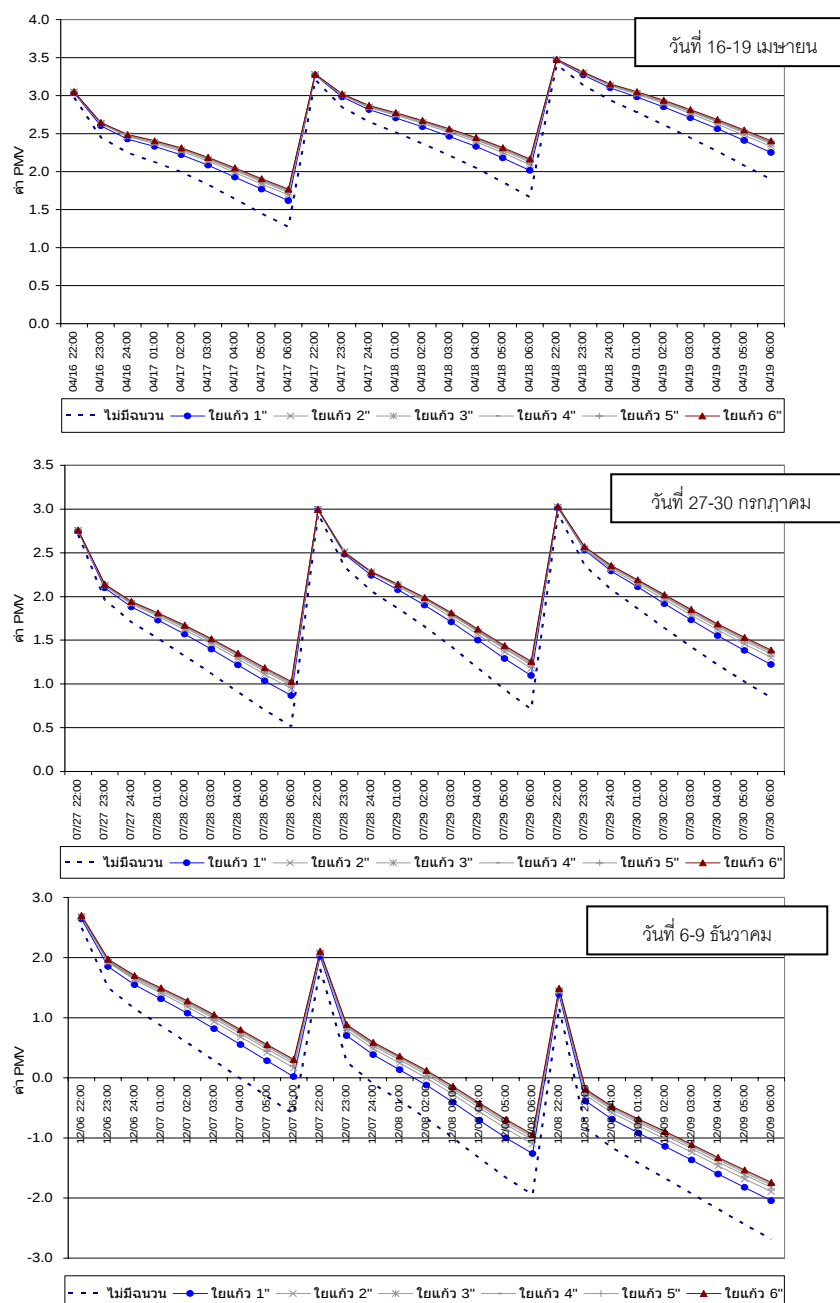


แผนภูมิที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. (รูปบน) ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน (รูปล่าง) (กรุงเทพฯ)



แผนภูมิที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่น อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ว วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ในช่วงเวลา 07:00– 19:00 น. (รูปบน) ในช่วง เวลา 19:00 – 07:00 น. (รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน (รูปล่าง) (กรุงเทพฯ)

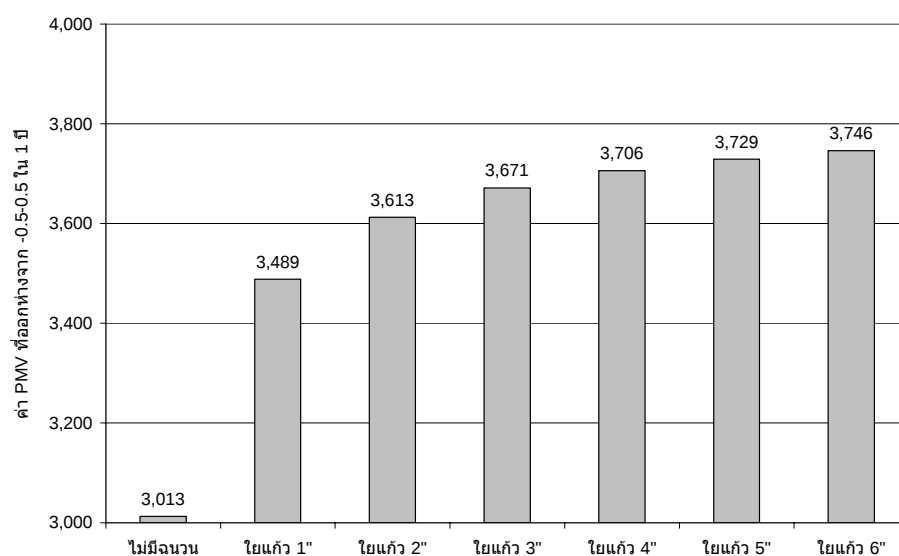
1.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้นนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort) ในห้องนอนใหญ่ ในสถานะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ)



แผนภูมิที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน ของวันที่ 16-19 เมษายน, วันที่ 27-30 กรกฎาคม และวันที่ 6-9 ธันวาคม (กรุงเทพฯ)

ช่วงวันที่ 16-19 เมษายน และ วันที่ 27-30 กรกฎาคม และวันที่ 6-7 ธันวาคม การใช้ฉนวนใยแก้วทำให้ค่า PMV ออกห่างจากสภาวะน่าสบายมากกว่าการไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน แต่ในช่วงวันที่ 8-9 ธันวาคม การใช้ฉนวนใยแก้ว ช่วยทำให้เข้าใกล้สภาวะน่าสบายมากขึ้น (แผนภูมิที่ 16)

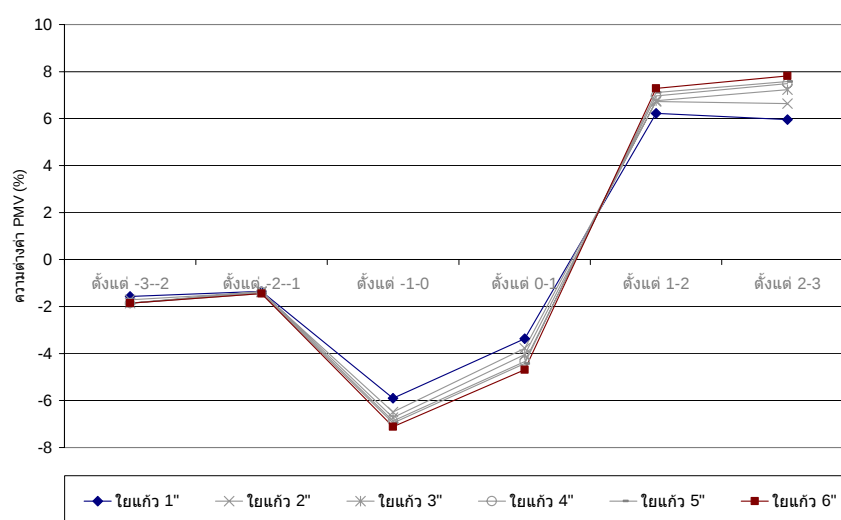
บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วความหนา 1 – 6 นิ้ว มีค่า  $\Delta PMV$  มากกว่าบ้านต้นแบบ โดยเมื่อความหนาของฉนวนใยแก้วมากขึ้น ค่า  $\Delta PMV$  ก็เพิ่มมากขึ้นด้วย บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว และ 6 นิ้ว มีค่า  $\Delta PMV$  มากกว่าบ้านต้นแบบ เป็นจำนวน 536 และ 816 หน่วย หรือคิดเป็นร้อยละ 12 -18 (แผนภูมิที่ 17)



แผนภูมิที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ (กรุงเทพฯ)

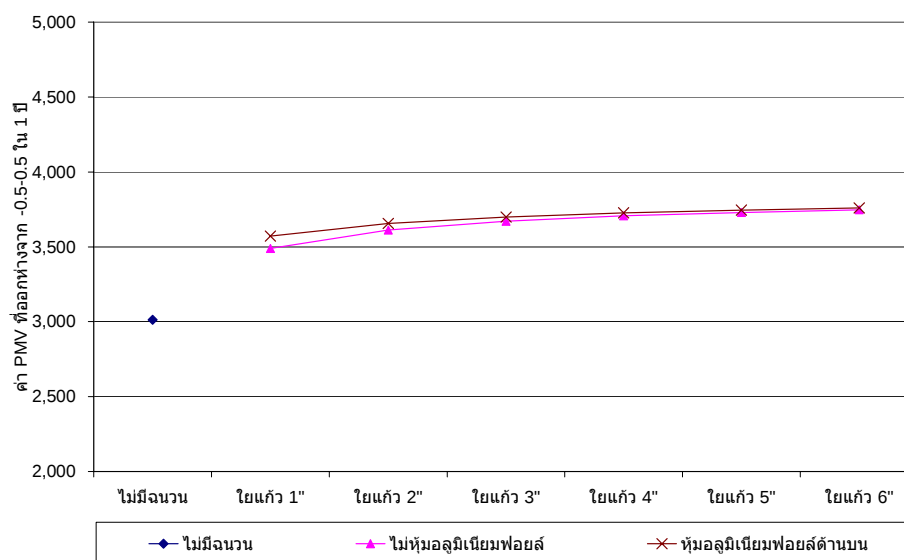
ตารางที่ 21 แสดงความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ)

| ความหมาย                 | cold | cool | slightly cool | neutral | slightly warm | warm | hot |
|--------------------------|------|------|---------------|---------|---------------|------|-----|
| ดัชนีตัวเลข              | -3   | -2   | -1            | 0       | 1             | 2    | 3   |
| บ้านต้นแบบ (A)           | 3    | 4    | 14            | 30      | 26            | 22   |     |
| บ้านฉีไยแก้ว 1 นิ้ว (C1) | 2    | 3    | 8             | 26      | 33            | 28   |     |
| บ้านฉีไยแก้ว 2 นิ้ว (C2) | 2    | 3    | 8             | 26      | 33            | 29   |     |
| บ้านฉีไยแก้ว 3 นิ้ว (C3) | 2    | 3    | 8             | 26      | 33            | 29   |     |
| บ้านฉีไยแก้ว 4 นิ้ว (C4) | 2    | 3    | 7             | 25      | 33            | 30   |     |
| บ้านฉีไยแก้ว 5 นิ้ว (C5) | 2    | 3    | 7             | 25      | 33            | 30   |     |
| บ้านฉีไยแก้ว 6 นิ้ว (C6) | 2    | 3    | 7             | 25      | 34            | 30   |     |
| (C1)–(A) (%)             | -2   | -1   | -6            | -3      | 6             | 6    |     |
| (C2)–(A) (%)             | -2   | -1   | -6            | -4      | 7             | 7    |     |
| (C3)–(A) (%)             | -2   | -1   | -7            | -4      | 7             | 7    |     |
| (C4)–(A) (%)             | -2   | -1   | -7            | -4      | 7             | 7    |     |
| (C5)–(A) (%)             | -2   | -1   | -7            | -4      | 7             | 8    |     |
| (C6)–(A) (%)             | -2   | -1   | -7            | -5      | 7             | 8    |     |



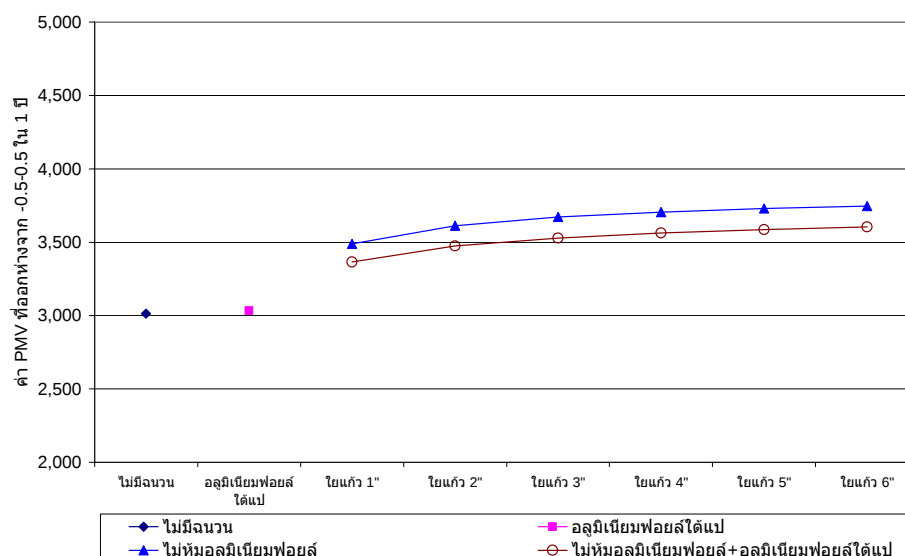
แผนภูมิที่ 18 แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ (จากตารางที่ 21) ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ)

บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วความหนา 1 – 6 นิ้ว วางบนฝ้าเพดานแบบหุ้ม อลูมิเนียมพอยล์ มีค่า  $\Delta PMV$  มากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้ม อลูมิเนียมพอยล์ 13 – 82 หน่วย (แผนภูมิที่ 19)



แผนภูมิที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ว วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมพอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมพอยล์ด้านบน (กรุงเทพฯ)

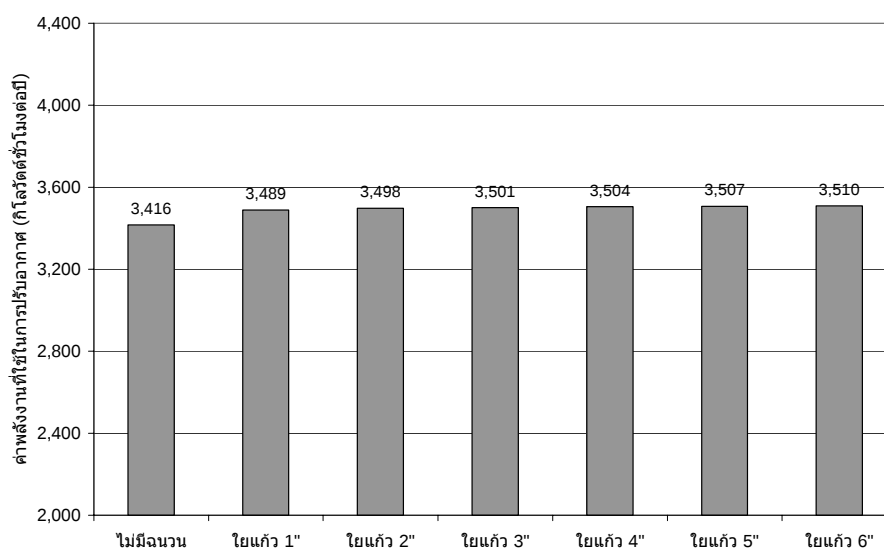
การศึกษาค่า  $\Delta PMV$  ของการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ การใช้ฉนวนใยแก้ว วางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ ได้ผลการทดลองคือ การใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียวได้ประมาณ 123 -143 หน่วย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียว พบว่า บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์เพียงอย่างเดียวมีค่า  $\Delta PMV$  ต่ำกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะประมาณ 333 – 570 หน่วย ดังนั้น จะเห็นว่า การใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียวเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่า  $\Delta PMV$  ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่ใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ แต่ทั้งหมดก็ยังไม่สามารถลดค่า  $\Delta PMV$  จากบ้านต้นแบบลงได้ (แผนภูมิที่ 20)



แผนภูมิที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แป (กรุงเทพฯ)

1.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองการให้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศต่อปี (กรุงเทพฯ)

บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโยแก้วที่มีความหนา 1 - 6 นิ้ว มีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศมากกว่าบ้านต้นแบบ การใช้พลังงานในการปรับอากาศใน 1 ปีของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโยแก้วหนา 1 นิ้ว และ 6 นิ้ว มีค่ามากกว่าบ้านต้นแบบ 73 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 94 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 2.12 และ 2.73 ตามลำดับ การใช้ฉนวนโยแก้วที่มีความหนามากขึ้นจะยิ่งเพิ่มการใช้พลังงานในการปรับอากาศให้กับบ้านจำลองมากขึ้น (แผนภูมิที่ 21)

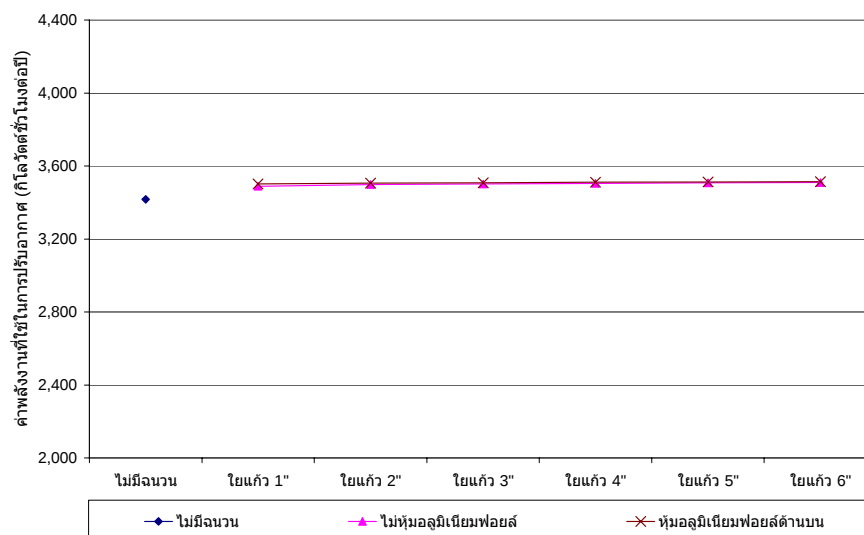


แผนภูมิที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ (กรุงเทพฯ)

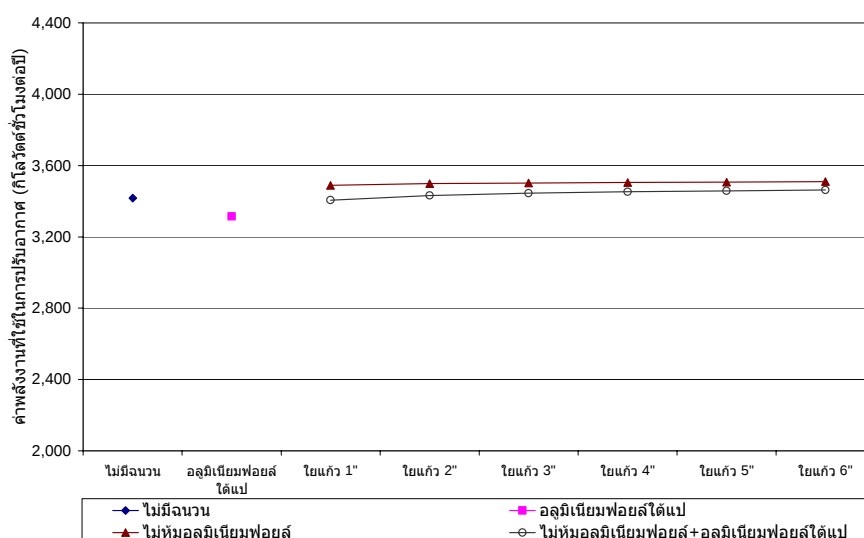
ฉนวนโยแก้วที่มีความหนาเท่ากัน เมื่อหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์จะทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานในการปรับอากาศของบ้านจำลองสูงกว่าแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ โดยที่ความหนาของฉนวนโยแก้ว 1 นิ้ว และ 6 นิ้ว เมื่อหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์จะมีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีมากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโยแก้วแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ 15 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 6 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ (แผนภูมิที่ 22)

การศึกษาค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศของการใช้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป และการใช้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน ร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ได้ผลการทดลองคือ การใช้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน ร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดานอย่างเดียวได้ แต่หากพิจารณาเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เปเพียงอย่างเดียว พบว่า บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เปเพียงอย่างเดียว จะประหยัดพลังงานในการปรับอากาศได้มากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ประมาณ 92 – 148 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้น การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เปเพียงอย่างเดียวจึงช่วยประหยัดพลังงานในการปรับอากาศของบ้านจำลองได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนโยแก้ววางบนฝ้า

เพดานเพียงอย่างเดียว และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป (แผนภูมิที่ 23)



แผนภูมิที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน (กรุงเทพฯ)



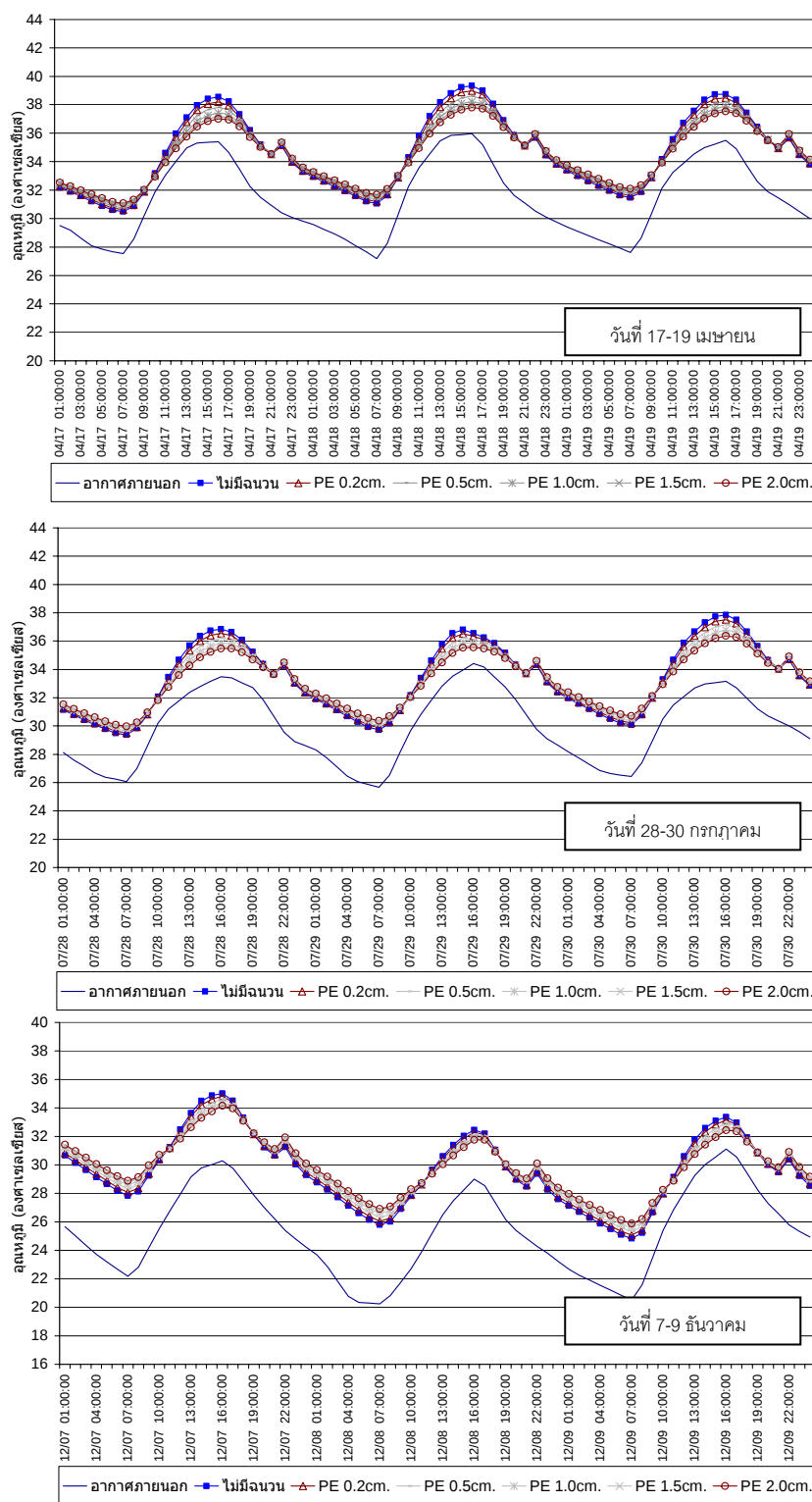
แผนภูมิที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป (กรุงเทพฯ)

การใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วในลักษณะต่างๆที่วางบนฝ้าเพดาน มีค่ามากกว่าบ้านต้นแบบ การเพิ่มความหนาของฉนวนใยแก้วกลับยิ่งเพิ่มค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศ เมื่อพิจารณาเรื่องความคุ้มค่าในการช่วยประหยัดค่าไฟฟ้า การใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานจึงไม่คุ้มค่าในการลงทุน

### 1.3 ฉนวนโฟม PE

1.3.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิตลอดวัน ของการใช้ฉนวนโฟม PE ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (กรุงเทพฯ)

ในวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และวันที่ 7-9 ธันวาคม ในช่วงกลางวัน การใช้ฉนวนโฟม PE ช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ได้ประมาณ 1 - 2 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงกลางคืน จะทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้นเล็กน้อย ประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ (แผนภูมิที่ 24)

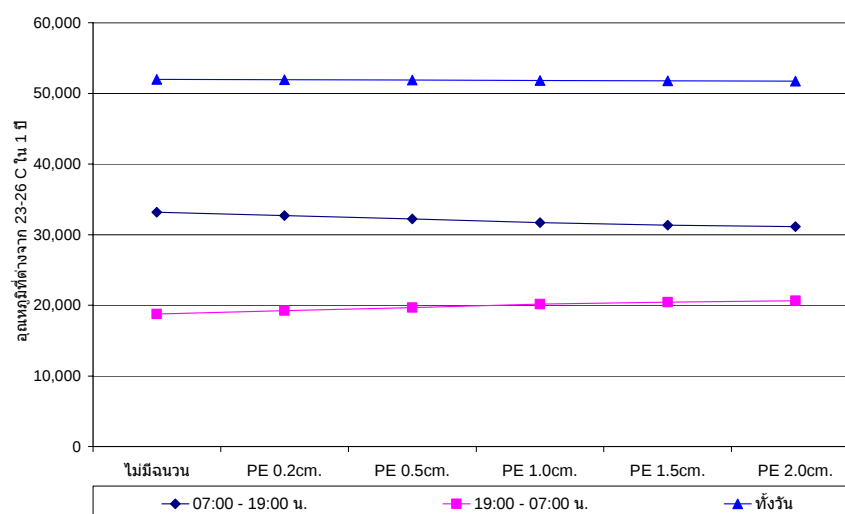


แผนภูมิที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพอากาศตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และการใช้ฉนวนโฟม PE ของวันที่ 17-19 เม.ย., วันที่ 28-30 ก.ค. และวันที่ 7-9 ธ.ค. (กรุงเทพฯ)

1.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้นวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ในสถานะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (กรุงเทพฯ)

ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. บ้านจำลองที่ใช้นวนโฟม PE ที่ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เซนติเมตร ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 469 – 2,061 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ โดยนวนโฟม PE ที่มีความหนามากขึ้นช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากขึ้นด้วย แต่ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. จะมีผลกลับกันคือ บ้านจำลองที่ใช้นวนโฟม PE ที่ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เซนติเมตร จะทำให้ค่า  $\Delta T$  สูงขึ้นประมาณ 449 – 1,838 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ และนวนโฟม PE ยิ่งมีความหนามากขึ้นค่า  $\Delta T$  ก็ยิ่งสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาจากผลรวมของช่วงเวลาทั้งวัน การใช้นวนโฟม PE ที่ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เซนติเมตร ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ 19 – 223 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ โดยที่นวนโฟม PE ที่มีความหนามากขึ้นจะยิ่งช่วยลดค่า  $\Delta T$  ของช่วงเวลาทั้งวันได้มากขึ้น (แผนภูมิที่ 25)

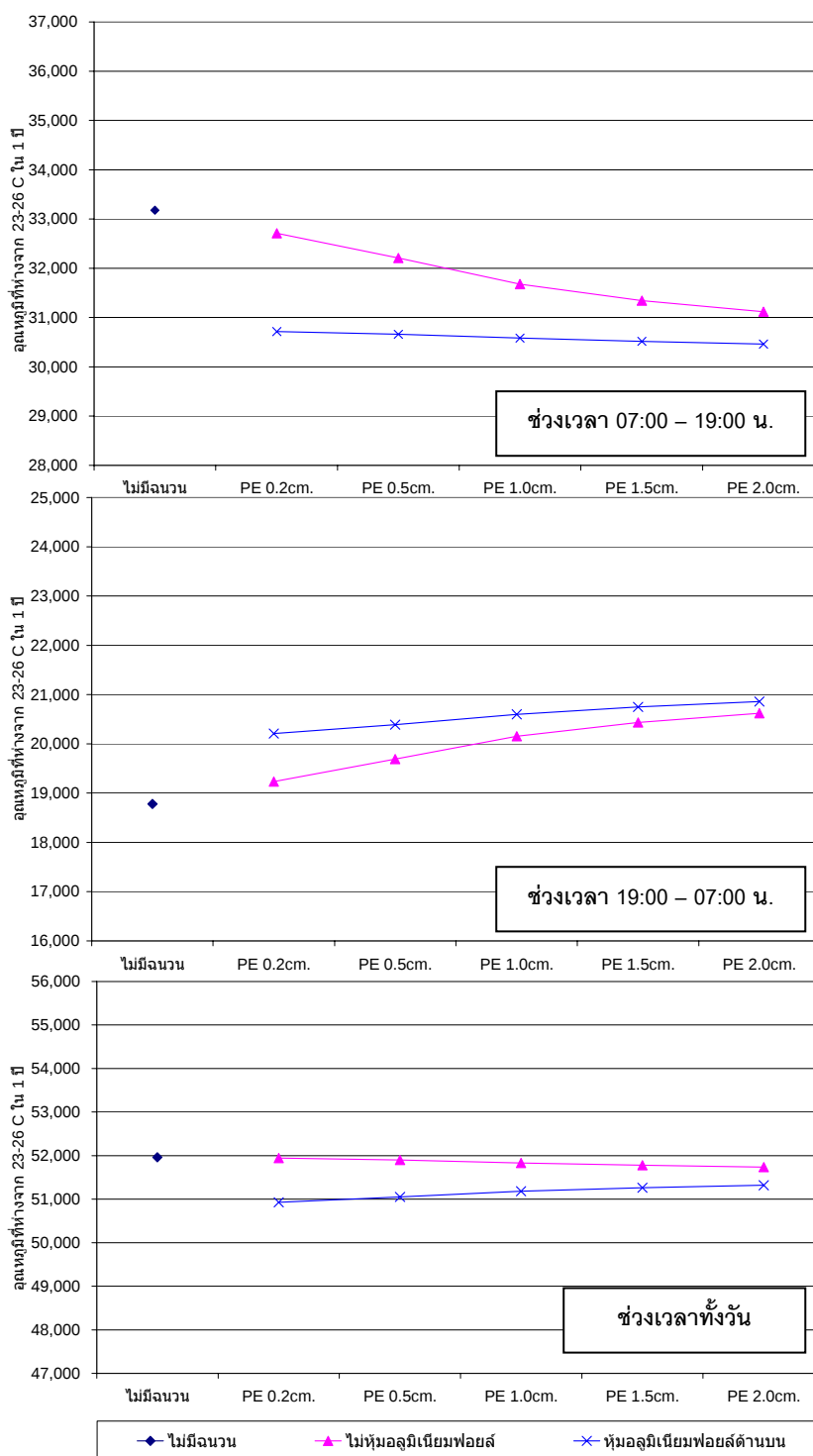


แผนภูมิที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้นวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน (กรุงเทพฯ)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการใช้นวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มฉนวนและแบบหุ้มฉนวน พบว่า ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. บ้านจำลองที่ใช้นวนโฟม PE แบบหุ้มฉนวนช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 656 – 1,993 องศา

เซลเซียส ในทางตรงกันข้าม ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE แบบหุ้ม อลูมิเนียมฟอยล์ กลับทำให้ค่า  $\Delta T$  เพิ่มขึ้นประมาณ 236 - 978 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณา ผลรวมของช่วงเวลาทั้งวัน บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE แบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 420 – 1,015 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE แบบ ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ฉนวนโฟม PE ที่มีความหนามากขึ้นเมื่อหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์จะยิ่งทำให้มีค่า  $\Delta T$  สูงขึ้น (แผนภูมิที่ 26)

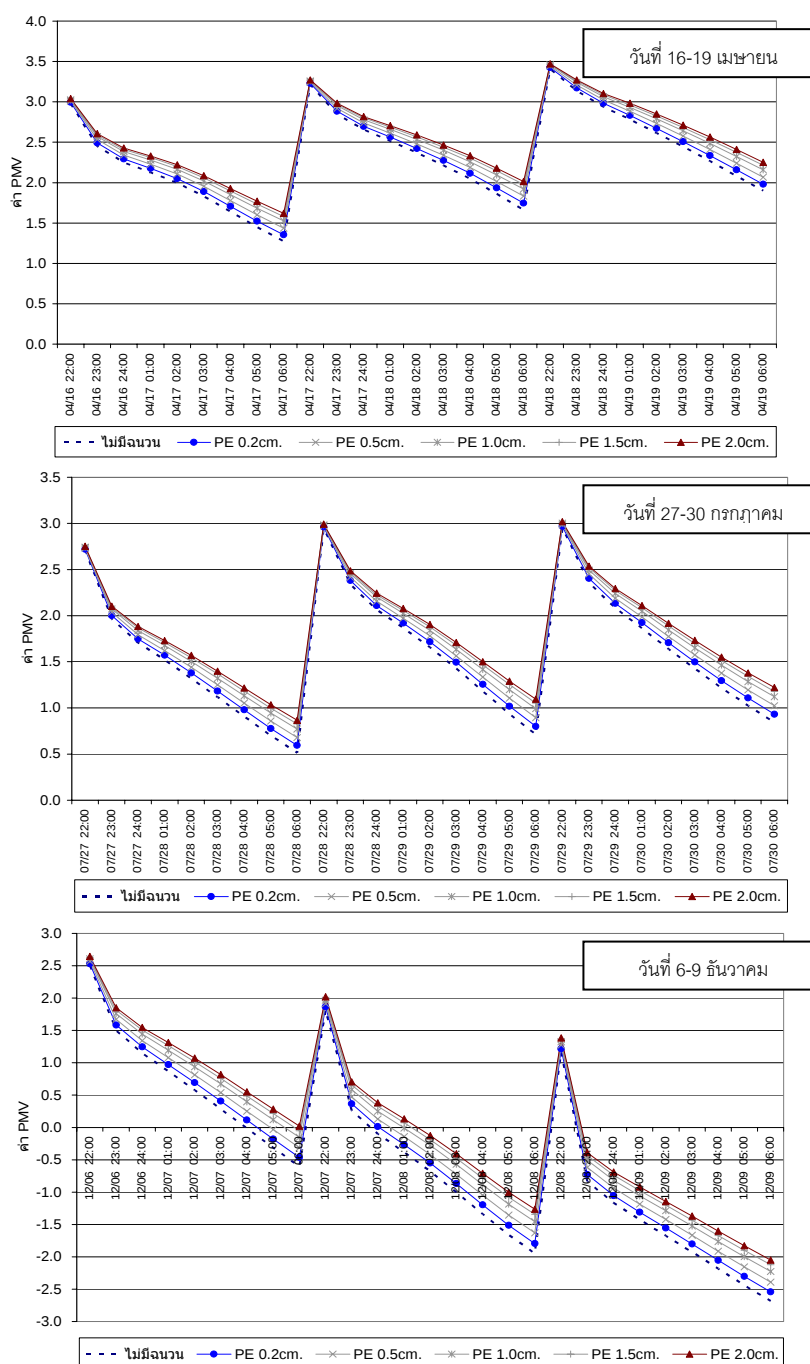
ในการศึกษาค่า  $\Delta T$  ของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียม ฟอยล์ได้แก่ ได้ผลการทดลองคือ ในทั้งสองช่วงเวลา บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้า เพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ ช่วยลดค่า  $\Delta T$  จากบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ได้แต่เพียงอย่างเดียว พบว่า ในทั้งสองช่วงเวลา บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แต่เพียง อย่างเดียวมีค่า  $\Delta T$  น้อยกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่น อลูมิเนียมฟอยล์ได้แต่ ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. ประมาณ 220 – 1,003 องศาเซลเซียส และ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. ประมาณ 229 – 1,116 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับ บ้านต้นแบบ การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แต่เพียงอย่างเดียวจึงช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากที่สุด เมื่อ เปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แต่ (แผนภูมิที่ 27)



แผนภูมิที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบไม่ห่มอวลูมิเยียมฟอยล์ และแบบห่มอวลูมิเยียมฟอยล์ ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. (รูปบน) ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน (รูปล่าง) (กรุงเทพฯ)



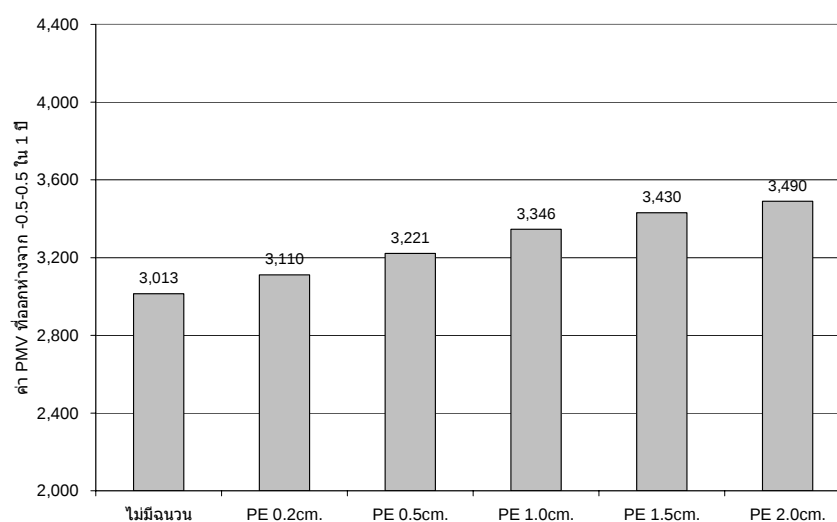
1.3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้นวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort) ในห้องนอนใหญ่ ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ)



แผนภูมิที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน ของวันที่ 16-19 เม.ย., วันที่ 27-30 ก.ค. และวันที่ 6-9 ธ.ค. (กรุงเทพฯ)

ช่วงวันที่ 16-19 เมษายน และ วันที่ 27-30 กรกฎาคม และวันที่ 6-7 ธันวาคม การใช้ฉนวนโฟม PE ทำให้ค่า PMV ออกจากสภาวะน่าสบายมากกว่า การไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน แต่ในช่วงวันที่ 8 – 9 ธันวาคม การใช้ฉนวนโฟม PE ช่วยทำให้เข้าใกล้สภาวะน่าสบายมากขึ้น (แผนภูมิที่ 28)

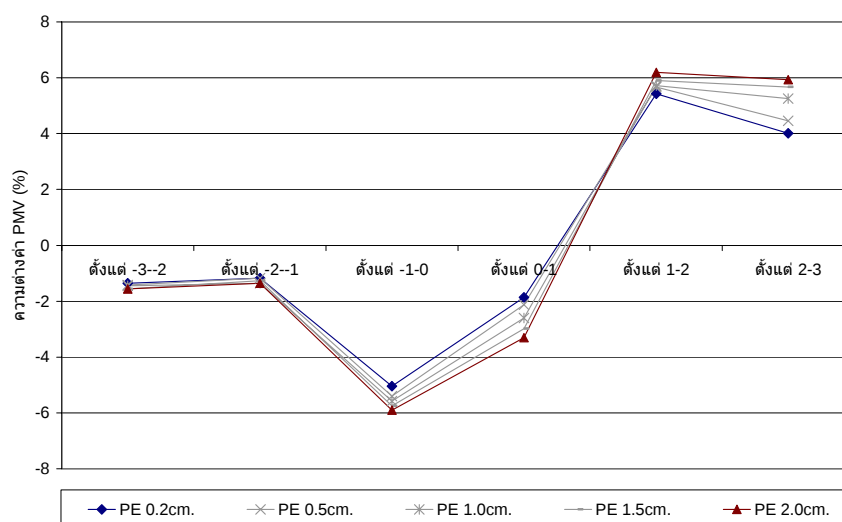
บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 เซนติเมตร มีค่า  $\Delta PMV$  มากกว่าบ้านต้นแบบ โดยที่เมื่อความหนาของฉนวนโฟม PE มากขึ้น ค่า  $\Delta PMV$  ก็เพิ่มมากขึ้นด้วย บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร และ 2.0 เซนติเมตร มีค่า  $\Delta PMV$  มากกว่าบ้านต้นแบบ เป็นจำนวน 97 และ 477 หน่วยต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 3 -16 ต่อปี (แผนภูมิที่ 29)



แผนภูมิที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ (กรุงเทพฯ)

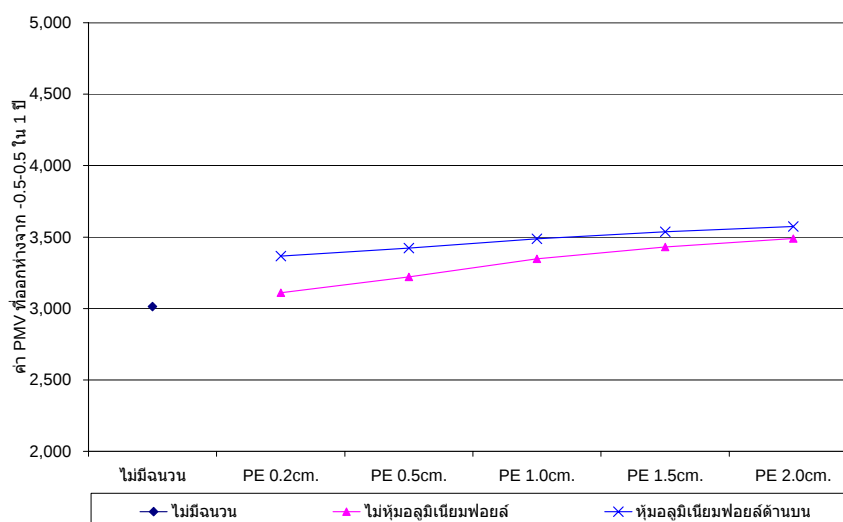
ตารางที่ 22 แสดงความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น.(กรุงเทพฯ)

| ความหมาย               | cold | cool | slightly cool | neutral | slightly warm | warm | hot |
|------------------------|------|------|---------------|---------|---------------|------|-----|
| ดัชนีตัวเลข            | -3   | -2   | -1            | 0       | 1             | 2    | 3   |
| บ้านต้นแบบ (A)         | 3    | 4    | 14            | 30      | 26            | 22   |     |
| บ้านฉี PE 0.2 cm. (D1) | 2    | 3    | 9             | 28      | 32            | 26   |     |
| บ้านฉี PE 0.5 cm. (D2) | 2    | 3    | 9             | 28      | 32            | 27   |     |
| บ้านฉี PE 1.0 cm. (D3) | 2    | 3    | 9             | 27      | 32            | 27   |     |
| บ้านฉี PE 1.5 cm. (D4) | 2    | 3    | 8             | 27      | 32            | 28   |     |
| บ้านฉี PE 2.0 cm. (D5) | 2    | 3    | 8             | 26      | 33            | 28   |     |
| (D1)–(A) (%)           | –1   | –1   | –5            | –2      | 5             | 4    |     |
| (D2)–(A) (%)           | –1   | –1   | –5            | –2      | 6             | 4    |     |
| (D3)–(A) (%)           | –1   | –1   | –6            | –3      | 6             | 5    |     |
| (D4)–(A) (%)           | –2   | –1   | –6            | –3      | 6             | 6    |     |
| (D5)–(A) (%)           | –2   | –1   | –6            | –3      | 6             | 6    |     |



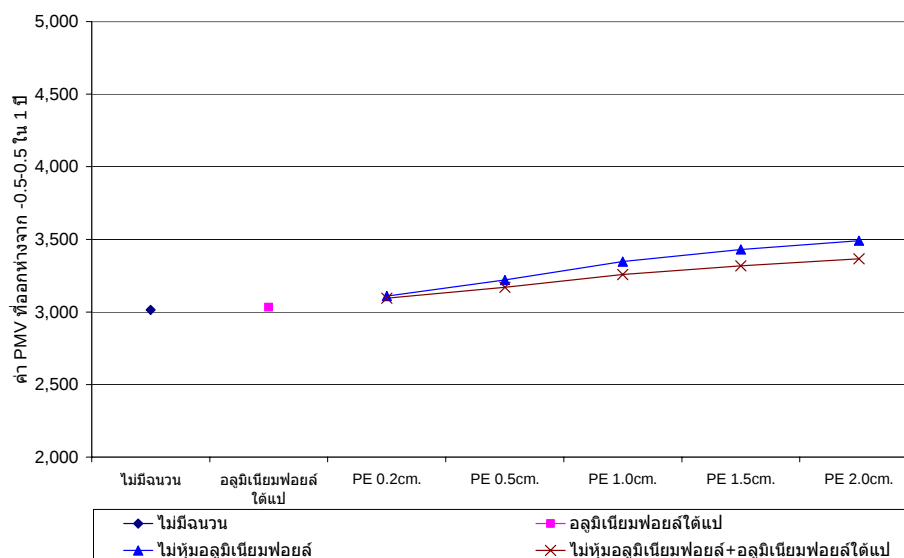
แผนภูมิที่ 30 แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ (จาก ตารางที่ 22) ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ)

บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ มีค่า  $\Delta PMV$  มากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ 84 – 257 หน่วย (แผนภูมิที่ 31)



แผนภูมิที่ 31 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน (กรุงเทพฯ)

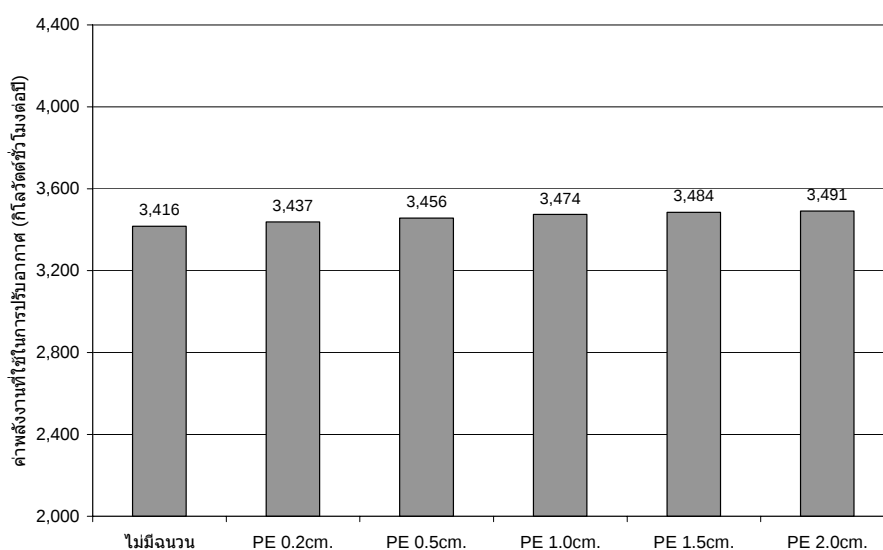
ในการศึกษาค่า  $\Delta PMV$  ของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตา และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตา ร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ ได้ผลการทดลองคือ การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตา ร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตา เพียงอย่างเดียวได้ประมาณ 14 -124 หน่วย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่เพียงอย่างเดียว พบว่า บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เพียงอย่างเดียวมีค่า  $\Delta PMV$  ต่ำกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตา ร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ประมาณ 63 – 333 หน่วย ดังนั้น จะเห็นว่า การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่เพียงอย่างเดียวเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่า  $\Delta PMV$  ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตา เพียงอย่างเดียว และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตา ที่ใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ แต่ทั้งหมดก็ยังไม่สามารถลดค่า  $\Delta PMV$  จากบ้านต้นแบบลงได้ (แผนภูมิที่ 32)



แผนภูมิที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป (กรุงเทพฯ)

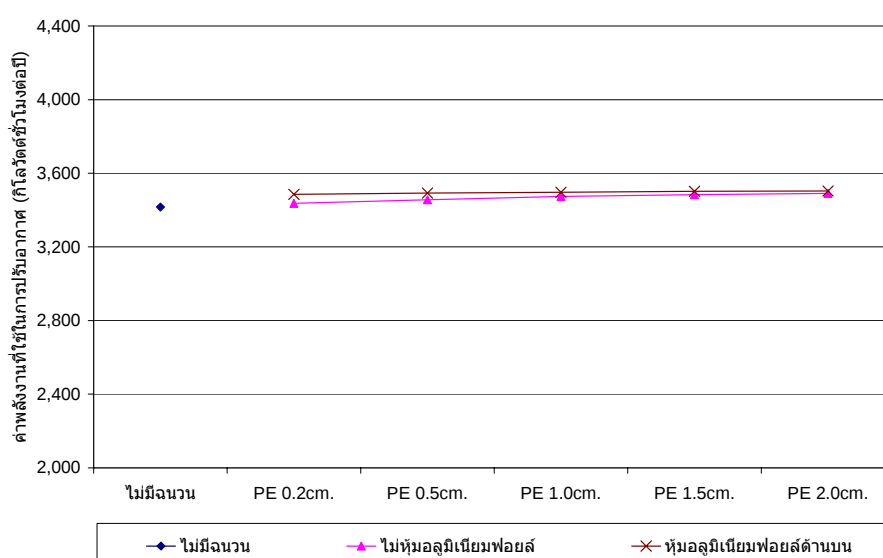
1.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้อนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศต่อปี (กรุงเทพฯ)

บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ที่ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เซนติเมตร มีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีใกล้เคียงกับบ้านต้นแบบ โดยการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ที่ความหนา 0.2 และ 2.0 เซนติเมตร มีค่ามากกว่าบ้านต้นแบบ 20 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 74 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้อนวนโฟม PE ที่มีความหนามากขึ้นกลับยังเพิ่มการใช้พลังงานในการปรับอากาศให้กับบ้านจำลองมากขึ้น (แผนภูมิที่ 33)



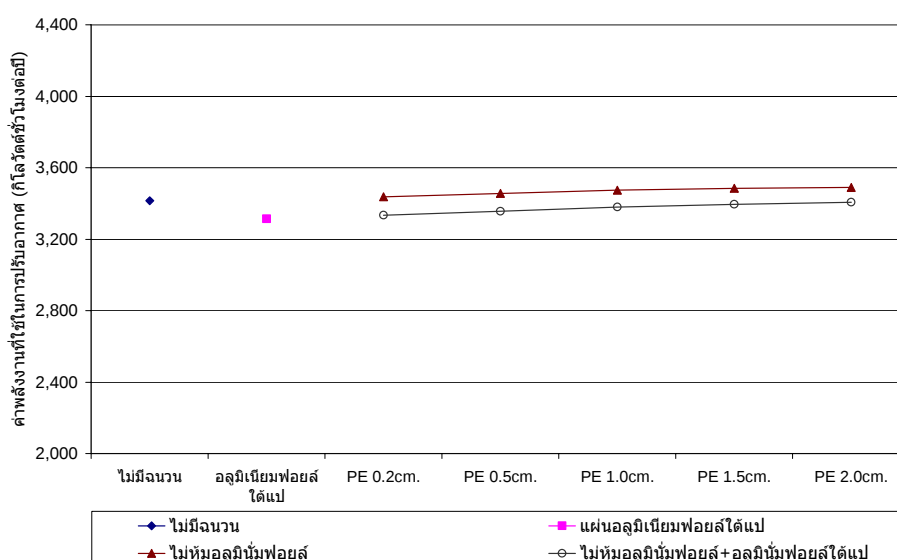
แผนภูมิที่ 33 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ (กรุงเทพฯ)

ฉนวนโฟม PE ที่มีความหนาเท่ากัน เมื่อหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์จะทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานในการปรับอากาศของบ้านจำลองสูงกว่าแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ โดยที่ความหนาของฉนวนโฟม PE 0.2 และ 2.0 เซนติเมตร เมื่อหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์จะมีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีมากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE แบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ 51 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 15 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ (แผนภูมิที่ 34)



แผนภูมิที่ 34 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (กรุงเทพฯ)

ในการศึกษาค่าพลังงานในการปรับอากาศของการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบ และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะได้ผลการทดลองคือ การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะช่วยลดปริมาณพลังงานในการปรับอากาศต่อปีของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานอย่างเดียวได้ แต่หากพิจารณาเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียว พบว่า บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียวจะประหยัดพลังงานในการปรับอากาศได้มากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ประมาณ 20 – 92 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้น การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียวจึงช่วยประหยัดพลังงานในการปรับอากาศของบ้านจำลองได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (แผนภูมิที่ 35)



แผนภูมิที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (กรุงเทพฯ)

จากผลการทดลอง การใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ความหนา 0.2, 0.5, 1.0 และ 1.5 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะมีค่าน้อยกว่าบ้านต้นแบบ

ตารางที่ 23 แสดงระยะเวลาต้นทุนของการใช้ฉนวนโฟม PE (กรุงเทพฯ)

| ฉนวน                                                    | รวม<br>ต้นทุน<br>(บาท) | ค่าพลังงาน<br>ที่ใช้ปรับ<br>อากาศ/ปี<br>(kWh) | ค่าไฟฟ้า<br>/ปี (บาท) | ประหยัด<br>/ปี (บาท) | ระยะเวลา<br>คืนทุน<br>(ปี) |
|---------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| 1. ไม่มีฉนวน                                            | -                      | 3,416                                         | 12,191                | -                    | -                          |
| 2. ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 ซม.+<br>แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | 11,380                 | 3,354                                         | 11,949                | 242                  | 47                         |
| 3. ฉนวนโฟม PE หนา 0.5 ซม.+<br>แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | 14,350                 | 3,377                                         | 12,037                | 154                  | 93                         |
| 4. ฉนวนโฟม PE หนา 1.0 ซม.+<br>แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | 19,300                 | 3,400                                         | 12,125                | 66                   | 292                        |

### สรุปผลการวิเคราะห์การทดลองใช้ฉนวนกันความร้อน ในสภาพอากาศกรุงเทพฯ

1. สรุปผลการวิเคราะห์อุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ ของช่วงเวลาตลอดทั้งวัน กรณีที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ สภาพอากาศกรุงเทพฯ

ในช่วงกลางวัน การใช้ฉนวนกันความร้อนทั้งสามชนิด ช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องได้ประมาณ 1 – 4 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ฉนวนทั้งสามชนิดทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้นประมาณ 0.5 – 1.0 องศาเซลเซียส

2. สรุปผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  และค่า  $\Delta PMV$  ในห้องนอนใหญ่ ของการใช้ฉนวนกันความร้อนทั้งสามชนิด กรณีที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ สภาพอากาศกรุงเทพฯ

ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. การใช้ฉนวนกันความร้อนทั้งสามชนิด ทำให้ค่า  $\Delta T$  ของบ้านต้นแบบลดลง โดยการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะทำให้ค่า  $\Delta T$  ลดลงมากที่สุด คือประมาณ 5,717 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ การใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดานและใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 5,497 องศาเซลเซียส ส่วนฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดาน ลดค่า  $\Delta T$  ได้น้อยที่สุด เพียง 469 องศาเซลเซียสเท่านั้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรณีที่ใช้นิยมน้ำยแก้วและฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว ที่ความหนา 36 มม. ก็จะช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มาก (แผนภูมิที่ 36)

แต่ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. การใช้ฉนวนทั้งสามชนิดกลับทำให้ค่า  $\Delta T$  และค่า  $\Delta PMV$  ของบ้านต้นแบบสูงขึ้น โดยการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ( $\Delta T$  สูงขึ้น 227 องศาเซลเซียส)

เซลเซียส,  $\Delta PMV$  สูงขึ้น 20 หน่วย) ทำให้ค่าทั้งสองสูงชันน้อยที่สุด รองลงมาคือ การใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดานและใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป (  $\Delta T$  สูงขึ้น 456 องศาเซลเซียส,  $\Delta PMV$  สูงขึ้น 83 หน่วย) ส่วนฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้วแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ทำให้ค่าทั้งสองสูงชันมากที่สุด (  $\Delta T$  สูงขึ้น 2,514 องศาเซลเซียส,  $\Delta PMV$  สูงขึ้น 747 หน่วย) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรณีที่ใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว ที่ความหนาน้อย จะทำให้ค่า  $\Delta T$  เพิ่มขึ้นน้อย (  $\Delta T$  ดูแผนภูมิที่ 37,  $\Delta PMV$  ดูแผนภูมิที่ 39)

เมื่อพิจารณาช่วงเวลาทั้งวัน การใช้ฉนวนทั้งสามชนิดช่วยลดค่า  $\Delta T$  จากบ้านต้นแบบได้ โดยการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เปทำให้ค่า  $\Delta T$  ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ การใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดานและใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป ส่วนฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดาน ลดค่า  $\Delta T$  ได้น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรณีที่ใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว ที่ความหนามาก ก็จะช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มาก (ดูแผนภูมิที่ 38)

3. สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  และค่า  $\Delta PMV$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างการใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ กรณีที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ สภาพอากาศกรุงเทพฯ

ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. การหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE ช่วยทำให้ค่า  $\Delta T$  ลดลงได้อีก หากเปรียบเทียบกับกรณีไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (ดูแผนภูมิที่ 4.31) แต่ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. การหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ไม่ช่วยทำให้ค่า  $\Delta T$  และค่า  $\Delta PMV$  ลดลง น่าจะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีค่าการแผ่รังสีความร้อนต่ำ หากพิจารณาช่วงเวลาทั้งวันการหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉนวนใยแก้วช่วยลดค่า  $\Delta T$  ลงได้ประมาณ 52 – 409 องศาเซลเซียส และการหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉนวนโฟม PE ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ลงได้ประมาณ 420 – 1,015 องศาเซลเซียส (  $\Delta T$  ดูแผนภูมิที่ 36,  $\Delta PMV$  ดูแผนภูมิที่ 39)

4. สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  และค่า  $\Delta PMV$  ในห้องนอนใหญ่ระหว่างการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป การใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป กรณีที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ สภาพอากาศกรุงเทพฯ

เมื่อพิจารณาช่วงเวลาทั้งวัน การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เปเพียงอย่างเดียว ช่วยลดค่า  $\Delta T$  และค่า  $\Delta PMV$  ได้มากที่สุด รองลงมาคือ การใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้

แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ อันดับสุดท้ายคือ การใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว ( $\Delta T$  ดูแผนภูมิที่ 4.31, 4.32, 4.33,  $\Delta PMV$  ดูแผนภูมิที่ 38)

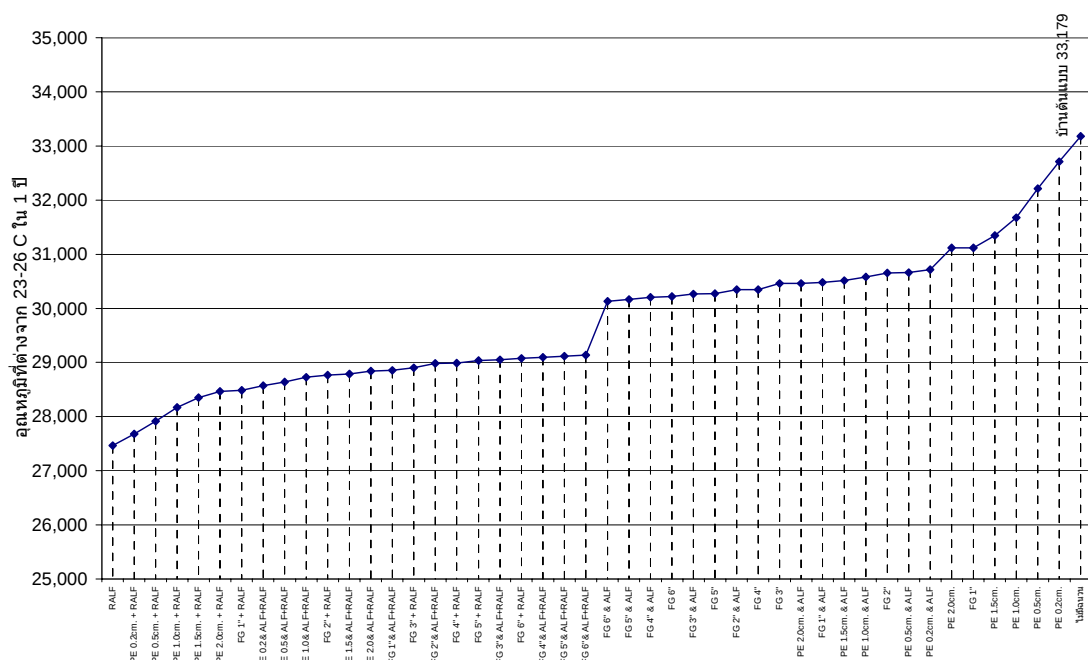
5. สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศและระยะเวลาคืนทุนของฉนวนทั้งสามชนิด สภาพอากาศกรุงเทพฯ

เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในการปรับอากาศของบ้านต้นแบบ (3,416 กิโลวัตต์ชั่วโมง) การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่มีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศน้อยที่สุด (3,315 กิโลวัตต์ชั่วโมง) รองลงมาคือ ฉนวนโฟม PE 0.2 เซนติเมตร ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์และใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ (3,354 กิโลวัตต์ชั่วโมง) ส่วนการใช้ฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ มีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศมากที่สุด (3,514 กิโลวัตต์ชั่วโมง) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจากฉนวนชนิดเดียวกัน การใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน ที่ความหนาน้อยที่สุด ก็จะใช้พลังงานในการปรับอากาศน้อยที่สุด (แผนภูมิที่ 40)

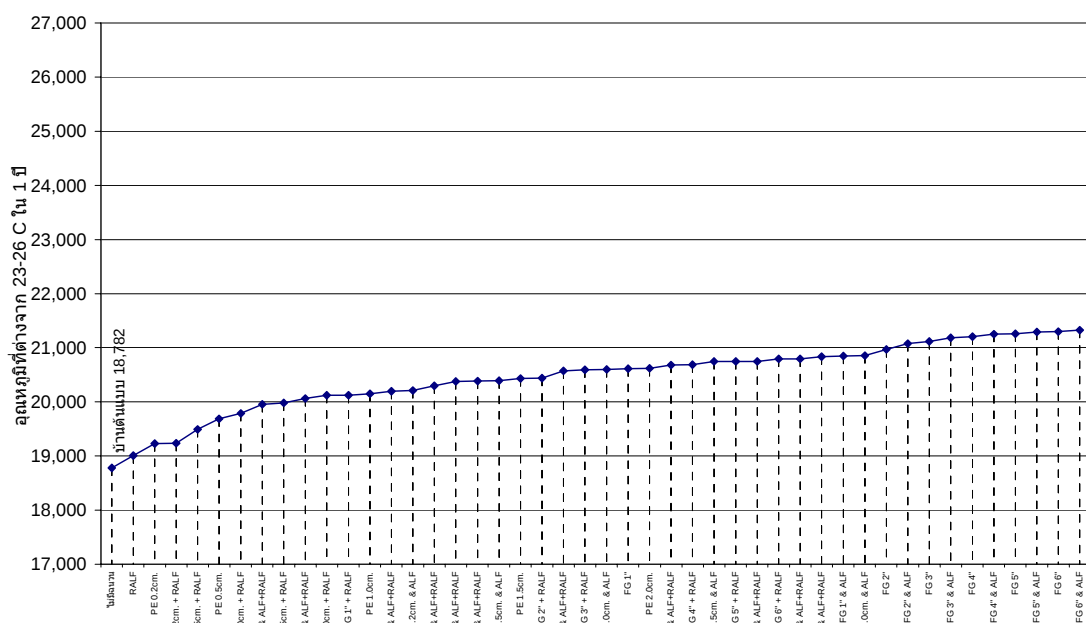
การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่เป็นการใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุน 21 ปี รองลงมาคือ ฉนวนโฟม PE 0.2 เซนติเมตร ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์และใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ มีระยะเวลาคืนทุน 47 ปี ฉนวนโฟม PE 0.5 เซนติเมตร ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์และใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ มีระยะเวลาคืนทุน 93 ปี และ ฉนวนโฟม PE 1.0 เซนติเมตร ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์และใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ มีระยะเวลาคืนทุน 292 ปี (แผนภูมิที่ 41)

จากแผนภูมิที่ 4.31 – 4.36

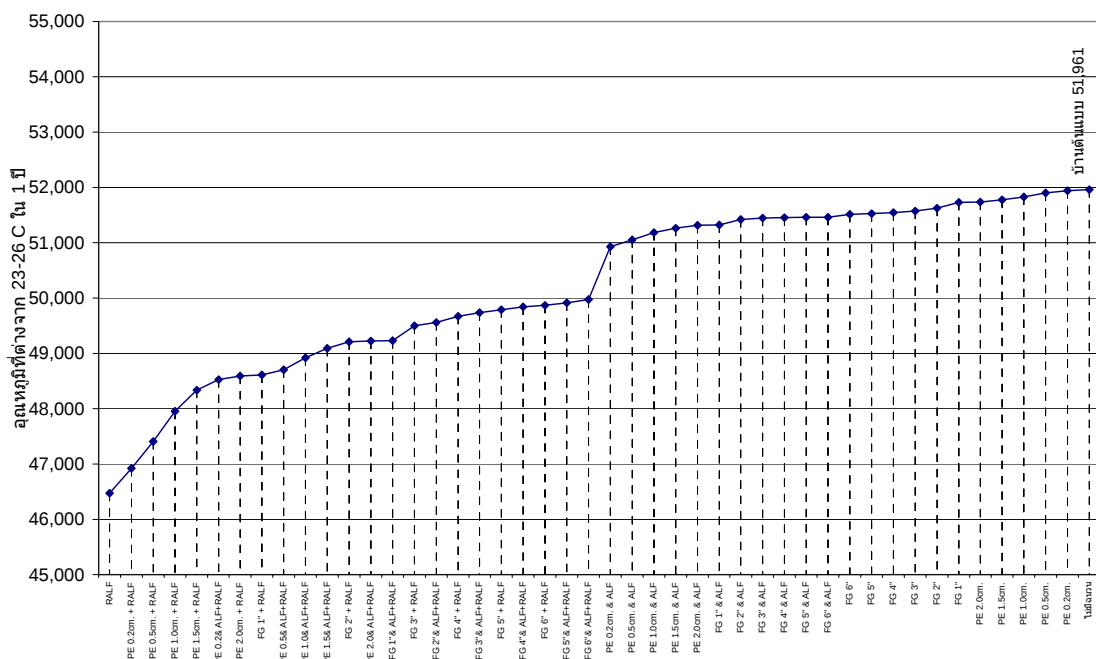
RALF คือแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่, FG คือฉนวนใยแก้ว, PE คือฉนวนโฟม PE และ &ALF คือ หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน



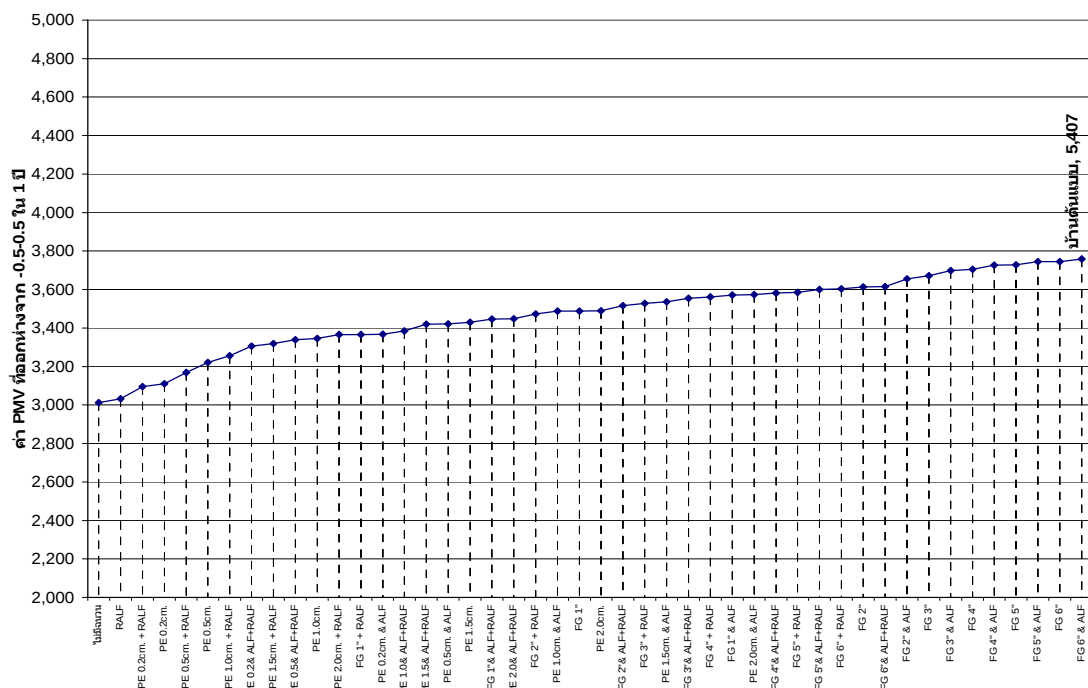
แผนภูมิที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลอง ที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. (กรุงเทพฯ)



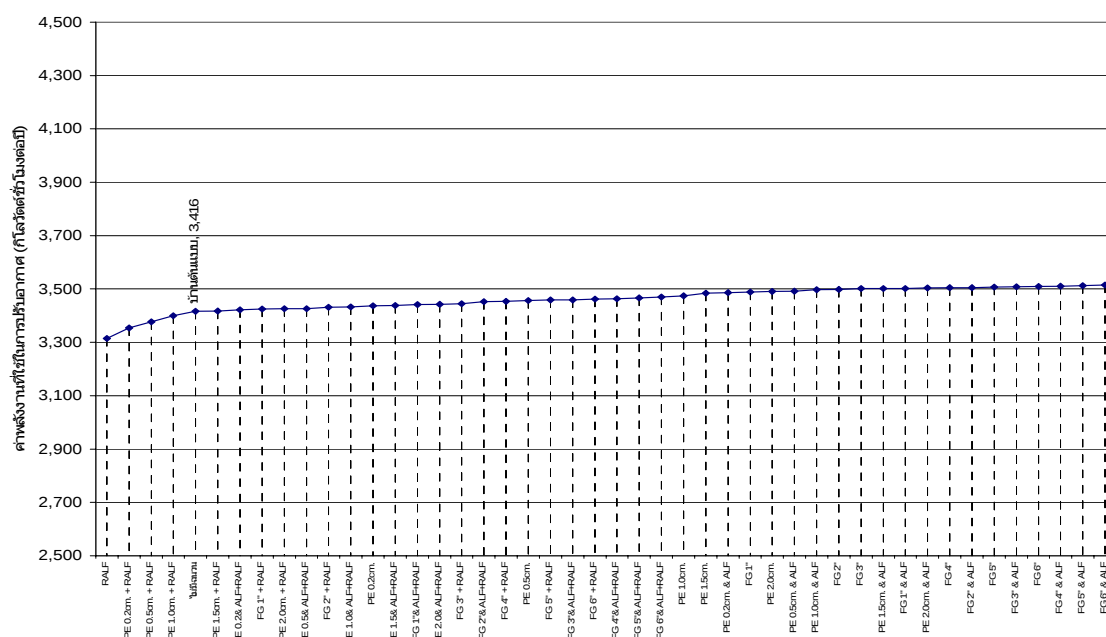
แผนภูมิที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลอง ที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น.



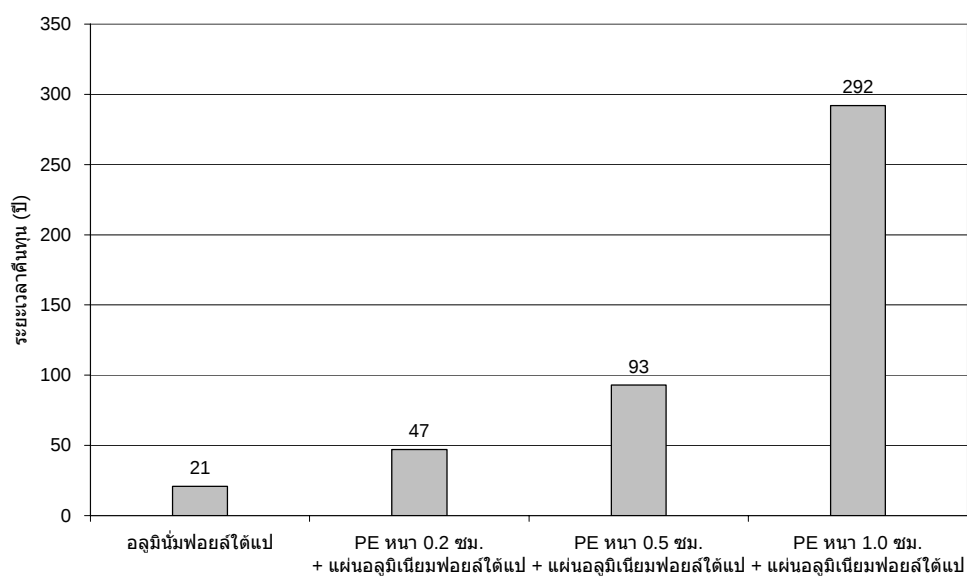
แผนภูมิที่ 38 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอคูมิเนียมฟอยล์ได้เป่ ผนวไนแก้ว และผนวไนโฟม PE ในช่วงเวลาทั้งวัน (กรุงเทพฯ)



แผนภูมิที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอคูมิเนียมฟอยล์ได้เป่ ผนวไนแก้ว และผนวไนโฟม PE ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (กรุงเทพฯ)



แผนภูมิที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE (กรุงเทพฯ)

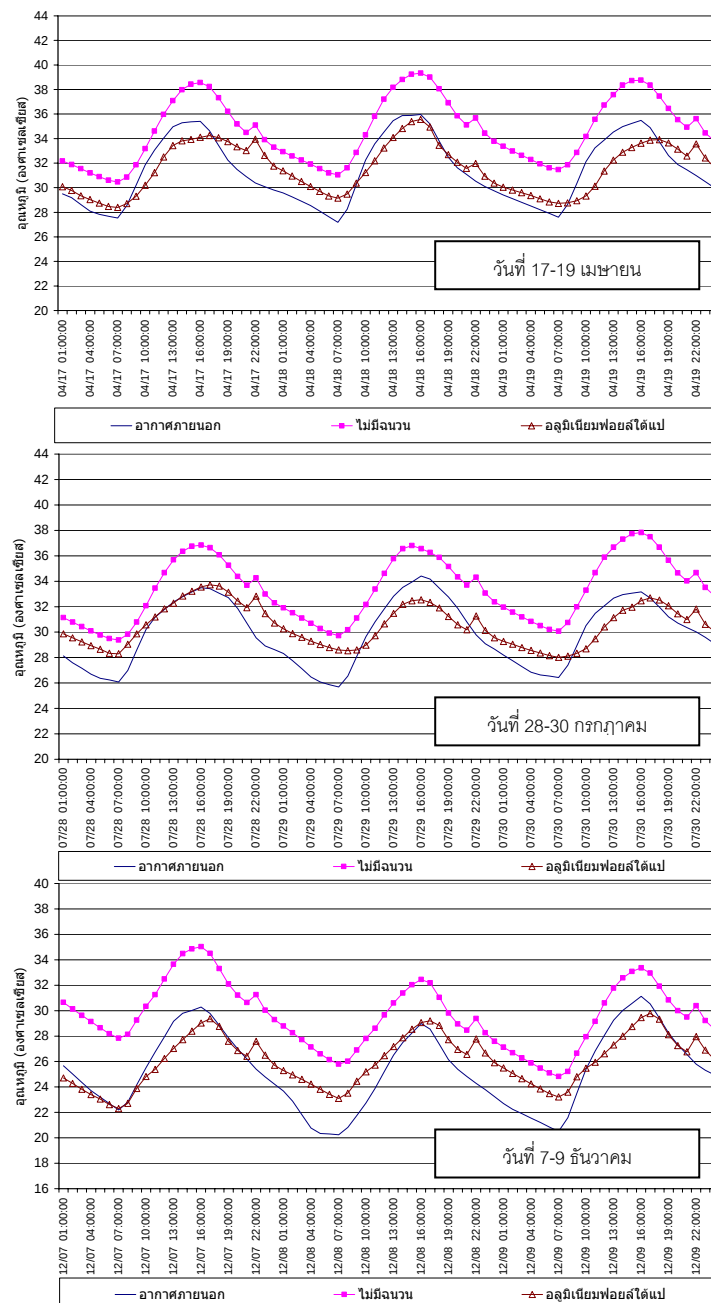


แผนภูมิที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนกันความร้อนของบ้านจำลอง (กรุงเทพฯ)

## 2 สภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่

### 2.1 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

2.1.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิตลอดวัน ของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (เชียงใหม่)



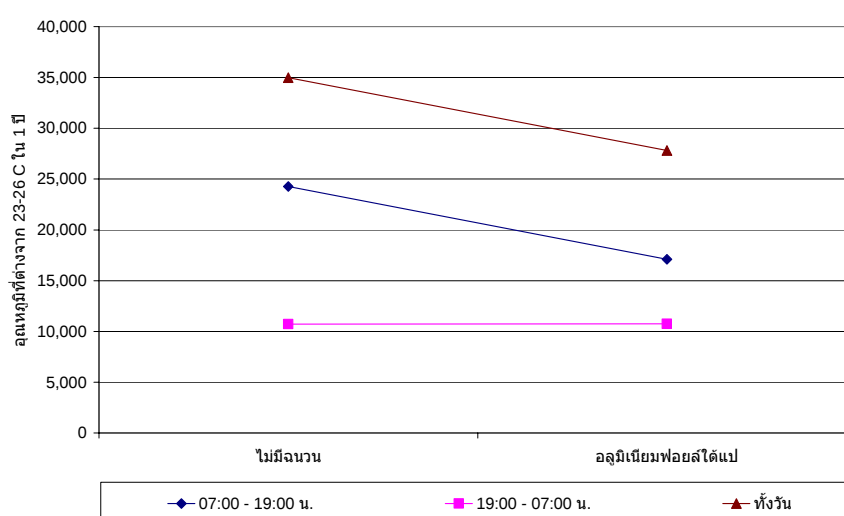
แผนภูมิที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ภายในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป ของวันที่ 17-19 เม.ย., วันที่ 28-30 ก.ค. และวันที่ 7-9 ธ.ค. (หมายเหตุ: เลือกใช้ข้อมูลของปี พศ.2550 มาทำการศึกษา) (เชียงใหม่)

ในวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และวันที่ 7-9 ธันวาคม การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ได้ ตลอดทั้งวัน ในช่วงกลางวัน ลดได้ประมาณ 2 – 6 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ลดได้ประมาณ 1 – 3 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีฉนวนกันความร้อน (แผนภูมิที่ 42)

2.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ โดยพิจารณาจากผลรวมของอุณหภูมิในแต่ละชั่วโมงที่แตกต่างจากอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใน 1 ปี ( $\Delta T$ ) ในห้องนอนใหญ่ ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (เชียงใหม่)

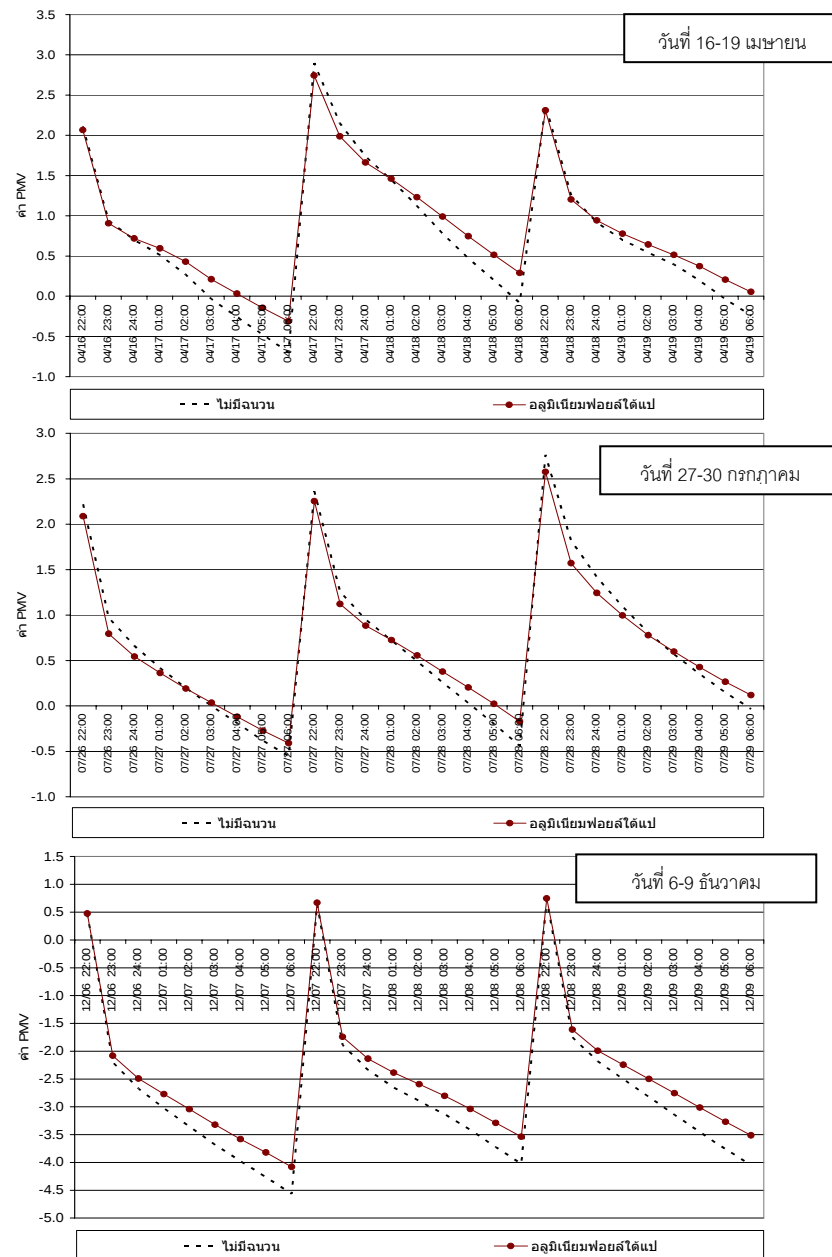
ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. บ้านต้นแบบมีค่า  $\Delta T$  เท่ากับ 24,270 องศาเซลเซียส ส่วนบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะมีค่า  $\Delta T$  เท่ากับ 17,091 องศาเซลเซียส การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ได้แปะจึงช่วยลดค่า  $\Delta T$  ลงไปได้ 7,180 องศาเซลเซียส ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. บ้านต้นแบบมีค่า  $\Delta T$  เท่ากับ 10,718 องศาเซลเซียส บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะมีค่า  $\Delta T$  เท่ากับ 10,731 องศาเซลเซียส การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะทำให้ค่า  $\Delta T$  เพิ่มขึ้น 13 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาจากผลรวมทั้งหมด ช่วงเวลาทั้งวัน บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะช่วยลด  $\Delta T$  ได้ 7,167 องศาเซลเซียส หรือคิดเป็นร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ (แผนภูมิที่ 43)



แผนภูมิที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (เชียงใหม่)

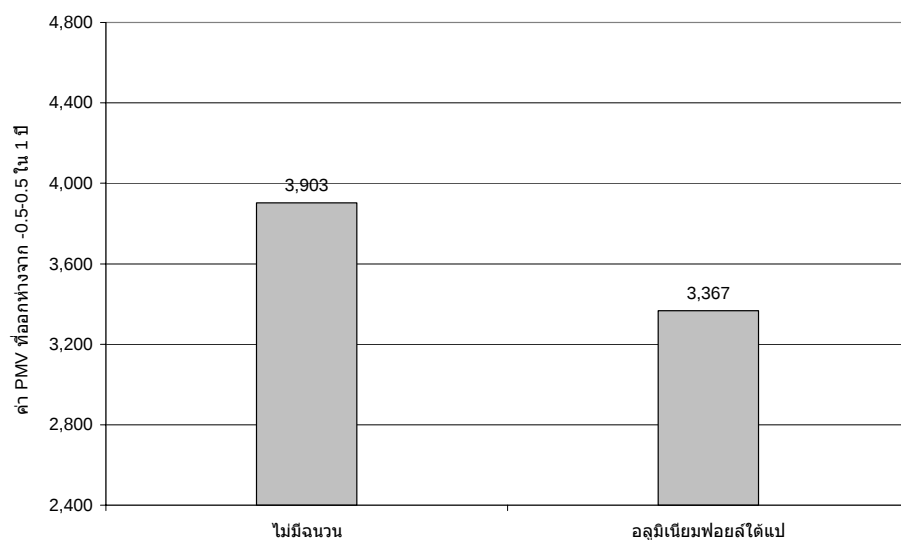
2.1.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ โดยพิจารณาจากความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort) ในห้องนอนใหญ่ ในสถานะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่)



แผนภูมิที่ 44 แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป้ ของวันที่ 16-19 เม.ย., วันที่ 27-30 ก.ค. และวันที่ 6-9 ธ.ค. (หมายเหตุ: เลือกใช้ข้อมูลของปี พศ.2550 มาทำการศึกษา) (เชียงใหม่)

ช่วงวันที่ 16-19 เมษายน และ วันที่ 27-30 กรกฎาคม การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะทำให้ค่า PMV อยู่ในสถานะที่ไม่น่าสบายมากกว่าการไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน โดยเฉพาะตั้งแต่ช่วงเวลา 24:00 น. เป็นต้นไป แต่ในช่วงวันที่ 6 – 9 ธันวาคม การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ช่วยทำให้อยู่ในสถานะน่าสบายมากขึ้น (แผนภูมิที่ 44)

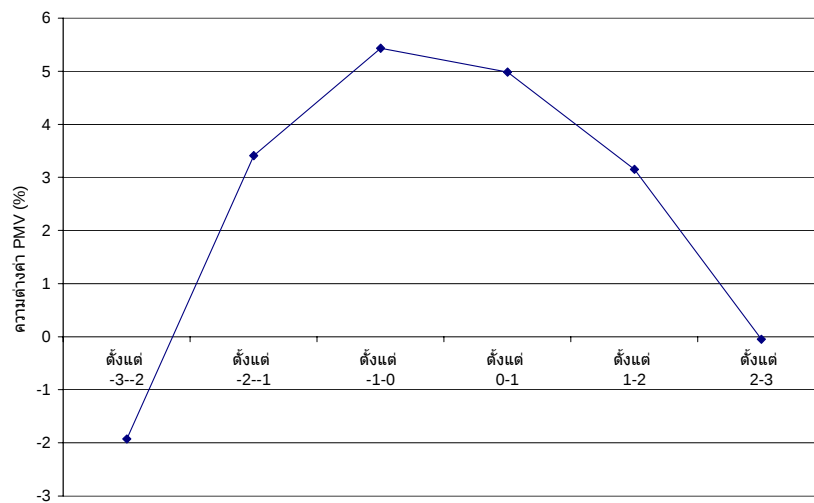
บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ลงจากบ้านต้นแบบ คิดเป็นจำนวน 587 หน่วยต่อปี (แผนภูมิที่ 45)



แผนภูมิที่ 45 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (เชิงใหม่)

ตารางที่ 24 แสดงความถี่ของค่า PMV (%) ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชิงใหม่)

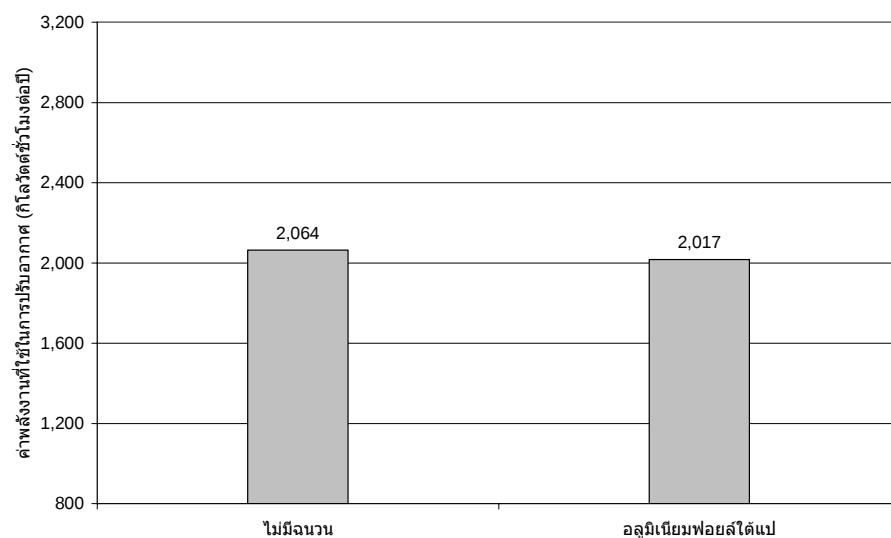
| ความหมาย                             | cold | cool | slightly cool | neutral | slightly warm | warm | hot |
|--------------------------------------|------|------|---------------|---------|---------------|------|-----|
| ดัชนีตัวเลข                          | -3   | -2   | -1            | 0       | 1             | 2    | 3   |
| บ้านต้นแบบ (A)                       | 22   | 11   | 19            | 17      | 10            | 6    |     |
| บ้านใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (B) | 20   | 14   | 24            | 22      | 13            | 6    |     |
| (B)-(A) (%)                          | -2   | 3    | 5             | 5       | 3             | 0    |     |



แผนภูมิที่ 46 แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ (จากตารางที่ 4.6) ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่)

2.1.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ โดยพิจารณาจากค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศต่อปี (เชียงใหม่)

บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะมีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีน้อยกว่าบ้านต้นแบบ 48 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 2.3 (แผนภูมิที่ 47)



แผนภูมิที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (เชียงใหม่)

เมื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุนของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ สามารถสรุปเป็นตารางดังนี้

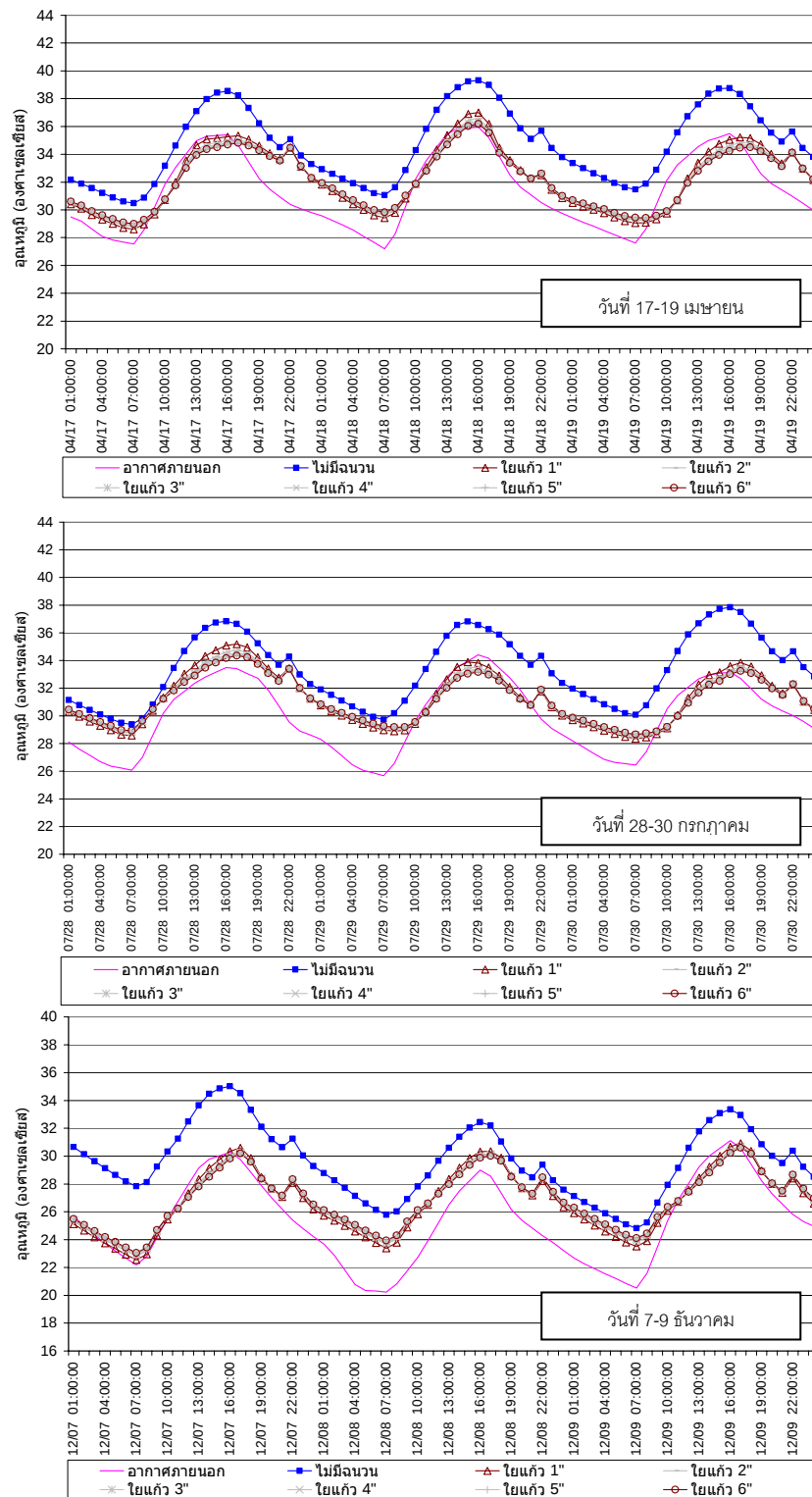
ตารางที่ 25 สรุประยะเวลาคืนทุนของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (เชียงใหม่)

| ฉนวน                             | รวมต้นทุน<br>(บาท) | ค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับ<br>อากาศ /ปี<br>(kWh) | ค่าไฟฟ้า<br>/ปี<br>(บาท) | ประหยัด<br>/ปี<br>(บาท) | ระยะเวลา<br>คืนทุน<br>(ปี) |
|----------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1. ไม่มีฉนวน                     | -                  | 2,064                                           | 7,024                    | -                       | -                          |
| 2. แผ่นอลูมิเนียม<br>ฟอยล์ได้แปะ | 8,740              | 2,016                                           | 6,809                    | 215                     | 40                         |

## 2.2 ฉนวนใยแก้ว

2.2.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิตลอดวัน ของการใช้ฉนวนใยแก้ว ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (เชียงใหม่)

ในวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และวันที่ 7-9 ธันวาคม การใช้ฉนวนใยแก้ว ช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ได้ ตลอดทั้งวัน ในช่วงกลางวัน ลดได้ประมาณ 2 – 6 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ลดได้ประมาณ 0.5 – 2.0 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน (แผนภูมิที่ 48)

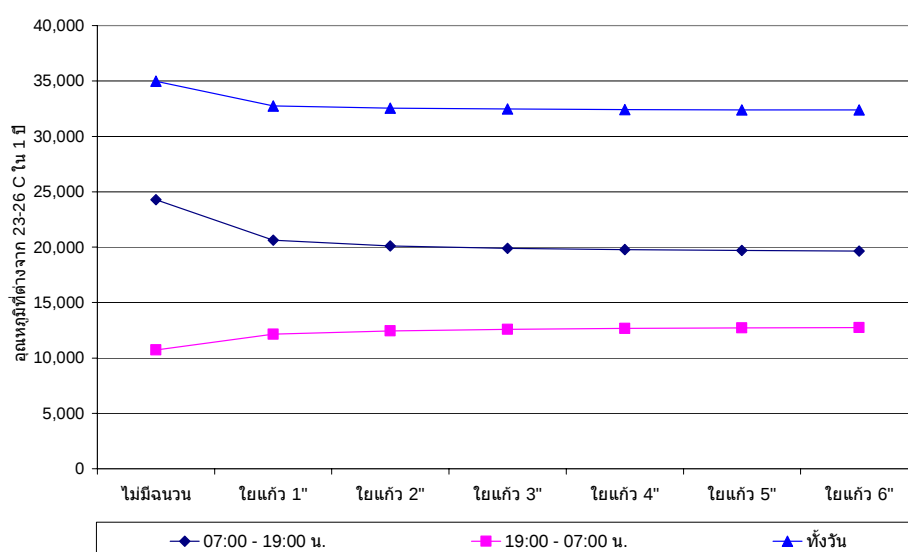


แผนภูมิที่ 48 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และการใช้ฉนวนใยแก้ว ของวันที่ 17-19 เม.ย., วันที่ 28-30 ก.ค. และวันที่ 7-9 ธ.ค. (หมายเหตุ: เลือกใช้ข้อมูลของปี พศ.2550 มาทำการศึกษา) (เชียงใหม่)

2.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้นวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (เชียงใหม่)

ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. บ้านจำลองที่ใช้นวนโยแก้วที่มีความหนา 1 - 6 นิ้ว ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 3,651 - 4,635 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ โดยนวนโยแก้วที่มีความหนามากขึ้นจะช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากขึ้นด้วย แต่ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. จะมีผลกลับกันคือ บ้านจำลองที่ใช้นวนโยแก้วที่มีความหนา 1 - 6 นิ้ว ทำให้ค่า  $\Delta T$  มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1,414 – 2,023 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ

เมื่อพิจารณาจากผลรวมของช่วงเวลาทั้งวัน บ้านจำลองที่ใช้นวนโยแก้วที่มีความหนา 1 - 6 นิ้ววางบนฝ้าเพดาน ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 2,237 – 2,612 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ นวนโยแก้วที่มีความหนามากขึ้นจะยิ่งช่วยให้ค่า  $\Delta T$  ของช่วงเวลาทั้งวันลดลง (แผนภูมิที่ 49)

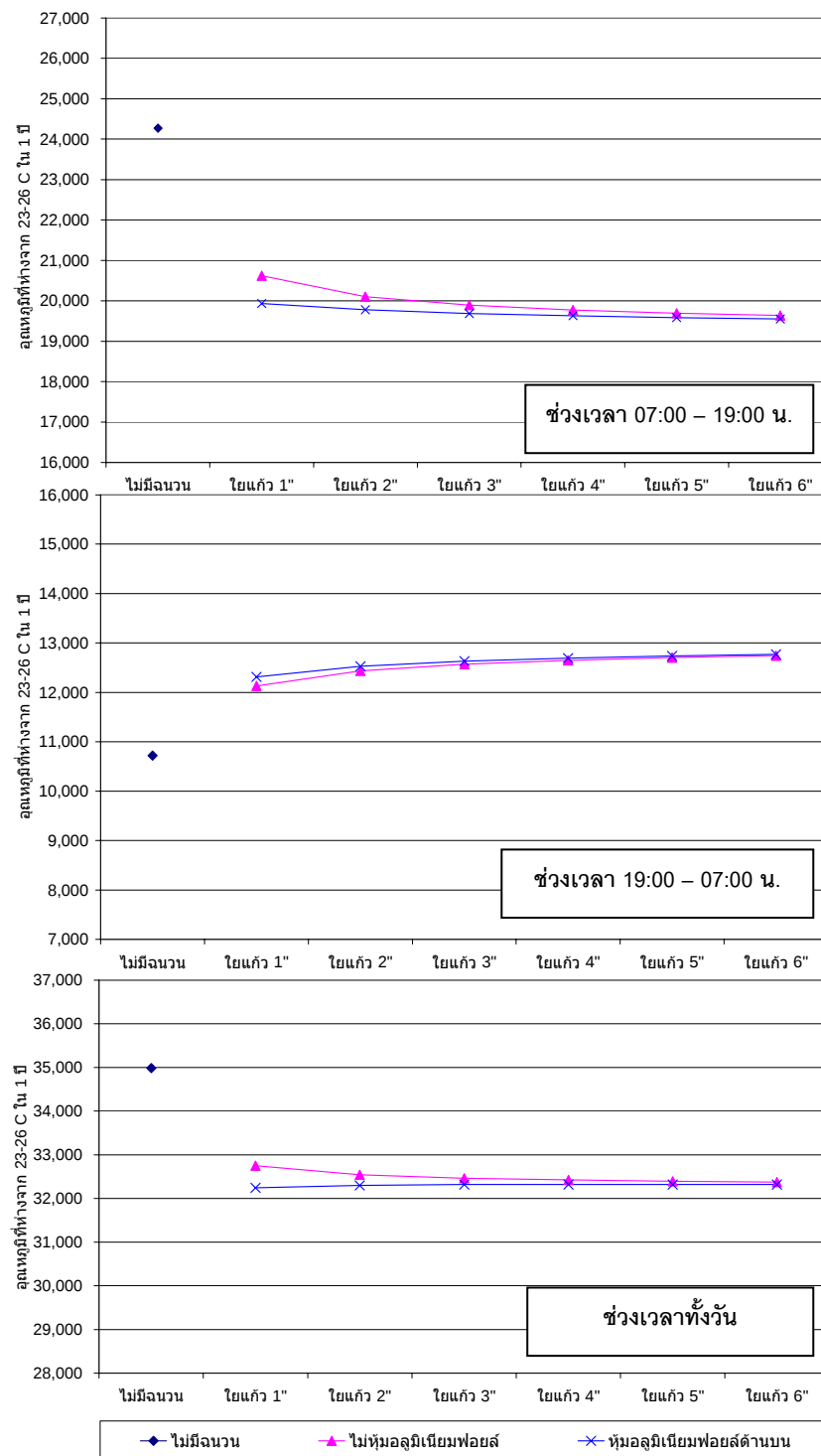


แผนภูมิที่ 49 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้นวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน (เชียงใหม่)

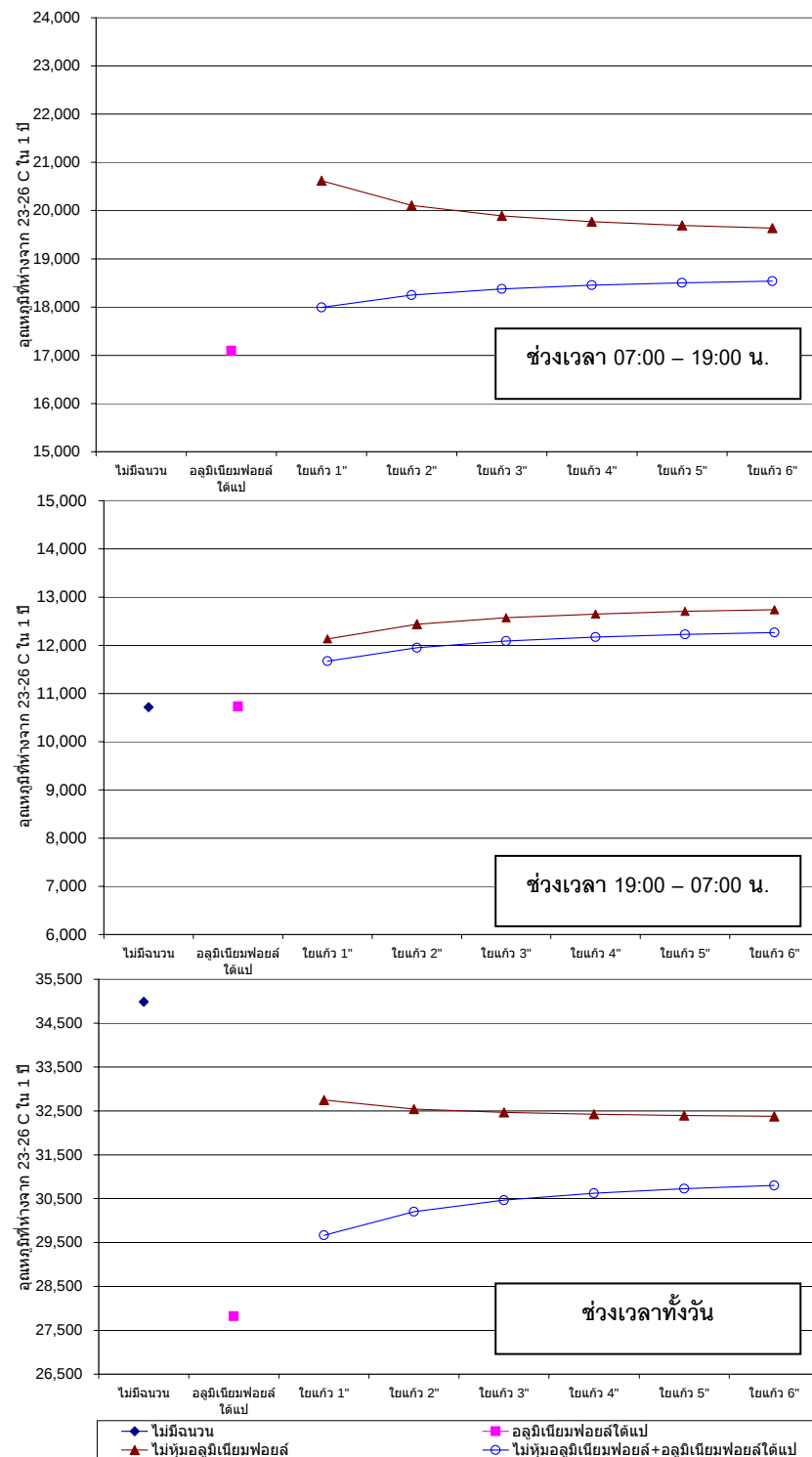
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการใช้นวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน ความหนา 1 – 6 นิ้ว แบบไม่หุ้มฉนวนนิย่มพอยล์ และแบบหุ้มฉนวนนิย่มพอยล์ พบว่า ช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. บ้านจำลองที่ใช้นวนโยแก้วแบบหุ้มฉนวนนิย่มพอยล์ ช่วยลดค่า ได้ประมาณ 85 – 687 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. เพิ่ม  $\Delta T$  ประมาณ 27 - 180 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาผลรวมของเวลาทั้งวัน บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วแบบหุ้มอลูมิเนียมพอยล์ ช่วยทำให้ค่า  $\Delta T$  ลดลงประมาณ 57 – 507 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมพอยล์ การใช้ฉนวนใยแก้วที่มีความหนามากขึ้นเมื่อหุ้มอลูมิเนียมพอยล์ก็ทำให้ค่า  $\Delta T$  ยิ่งสูงขึ้น (แผนภูมิที่ 50)

ในการศึกษาค่า  $\Delta T$  ของการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ ได้ผลการทดลองคือ ในทั้งสองช่วงเวลา บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ ช่วยลดค่า  $\Delta T$  จากบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อนำไปพิจารณาเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียว พบว่า ในทั้งสองช่วงเวลา บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียวมีค่า  $\Delta T$  น้อยกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. ประมาณ 901 – 1,445 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. ประมาณ 942 – 1,538 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ การใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียวจึงช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้แปะ (แผนภูมิที่ 51)

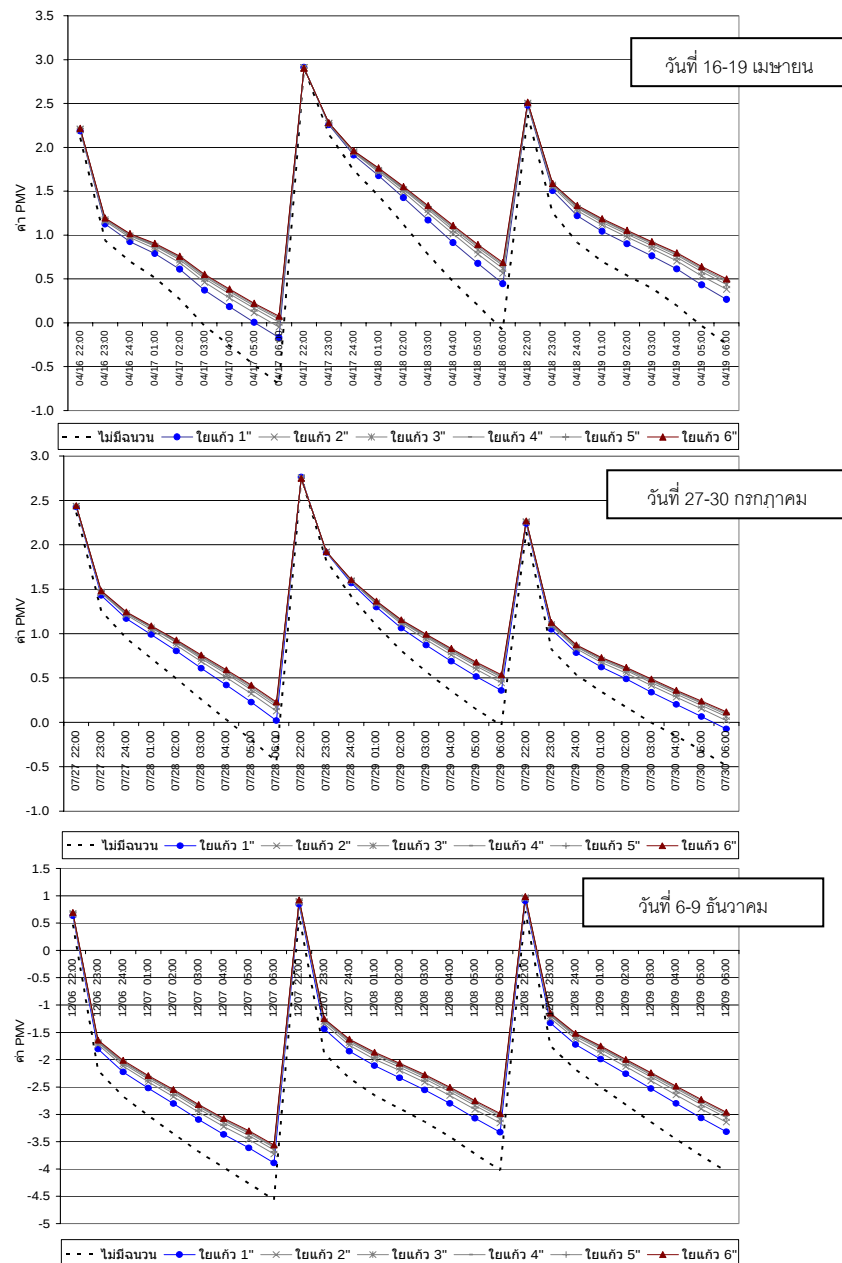


แผนภูมิที่ 50 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. (รูปบน) ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน (รูปล่าง) (เชิงใหม่)



แผนภูมิที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. (รูปบน) ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน (รูปล่าง) (เชียงใหม่)

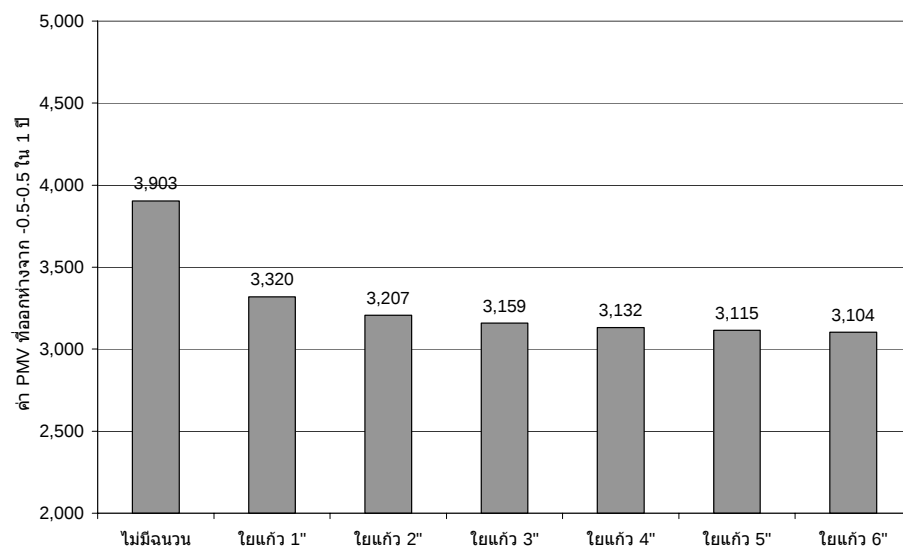
2.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้นนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort) ในห้องนอนใหญ่ ในสถานะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่)



แผนภูมิที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้นนวนโยแก้ววางบนฝ้าเพดาน ของวันที่ 16-19 เม.ย., วันที่ 27-30 ก.ค. และวันที่ 6-9 ธ.ค. (หมายเหตุ: เลือกใช้ข้อมูลของปี พศ.2550 มาทำการศึกษา) (เชียงใหม่)

ช่วงวันที่ 16-19 เมษายน และ วันที่ 27-30 กรกฎาคม การใช้ฉนวนใยแก้วทำให้ค่า PMV อยู่ในสถานะที่ไม่น่าสบายมากกว่าการไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน โดยเฉพาะตั้งแต่ช่วงเวลา 23:00 น. เป็นต้นไป แต่ในช่วงวันที่ 6 – 9 ธันวาคม การใช้ฉนวนใยแก้ว ช่วยทำให้อยู่ในสถานะน่าสบายมากขึ้น (แผนภูมิที่ 52)

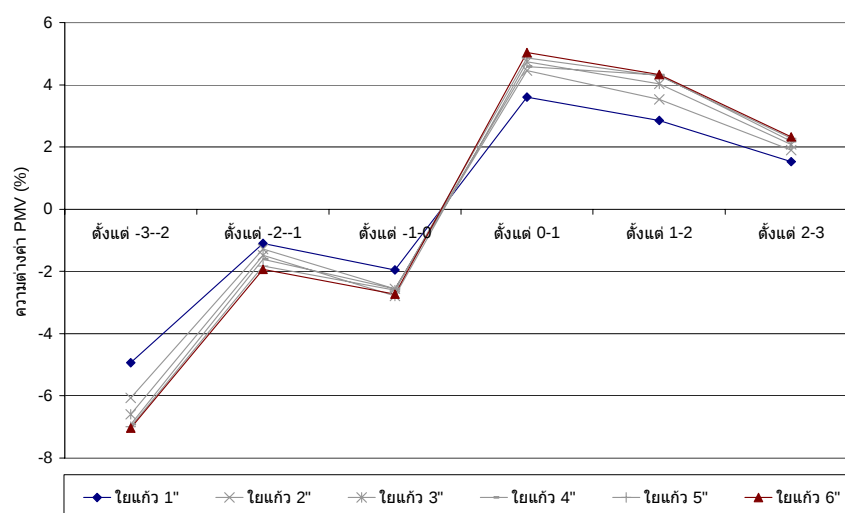
บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วความหนา 1 – 6 นิ้ว ช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ลงจากบ้านต้นแบบ โดยบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว และ 6 นิ้ว มีค่า  $\Delta PMV$  น้อยกว่าบ้านต้นแบบ เป็นจำนวน 583 และ 800 หน่วย หรือคิดเป็นร้อยละ 15 และ 20 ตามลำดับ โดยเมื่อความหนาของฉนวนใยแก้วมากขึ้น ค่า  $\Delta PMV$  จะยิ่งลดน้อยลง (แผนภูมิที่ 53)



แผนภูมิที่ 53 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ (เชียงใหม่)

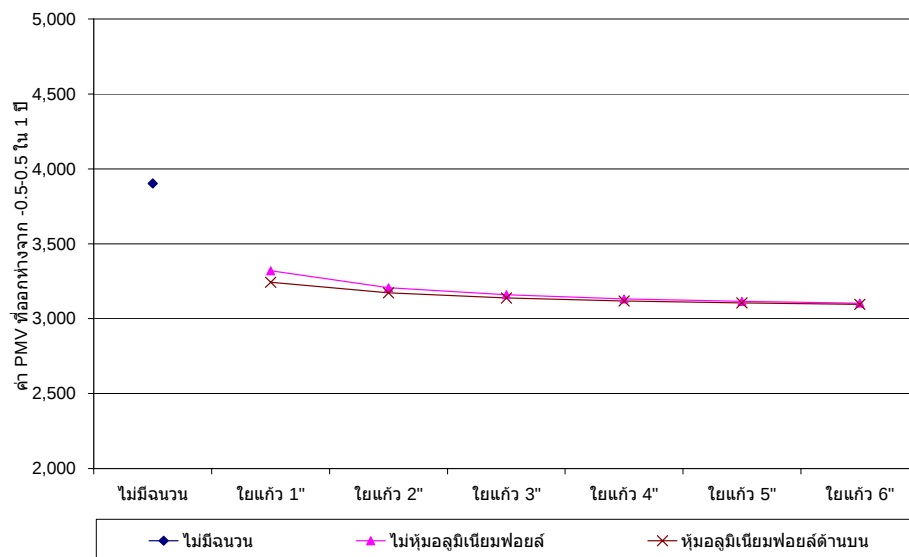
ตารางที่ 26 แสดงความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่)

| ความหมาย                 | cold | cool | slightly cool | neutral | slightly warm | warm | hot |
|--------------------------|------|------|---------------|---------|---------------|------|-----|
| ดัชนีตัวเลข              | -3   | -2   | -1            | 0       | 1             | 2    | 3   |
| บ้านต้นแบบ (A)           | 22   | 11   | 19            | 17      | 10            | 6    |     |
| บ้านฉีใยแก้ว 1 นิ้ว (c1) | 17   | 10   | 17            | 21      | 13            | 7    |     |
| บ้านฉีใยแก้ว 2 นิ้ว (c2) | 16   | 10   | 17            | 22      | 13            | 7    |     |
| บ้านฉีใยแก้ว 3 นิ้ว (c3) | 15   | 10   | 17            | 22      | 14            | 8    |     |
| บ้านฉีใยแก้ว 4 นิ้ว (c4) | 15   | 10   | 17            | 22      | 14            | 8    |     |
| บ้านฉีใยแก้ว 5 นิ้ว (c5) | 15   | 10   | 17            | 22      | 14            | 8    |     |
| บ้านฉีใยแก้ว 6 นิ้ว (c6) | 15   | 9    | 17            | 22      | 14            | 8    |     |
| (C1)-(A) (%)             | -2   | -1   | -6            | -3      | 6             | 6    |     |
| (C2)-(A) (%)             | -2   | -1   | -6            | -4      | 7             | 7    |     |
| (C3)-(A) (%)             | -2   | -1   | -7            | -4      | 7             | 7    |     |
| (C4)-(A) (%)             | -2   | -1   | -7            | -4      | 7             | 7    |     |
| (C5)-(A) (%)             | -2   | -1   | -7            | -4      | 7             | 8    |     |
| (C6)-(A) (%)             | -2   | -1   | -7            | -5      | 7             | 8    |     |



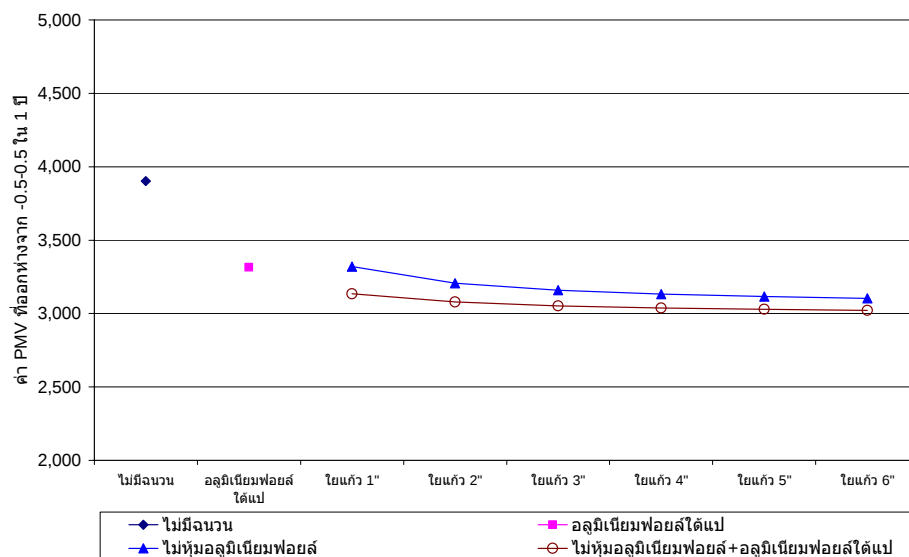
แผนภูมิที่ 54 แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ (จากตารางที่ 4.8) ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่)

บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วความหนา 1 – 6 นิ้ว วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้ม อลูมิเนียมฟอยล์ มีค่า  $\Delta PMV$  มากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบหุ้ม อลูมิเนียมฟอยล์ 8 – 77 หน่วย (แผนภูมิที่ 55)



แผนภูมิที่ 55 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ว วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน (เชิงใหม่)

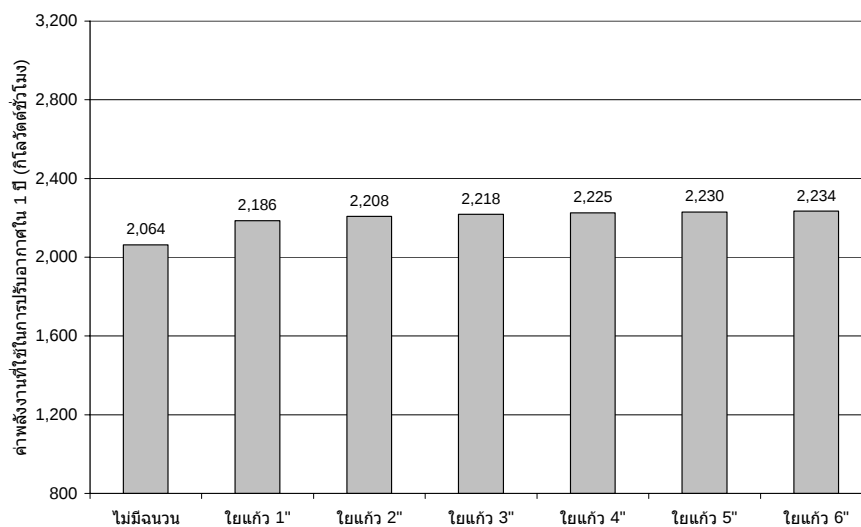
ในการศึกษาค่า  $\Delta PMV$  ของการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และ การใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ได้ผลการทดลองคือ การใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียวได้ประมาณ 89 – 196 หน่วย และลดค่า  $\Delta PMV$  ของบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียวได้ 238 – 355 หน่วย เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ พบว่า การใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะสามารถลดค่า  $\Delta PMV$  จากบ้านต้นแบบได้ประมาณ 800 – 917 หน่วย ฉะนั้น การใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะจึงเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่า  $\Delta PMV$  ต่ำที่สุด โดยฉนวนใยแก้วที่วางบนฝ้าเพดานที่มีความหนามากขึ้น จะมีค่า  $\Delta PMV$  ลดลง (แผนภูมิที่ 56)



แผนภูมิที่ 56 แสดงการเปรียบเทียบ  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป (เชียงใหม่)

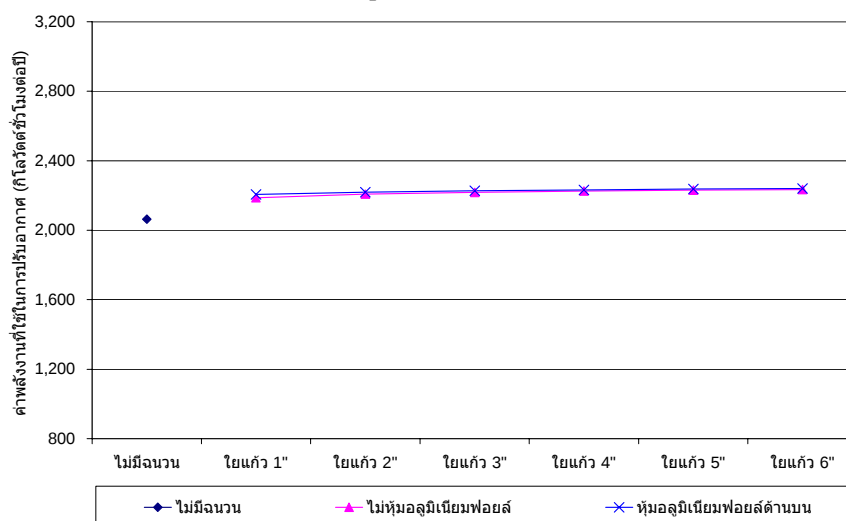
2.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใส่ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศต่อปี (เชียงใหม่)

บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วที่ความหนา 1 - 6 นิ้ว มีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศมากกว่าบ้านต้นแบบ โดยการใช้ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว และ 6 นิ้ว มีค่ามากกว่าบ้านต้นแบบ 122 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 170 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 6 และ 8 ตามลำดับ การใส่ฉนวนใยแก้วที่มีความหนามากขึ้นจะยิ่งเพิ่มการใช้พลังงานในการปรับอากาศให้กับบ้านจำลองมากขึ้น (แผนภูมิที่ 57)



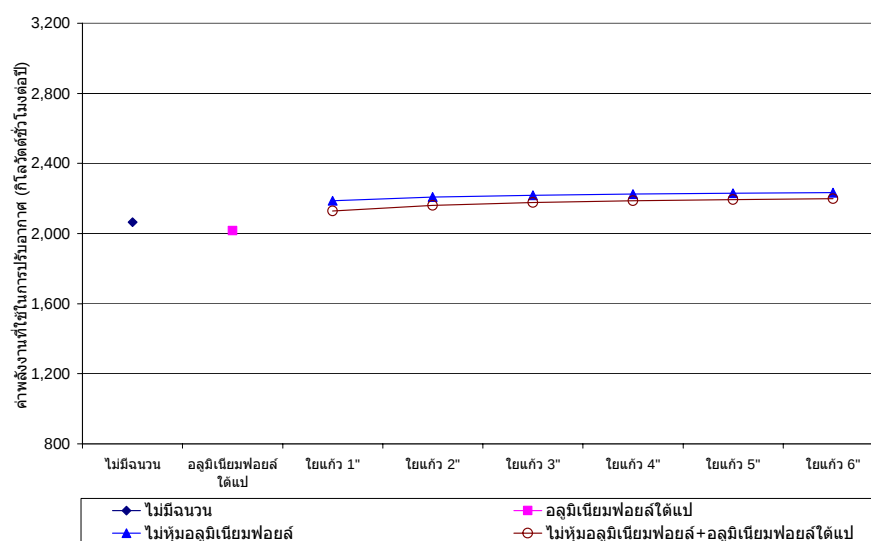
แผนภูมิที่ 57 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ (เชียงใหม่)

ฉนวนใยแก้วที่มีความหนาเท่ากัน เมื่อหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์จะทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานในการปรับอากาศของบ้านจำลองสูงกว่าแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์เล็กน้อย โดยที่ความหนาของฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว และ 6 นิ้ว เมื่อหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์จะมีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีมากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ 20 กิโลวัตต์ ชั่วโมง และ 6 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ตามลำดับ (แผนภูมิที่ 58)



แผนภูมิที่ 58 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน (เชียงใหม่)

ในการศึกษาค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป การใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป ได้ผลการทดลองคือ การใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปี ของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานอย่างเดียวได้ แต่หากพิจารณาเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปเพียงอย่างเดียว พบว่า บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปเพียงอย่างเดียวจะประหยัดพลังงานในการปรับอากาศได้มากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป ประมาณ 113 – 181 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ดังนั้น การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปเพียงอย่างเดียวจึงช่วยประหยัดพลังงานในการปรับอากาศของบ้านจำลองได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป (แผนภูมิที่ 59)

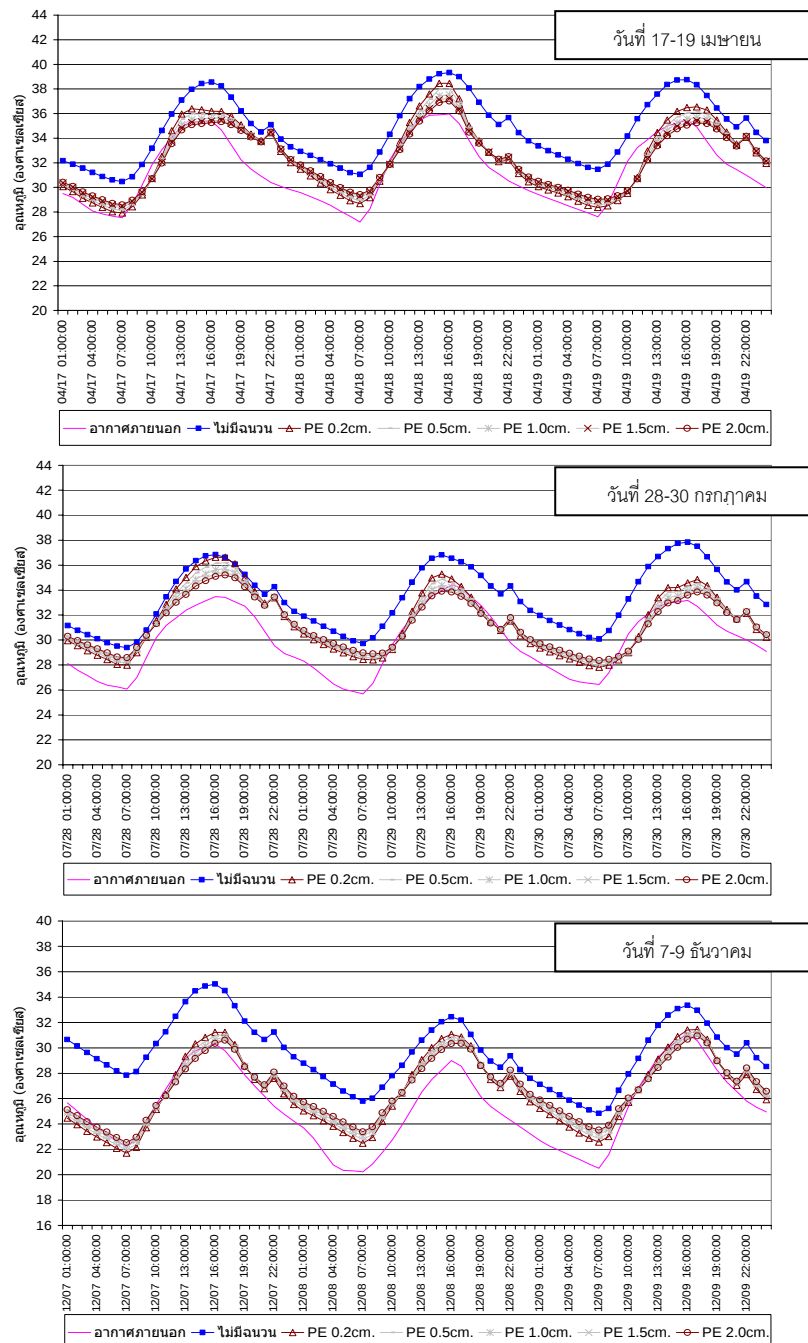


แผนภูมิที่ 59 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป (เชิงใหม่)

การใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนใยแก้วในลักษณะต่างๆที่วางบนฝ้าเพดาน มีค่ามากกว่าบ้านต้นแบบ การเพิ่มความหนาของฉนวนใยแก้วกลับยิ่งเพิ่มค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศ เมื่อพิจารณาเรื่องความคุ้มค่าในการช่วยประหยัดค่าไฟฟ้า การใช้ฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดานจึงไม่คุ้มค่าในการลงทุน

## 2.3 ฉนวนโฟม PE

### 2.3.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิตลอดวัน ของการใช้ฉนวนโฟม PE ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (เชียงใหม่)



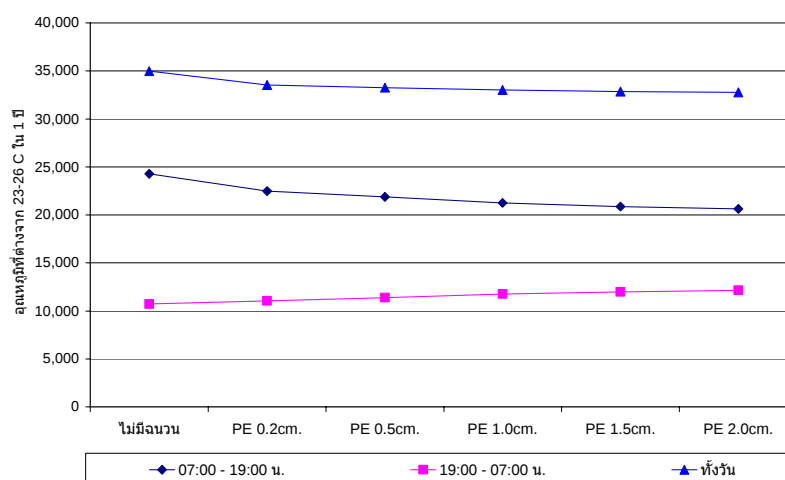
แผนภูมิที่ 60 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และการใช้ฉนวนโฟม PE ของวันที่ 17-19 เม.ย., วันที่ 28-30 ก.ค. และ วันที่ 7-9 ธ.ค. (หมายเหตุ: เลือกใช้ข้อมูลของปี พศ.2550 มาทำการศึกษา) (เชียงใหม่)

ในวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และวันที่ 7-9 ธันวาคม การใช้ฉนวนโฟม PE ช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ได้ตลอดทั้งวัน ในช่วงกลางวัน ลดได้ประมาณ 1 - 3 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ลดได้ประมาณ 1 - 2 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ฉนวนกันความร้อน (แผนภูมิที่ 60)

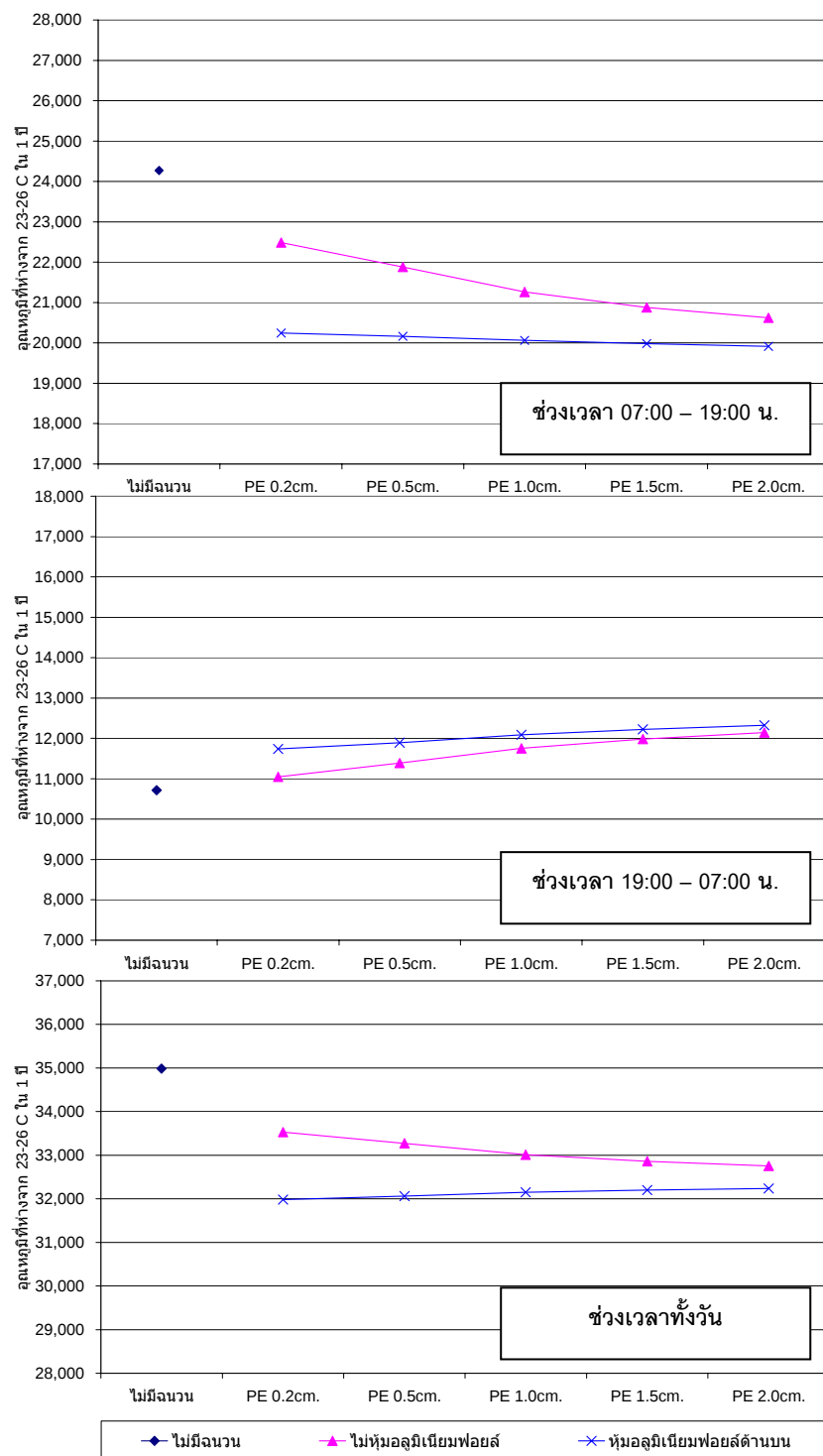
2.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ (เชียงใหม่)

ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ที่ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เซนติเมตร ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 1,786 - 3,657 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ โดยฉนวนโฟม PE ที่มีความหนามากขึ้นช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากขึ้นด้วย แต่ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. จะมีผลกลับกันคือ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ที่ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เซนติเมตร จะทำให้ค่า  $\Delta T$  สูงขึ้นประมาณ 188 – 943 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ และฉนวนโฟม PE ยิ่งมีความหนามากขึ้นค่า  $\Delta T$  ก็ยิ่งสูงขึ้น

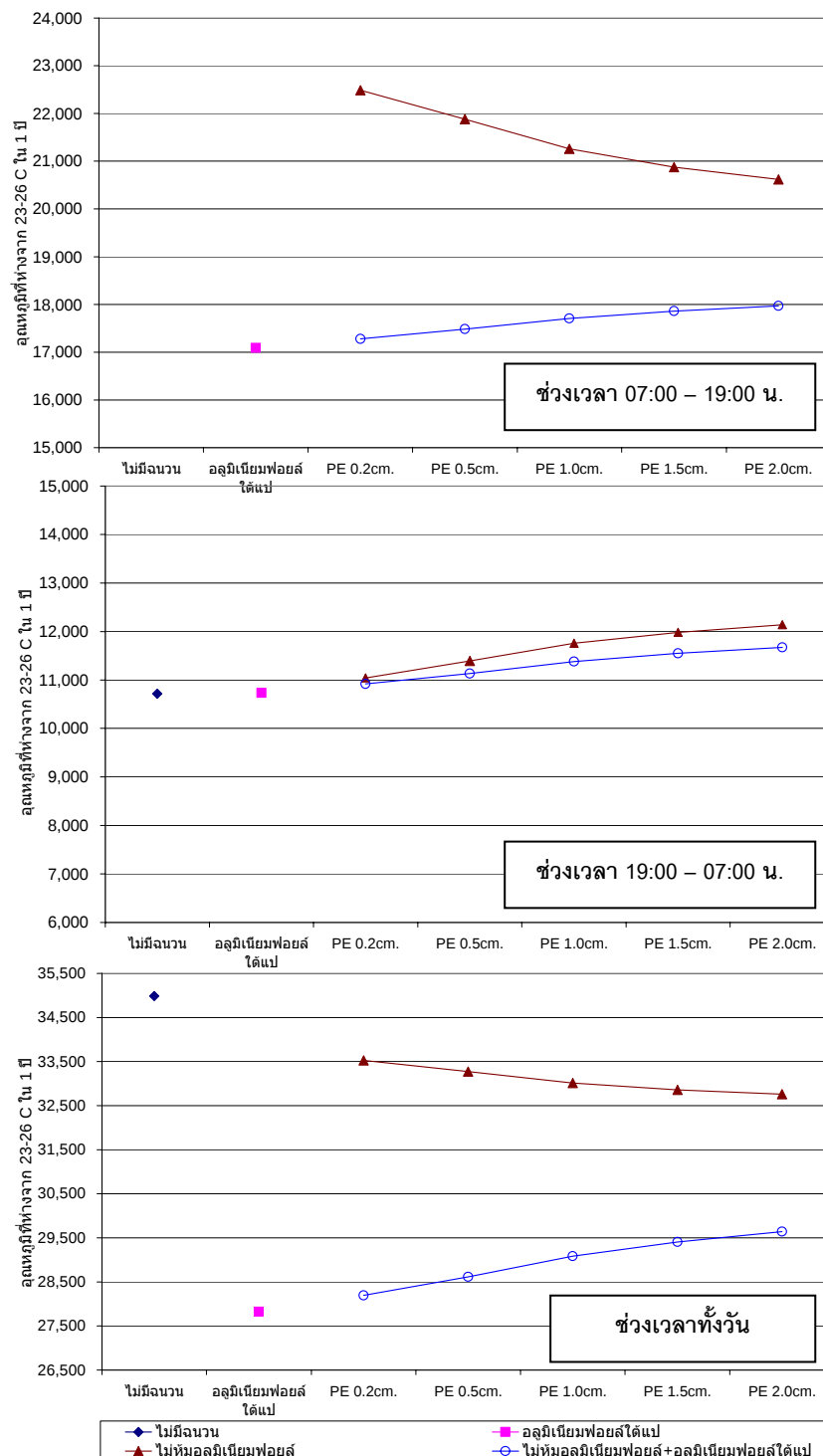
เมื่อพิจารณาจากผลรวมของช่วงเวลาทั้งวัน การใช้ฉนวนโฟม PE ที่ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เซนติเมตร ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ 1,460 – 2,229 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ โดยที่ฉนวนโฟม PE ที่มีความหนามากขึ้นจะยิ่งช่วยลดค่า  $\Delta T$  ของช่วงเวลาทั้งวันได้มากขึ้น (แผนภูมิที่ 61)



แผนภูมิที่ 61 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน (เชียงใหม่)



แผนภูมิที่ 62 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเปดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. (รูปบน) ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน (รูปล่าง) (เชียงใหม่)

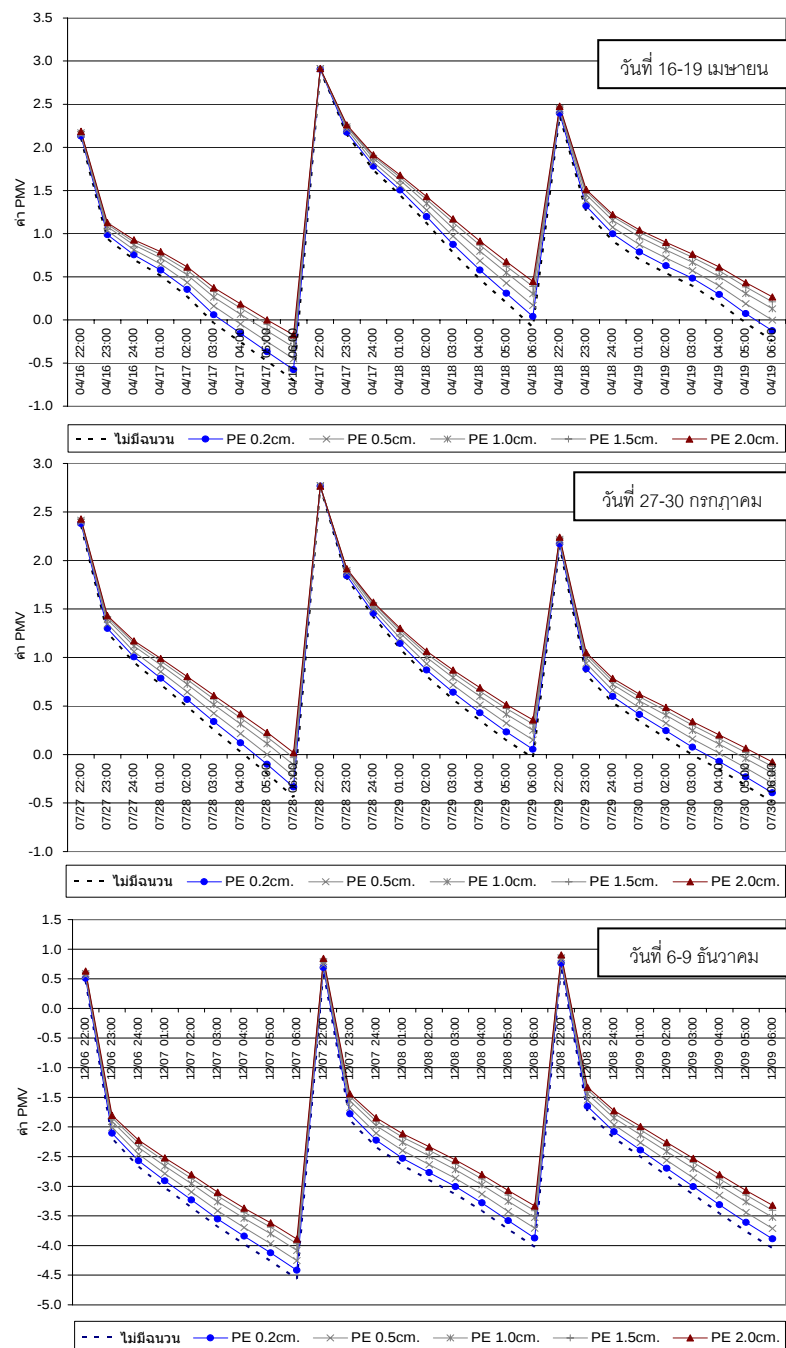


แผนภูมิที่ 63 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. (รูปบน) ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (รูปกลาง) และในช่วงเวลาทั้งวัน (รูปล่าง) (เชิงใหม่)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ พบว่า ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE แบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 705 – 2,238 องศาเซลเซียส ในทางตรงกันข้าม ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE แบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ กลับทำให้ค่า  $\Delta T$  เพิ่มขึ้นประมาณ 183 - 695 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาผลรวมของช่วงเวลาทั้งวัน บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE แบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 522 – 1,543 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE แบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ฉนวนโฟม PE ที่มีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์จะยิ่งทำให้มีค่า  $\Delta T$  สูงขึ้น (แผนภูมิที่ 62)

ในการศึกษาค่า  $\Delta T$  ของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ ได้ผลการทดลอง คือ ในทั้งสองช่วงเวลา บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ ช่วยลดค่า  $\Delta T$  จากบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่เพียงอย่างเดียว พบว่าในทั้งสองช่วงเวลา บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่เพียงอย่างเดียวมีค่า  $\Delta T$  น้อยกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. ประมาณ 188 – 800 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. ประมาณ 188 – 943 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่เพียงอย่างเดียวจึงช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ (แผนภูมิที่ 63)

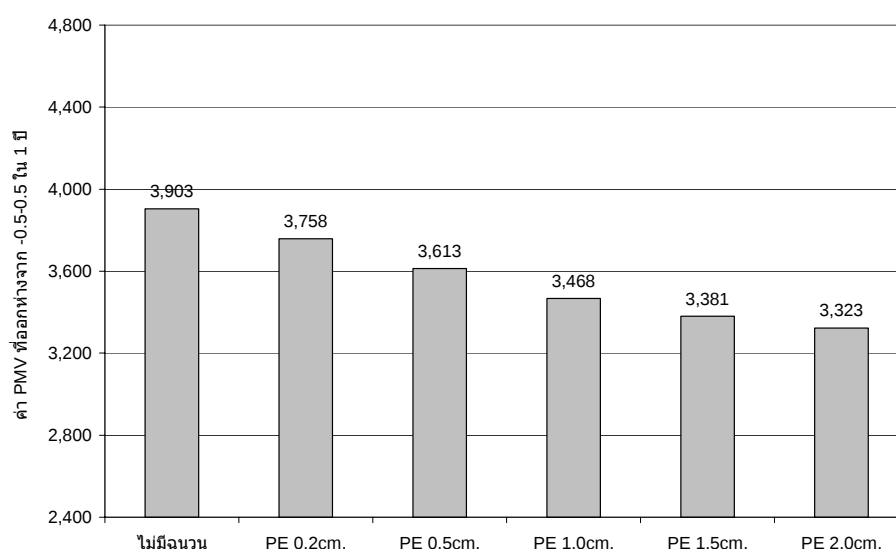
2.3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใช้นวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort) ในห้องนอนใหญ่ ในสภาวะที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่)



แผนภูมิที่ 64 แสดงการเปรียบเทียบค่า PMV ตลอดวัน ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน ของวันที่ 16-19 เม.ย., วันที่ 27-30 ก.ค. และวันที่ 6-9 ธ.ค. (หมายเหตุ: เลือกใช้ข้อมูลของปี พศ.2550 มาทำการศึกษา) (เชียงใหม่)

ช่วงวันที่ 16-19 เมษายน และ วันที่ 27-30 กรกฎาคม การใช้ฉนวนโฟม PE ทำให้ค่า PMV อยู่ในสถานะที่ไม่น่าสบายมากกว่าการไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน โดยเฉพาะตั้งแต่ช่วงเวลา 24:00 น. เป็นต้นไป แต่ในช่วงวันที่ 6 – 9 ธันวาคม การใช้ฉนวนโฟม PE ช่วยทำให้อยู่ในสภาวะน่าสบายมากขึ้น (แผนภูมิที่ 64)

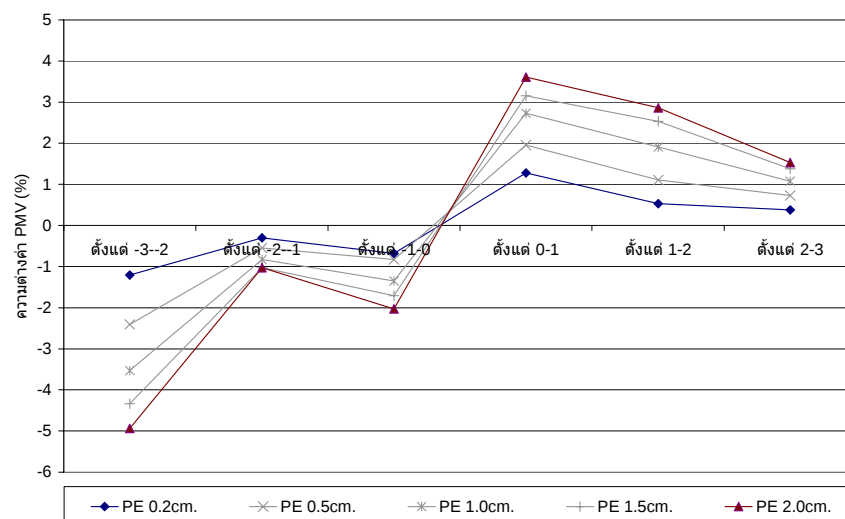
บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 เซนติเมตร ช่วยทำให้ค่า  $\Delta PMV$  ลดลงจากบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร และ 2.0 เซนติเมตร มีค่า  $\Delta PMV$  ลดลงจากบ้านต้นแบบ เป็นจำนวน 145 และ 580 หน่วย หรือคิดเป็นร้อยละ 5 -19 ตามลำดับ โดยที่เมื่อความหนาของฉนวนโฟม PE มากขึ้น ค่า  $\Delta PMV$  จะมีค่าต่ำลง (แผนภูมิที่ 65)



แผนภูมิที่ 65 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ (เชียงใหม่)

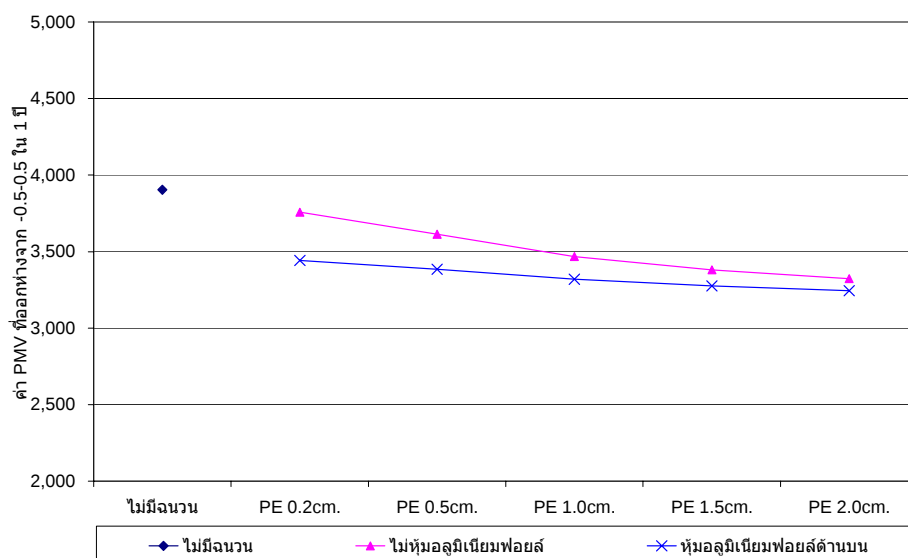
ตารางที่ 27 แสดงความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบและบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่)

| ความหมาย               | cold | cool | slightly cool | neutral | slightly warm | warm | hot |
|------------------------|------|------|---------------|---------|---------------|------|-----|
| ดัชนีตัวเลข            | -3   | -2   | -1            | 0       | 1             | 2    | 3   |
| บ้านต้นแบบ (A)         | 22   | 11   | 19            | 17      | 10            | 6    |     |
| บ้านฉี PE 0.2 cm. (D1) | 20   | 11   | 9             | 19      | 10            | 6    |     |
| บ้านฉี PE 0.5 cm. (D2) | 19   | 11   | 9             | 19      | 11            | 6    |     |
| บ้านฉี PE 1.0 cm. (D3) | 18   | 11   | 9             | 20      | 12            | 7    |     |
| บ้านฉี PE 1.5 cm. (D4) | 17   | 10   | 8             | 21      | 11            | 7    |     |
| บ้านฉี PE 2.0 cm. (D5) | 17   | 10   | 8             | 21      | 12            | 7    |     |
| (D1)–(A) (%)           | -1   | 0    | -1            | 1       | 1             | 0    |     |
| (D2)–(A) (%)           | -2   | -1   | -1            | 2       | 1             | 1    |     |
| (D3)–(A) (%)           | -4   | -1   | -1            | 3       | 2             | 1    |     |
| (D4)–(A) (%)           | -4   | -1   | -2            | 3       | 3             | 1    |     |
| (D5)–(A) (%)           | -5   | -1   | -2            | 4       | 3             | 2    |     |



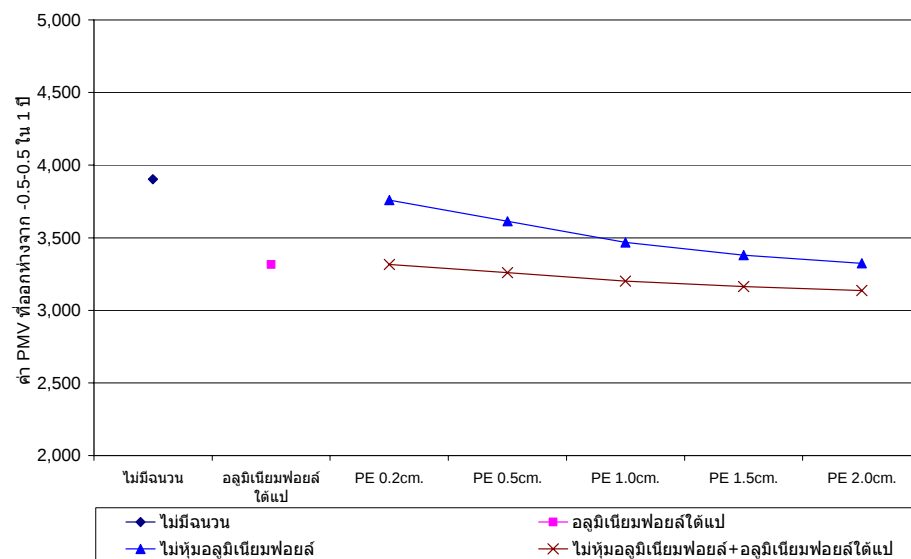
แผนภูมิที่ 66 แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของค่า PMV ในเวลา 1 ปี ของห้องนอนใหญ่ (จากตารางที่ 27) ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. (เชียงใหม่)

บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ มีค่า  $\Delta PMV$  มากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ประมาณ 79 – 317 หน่วย (แผนภูมิที่ 67)



แผนภูมิที่ 67 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านนอก (เชิงใหม่)

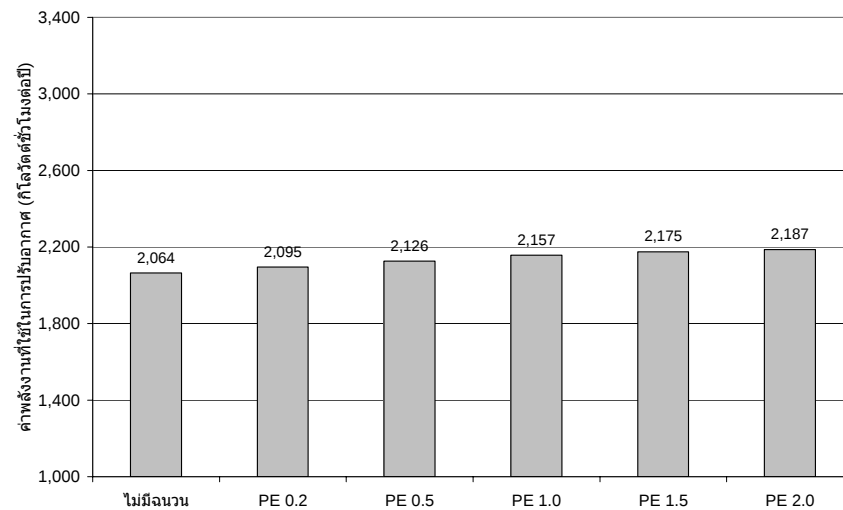
ในการศึกษาค่า  $\Delta PMV$  ของการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตา และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาพร้อมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ ได้ผลการทดลอง คือ การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาพร้อมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาเพียงอย่างเดียวได้ประมาณ 187 – 443 หน่วย และลดค่า  $\Delta PMV$  ของบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่เพียงอย่างเดียวได้ 0 – 180 หน่วย เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบพบว่า การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาพร้อมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่สามารถลดค่า  $\Delta PMV$  จากบ้านต้นแบบได้ประมาณ 588 – 767 หน่วย ฉะนั้น การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนผ้าเบตาพร้อมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่จึงเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่า  $\Delta PMV$  ต่ำที่สุด โดยฉนวนโฟม PE ที่วางบนผ้าเบตาที่มีความหนาเพิ่มขึ้น จะมีค่า  $\Delta PMV$  ลดลง (แผนภูมิที่ 68)



แผนภูมิที่ 68 แสดงการเปรียบเทียบ  $\Delta PMV$  ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ (เชียงใหม่)

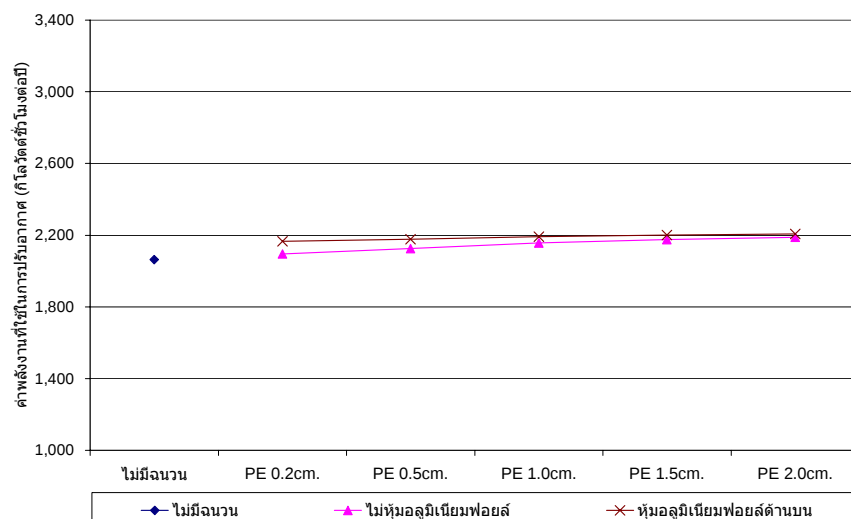
2.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองการใส่ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน โดยพิจารณาจากค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศต่อปี (เชียงใหม่)

บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ที่ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เซนติเมตร มีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีใกล้เคียงกับบ้านต้นแบบ โดยการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ที่ความหนา 0.2 และ 2.0 เซนติเมตร มีค่ามากกว่าบ้านต้นแบบ 31 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 123 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้การใส่ฉนวนโฟม PE ที่มีความหนามากขึ้นกลับยังเพิ่มการใช้พลังงานในการปรับอากาศให้กับบ้านจำลองมากขึ้น (แผนภูมิที่ 69)



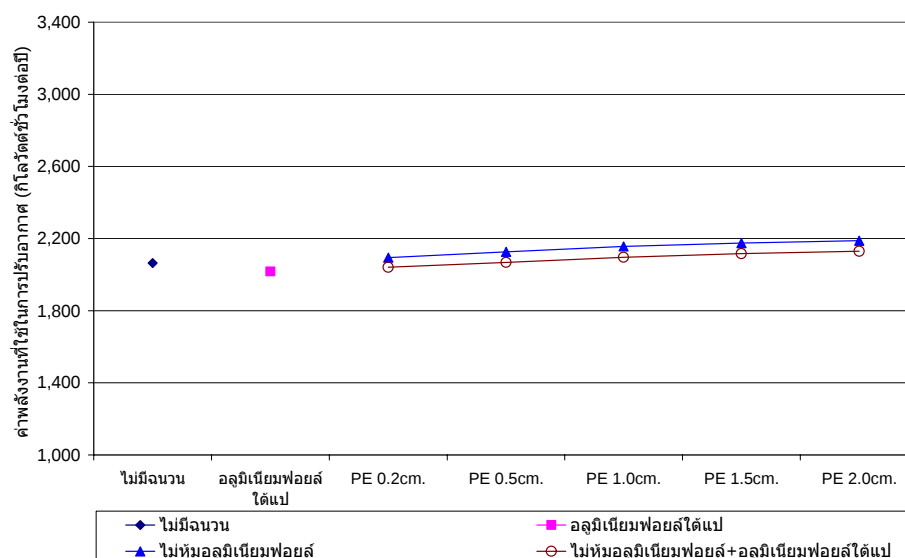
แผนภูมิที่ 69 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานที่มีความหนาต่างๆ (เชียงใหม่)

ฉนวนโฟม PE ที่มีความหนาเท่ากัน เมื่อหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์จะทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานในการปรับอากาศของบ้านจำลองสูงกว่าแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์เล็กน้อย โดยที่ความหนาของฉนวนโฟม PE 0.2 และ 2.0 เซนติเมตร เมื่อหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์จะมีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีมากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE แบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ 71 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 20 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ (แผนภูมิที่ 70)



แผนภูมิที่ 70 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (เชียงใหม่)

ในการศึกษาค่าพลังงานในการปรับอากาศของการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานแบบ การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป ได้ผลการทดลอง คือ การใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปช่วยลดปริมาณพลังงานในการปรับอากาศต่อปีของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานอย่างเดียวได้ แต่หากพิจารณาเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปเพียงอย่างเดียว พบว่า บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปเพียงอย่างเดียวจะประหยัดพลังงานในการปรับอากาศได้มากกว่าบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปประมาณ 24 – 113 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้น การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปเพียงอย่างเดียวจึงช่วยประหยัดพลังงานในการปรับอากาศของบ้านจำลองได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว และการใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป (แผนภูมิที่ 71)



แผนภูมิที่ 71 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศใน 1 ปี ระหว่างบ้านต้นแบบ บ้านจำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดาน และบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป (เชียงใหม่)

จากผลการทดลอง การใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีของบ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ความหนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ มีค่าน้อยกว่าบ้านต้นแบบ เมื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุนของฉนวนดังกล่าว สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 28 แสดงระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนโฟม PE (เชียงใหม่)

| ฉนวน                                                        | รวม<br>ต้นทุน<br>(บาท) | ค่าพลังงานที่<br>ใช้ปรับอากาศ<br>/ปี (kWh) | ค่าไฟฟ้า<br>/ปี<br>(บาท) | ประหยัด<br>/ปี<br>(บาท) | ระยะเวลา<br>คืนทุน<br>(ปี) |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1. ไม่มีฉนวน                                                |                        | 2,064                                      | 4,978                    |                         |                            |
| 2. ฉนวนโฟม PE หนา<br>0.2 ซม.+ แผ่น<br>อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | 11,380                 | 2,041                                      | 4,903                    | 75                      | 152                        |

### สรุปผลการวิเคราะห์การทดลองใช้ฉนวนกันความร้อน ในสภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่

1. สรุปผลการวิเคราะห์อุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ ของช่วงเวลาตลอดทั้งวัน ที่ไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ สภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่ ช่วงวันที่ศึกษาคือ วันที่ 17 – 19 เมษายน วันที่ 28 – 30 กรกฎาคม และวันที่ 7 – 9 ธันวาคม ของปี พ.ศ. 2550

การใช้ฉนวนกันความร้อนทั้งสามชนิดช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องได้ตลอดทั้งวัน โดยในช่วงกลางวัน ช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องได้ประมาณ 1 – 6 องศาเซลเซียส การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะได้มากที่สุด รองลงมาคือ ฉนวนใยแก้ว และ ฉนวนโฟม PE ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ฉนวนทั้งสามชนิดทำให้อุณหภูมิภายในห้องต่ำลง ประมาณ 0.5 – 2.0 องศาเซลเซียส

2. สรุปผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  และค่า  $\Delta PMV$  ในห้องนอนใหญ่ ของการใช้ฉนวนกันความร้อนทั้งสามชนิด ที่ไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ สภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่

ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. การใช้ฉนวนกันความร้อนทั้งสามชนิด ทำให้ค่า  $\Delta T$  ของบ้านต้นแบบลดลง โดยการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ทำให้ค่า  $\Delta T$  ลดลงมากที่สุด คือ ประมาณ 7,180 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ การใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้า

เพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ลดค่า  $\Delta T$  ได้ประมาณ 6,992 องศาเซลเซียส ส่วนฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดาน ลดค่า  $\Delta T$  ได้น้อยที่สุด คือ 1,786 องศาเซลเซียสเท่านั้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรณีที่ใช้นวณวางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว การใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว ที่ความหนามากที่สุด ก็จะช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากที่สุด (แผนภูมิที่ 72)

แต่ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. การใช้ฉนวนทั้งสามชนิดกลับทำให้ค่า  $\Delta T$  ของบ้านต้นแบบสูงขึ้น โดยการใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ทำให้ค่า  $\Delta T$  สูงขึ้นน้อยที่สุด คือ 13 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ การใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ทำให้ค่า  $\Delta T$  สูงขึ้น 201 องศาเซลเซียส ส่วนฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้วแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ทำให้ค่า  $\Delta T$  สูงขึ้นมากที่สุด คือ 2,050 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรณีที่ใช้นวณวางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว การใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE ที่ความหนาน้อยที่สุด จะทำให้ค่า  $\Delta T$  สูงขึ้นได้น้อยที่สุด (แผนภูมิที่ 4.61) การใช้ฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  จากบ้านต้นแบบได้มากที่สุด คือ 882 หน่วย รองลงมาคือ การใช้ฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ลดค่า  $\Delta PMV$  ได้ 881 หน่วย ส่วนการใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดาน ลดค่า  $\Delta PMV$  ได้น้อยที่สุด คือ 145 หน่วย เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจากฉนวนชนิดเดียวกัน การใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว ที่ความหนามากที่สุด ก็จะช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ได้มากที่สุด ( $\Delta T$  ดูแผนภูมิที่ 73,  $\Delta PMV$  ดูแผนภูมิที่ 75)

เมื่อพิจารณาช่วงเวลาทั้งวัน การใช้ฉนวนทั้งสามชนิดช่วยลดค่า  $\Delta T$  จากบ้านต้นแบบได้ โดยการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ทำให้ค่า  $\Delta T$  ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ การใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดานและใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ส่วนฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดาน ลดค่า  $\Delta T$  ได้น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรณีที่ใช้นวณวางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว การใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE ที่ความหนาที่สุด ก็จะช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากที่สุด (ดูแผนภูมิที่ 72)

3. สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  และค่า  $\Delta PMV$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างการใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดานแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ ที่ไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ สภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่

ในช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. การหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE ช่วยทำให้ค่า  $\Delta T$  ลดลงได้อีก หากเปรียบเทียบกับกรณีไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (ดูแผนภูมิที่ 4.61) แต่ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. การหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ไม่ช่วยทำให้ค่า  $\Delta T$  ลดลง แต่ช่วยทำให้ค่า  $\Delta PMV$  ลดลง โดยการหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉนวนใยแก้วช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ลงได้ประมาณ 8 – 77 หน่วย และการหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉนวนโฟม PE ช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ลงได้ประมาณ 79 – 317 หน่วย หากพิจารณาช่วงเวลาทั้งวัน การหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉนวนใยแก้วช่วยลดค่า  $\Delta T$  ลงได้ประมาณ 85 – 687 องศาเซลเซียส และการหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉนวนโฟม PE ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ลงได้ประมาณ 705 – 2,238 องศาเซลเซียส ( $\Delta T$  ดูแผนภูมิที่ 74,  $\Delta PMV$  ดูแผนภูมิที่ 75)

4. สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  และค่า  $\Delta PMV$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ การใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ที่ไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ สภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่

การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียว ช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มากที่สุด รองลงมาคือ การใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ อันดับสุดท้ายคือ การใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว (แผนภูมิที่ 72)

การใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ลงได้มากกว่าการใช้ฉนวนทั้งสองวางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว และยังช่วยลดค่า  $\Delta PMV$  ลงจากบ้านต้นแบบได้มากกว่าการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียวอีกด้วย (แผนภูมิที่ 75)

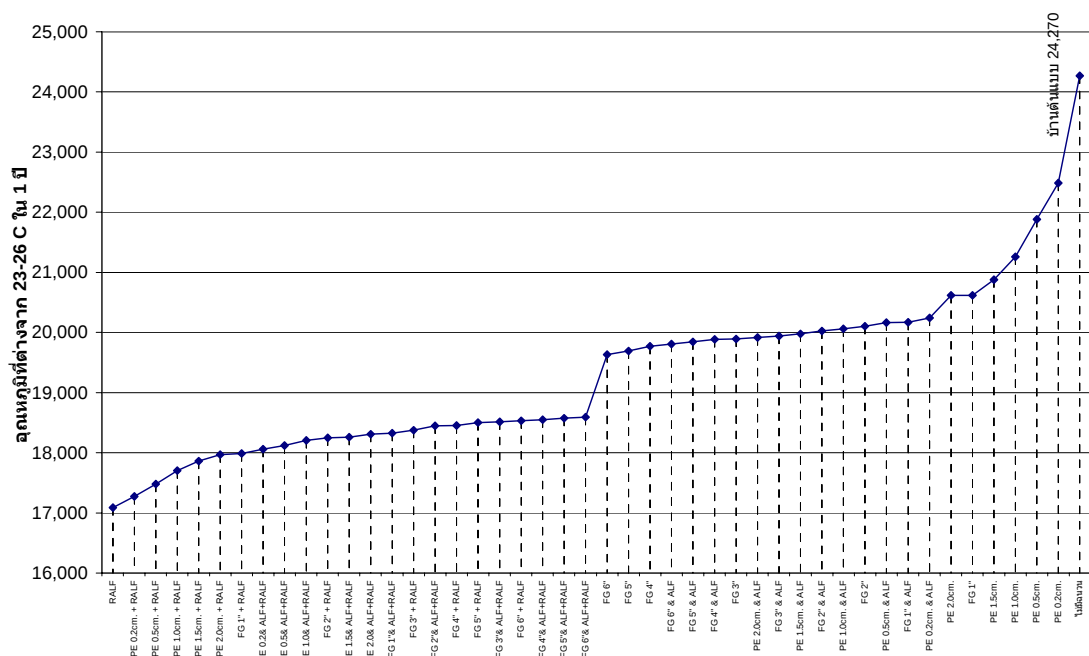
5. สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศและระยะเวลาคืนทุนของฉนวนทั้งสามชนิด สภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่

เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในการปรับอากาศของบ้านต้นแบบ (2,064 กิโลวัตต์ชั่วโมง) การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะมีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศน้อยที่สุด (2,017 กิโลวัตต์ชั่วโมง) รองลงมาคือ ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และใช้ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ (2,041 กิโลวัตต์ชั่วโมง) ส่วนการใช้ฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ มีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศมากที่สุด (2,240 กิโลวัตต์ชั่วโมง) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรณีที่ใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว การใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE ที่ความหนาน้อยที่สุด ก็จะใช้พลังงานในการปรับอากาศน้อยที่สุด (ดูแผนภูมิที่ 76)

การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะเป็นการใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีระยะเวลาคืนทุน  
 ต่ำที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุน 40 ปี รองลงมาคือ การใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วาง  
 บนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ มีระยะเวลาคืนทุน 95 ปี (ดูแผนภูมิที่ 77)

จากแผนภูมิที่ 72 – 77

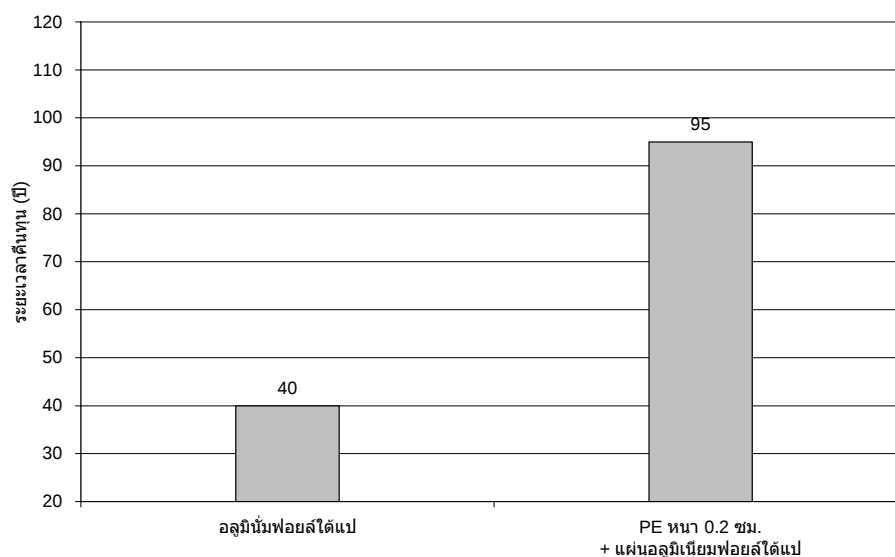
RALF คือแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ, FG คือฉนวนใยแก้ว, PE คือฉนวนโฟม PE  
 และ &ALF คือ หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน



แผนภูมิที่ 72 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ ระหว่างบ้านต้นแบบ และบ้าน  
 จำลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในช่วงเวลา  
 07:00 – 19:00 น.







แผนภูมิที่ 77 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาดำเนินการของการใช้ฉนวนกันความร้อนแต่ละแบบ (เชียงใหม่)

เมื่อพิจารณาระยะเวลาดำเนินการของการใช้ฉนวนกันความร้อนกับบ้านกรณีศึกษา ซึ่งกำหนดพฤติกรรม的开เครื่องปรับอากาศตามเวลาดังนี้คือ ในวันธรรมดา ห้องรับแขกและห้องทานอาหาร ไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ ห้องนอนทั้ง 3 ห้อง เปิดเวลา 21:00 – 6:00 น. ในวันหยุด ห้องรับแขก มีการเปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 13:00 – 17:00 น. และห้องนอนทั้ง 3 ห้อง เปิดเวลา 22:00 – 7:00 น. มีระยะเวลาดำเนินการที่ยาวนานมาก ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับความต้องการของคนทั่วไป ผู้วิจัยจึงพยายามหาสาเหตุของผลการทดลองดังกล่าว และได้ข้อสันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากช่วงเวลากการเปิดเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่เป็นช่วงเวลากลางคืน ซึ่งการใช้ฉนวนกันจะเป็นการหน่วงความร้อนไม่ให้ถ่ายเทออกจากห้อง เมื่อได้ทดลองโดยการเปลี่ยนเวลากการเปิดเครื่องปรับอากาศ โดยเปิดในช่วงกลางวัน ดังนี้ ในวันธรรมดา ห้องรับแขก ไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ ห้องนอนทั้ง 3 ห้อง เปิดเวลา 8:00 – 18:00 น. ในวันหยุด ห้องรับแขก มีการเปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 13:00 – 17:00 น. และห้องนอนทั้ง 3 ห้อง เปิดเวลา 8:00 – 18:00 น. โดยทดลองเฉพาะฉนวนบางชนิดเพื่อให้ทราบแนวโน้มของการใช้พลังงานในการปรับอากาศและระยะเวลาดำเนินการ ในสภาพอากาศกรุงเทพฯ พบว่า ฉนวนทุกชนิดที่นำมาทดลองเมื่อปรับอากาศในช่วงเวลากลางวัน ช่วยลดพลังงานในการปรับอากาศลงจากบ้านต้นแบบที่ไม่มีการใช้ฉนวน โดยบ้านจำลองที่ใช้อลูมิเนียมฟอยล์ได้แป มีระยะเวลาดำเนินการ 3.4 ปี บ้านจำลองที่ใช้ฉนวนโฟม PE ร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ได้แป มีระยะเวลาดำเนินการ 5.4 ปี ฉนวนใยแก้ว

หนา 2 และ 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุน 3.9 และ 5.7 ปี ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 และ 0.5 เซนติเมตร มีระยะเวลาคืนทุน 6.3 และ 6.6 ปี (ตารางที่ 29) ฉนวนที่หนามากขึ้นจะช่วยลดพลังงานในการปรับอากาศได้มากขึ้น แต่เนื่องจากราคาวัสดุมีค่าสูงขึ้น จึงมีระยะเวลากการคืนทุนที่ยาวนานขึ้น นอกจากนี้การใช้นวนวนวางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้เป จะช่วยลดพลังงานในการปรับอากาศได้มากขึ้น แต่เนื่องจากมีราคาต้นทุนที่สูงขึ้น ระยะเวลากการคืนทุนจึงยาวนานกว่าการใช้อลูมิเนียมฟอยล์ที่ได้เปเพียงอย่างเดียว

ผู้วิจัยตั้งข้อสังเกตจากผลการทดลองทั้งสองกรณีว่า การใช้ฉนวนกันความร้อนกับบ้านพักอาศัยที่มีพฤติกรรมการเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืนเป็นหลัก มีระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนาน ซึ่งเมื่อพิจารณาที่อายุการใช้งานของฉนวน จึงอาจไม่คุ้มค่าในการลงทุน แต่หากใช้ฉนวนกันความร้อนกับบ้านพักอาศัยที่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวันเป็นหลัก จะมีระยะเวลากการคืนทุนที่สั้นกว่า และคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่า

ตารางที่ 29 แสดงค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศ และระยะเวลาคืนทุนของฉนวน เมื่อทดลองเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวันเป็นหลัก ในสภาพอากาศกรุงเทพฯ

|                                          | ต้นแบบ | อลูมิเนียมฟอยล์<br>ได้เป | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 2"+<br>อลูมิเนียมฟอยล์<br>ได้เป | ใยแก้ว 3"+<br>อลูมิเนียมฟอยล์<br>ได้เป | PE 0.2cm | PE 0.5cm | PE 0.2cm +<br>อลูมิเนียมฟอยล์<br>ได้เป | PE 0.5cm +<br>อลูมิเนียมฟอยล์<br>ได้เป |
|------------------------------------------|--------|--------------------------|-----------|-----------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------|----------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| มกราคม                                   | 320    | 266                      | 282       | 279       | 268                                    | 268                                    | 312      | 304      | 266                                    | 267                                    |
| กุมภาพันธ์                               | 341    | 286                      | 300       | 297       | 286                                    | 286                                    | 333      | 325      | 286                                    | 286                                    |
| มีนาคม                                   | 501    | 421                      | 432       | 427       | 413                                    | 412                                    | 487      | 473      | 420                                    | 418                                    |
| เมษายน                                   | 538    | 464                      | 471       | 466       | 453                                    | 451                                    | 525      | 511      | 462                                    | 460                                    |
| พฤษภาคม                                  | 503    | 433                      | 441       | 436       | 424                                    | 423                                    | 491      | 478      | 432                                    | 431                                    |
| มิถุนายน                                 | 481    | 418                      | 425       | 421       | 410                                    | 409                                    | 470      | 459      | 417                                    | 416                                    |
| กรกฎาคม                                  | 440    | 381                      | 390       | 386       | 375                                    | 374                                    | 431      | 421      | 380                                    | 379                                    |
| สิงหาคม                                  | 375    | 322                      | 333       | 330       | 319                                    | 319                                    | 367      | 359      | 322                                    | 322                                    |
| กันยายน                                  | 391    | 334                      | 343       | 340       | 329                                    | 328                                    | 382      | 372      | 333                                    | 332                                    |
| ตุลาคม                                   | 390    | 335                      | 347       | 343       | 332                                    | 332                                    | 381      | 372      | 334                                    | 334                                    |
| พฤศจิกายน                                | 361    | 304                      | 318       | 315       | 303                                    | 303                                    | 353      | 344      | 304                                    | 304                                    |
| ธันวาคม                                  | 283    | 231                      | 247       | 245       | 234                                    | 234                                    | 276      | 268      | 232                                    | 232                                    |
| รวมค่าพลังงาน<br>ในการปรับอากาศ<br>(kWh) | 4,924  | 4,195                    | 4,330     | 4,284     | 4,145                                  | 4,138                                  | 4,807    | 4,686    | 4,189                                  | 4,181                                  |
| ค่าไฟฟ้า<br>(บาท)                        | 17,531 | 14,934                   | 15,414    | 15,251    | 14,756                                 | 14,732                                 | 17,113   | 16,684   | 14,913                                 | 14,885                                 |
| ลดค่าไฟ (บาท)                            |        | 2,597                    | 2,117     | 2,279     | 2,775                                  | 2,798                                  | 418      | 847      | 2,617                                  | 2,645                                  |
| ต้นทุน (บาท)                             |        | 8,740                    | 8,250     | 13,002    | 16,990                                 | 21,742                                 | 2,640    | 5,610    | 11,380                                 | 14,350                                 |
| คืนทุน (ปี)                              |        | 3.4                      | 3.9       | 5.7       | 6.1                                    | 7.8                                    | 6.3      | 6.6      | 4.3                                    | 5.4                                    |

### อภิปรายผลเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ Khaled A. Al-Sallal ได้สรุปผลว่า ระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนกันความร้อนในเขตภูมิอากาศหนาวเย็นมีช่วงเวลาสั้นกว่าในเขตภูมิอากาศอบอุ่น แต่ในงานวิจัยนี้

ได้ผลว่า จังหวัดเชียงใหม่ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าจังหวัดกรุงเทพ กลับมีระยะเวลาคืนทุนยาวนานกว่า อาจเป็นเพราะสาเหตุ 2 ประการ คือ สภาพอากาศของประเทศไทยไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมากเหมือนในประเทศสหรัฐอเมริกา และวิธีการคิดระยะเวลาคืนทุนที่ต่างกัน โดยในงานวิจัยแรกนั้น มีการคิดเรื่องค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost) ด้วย

จากงานวิจัยของ โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล สรุปผลว่าการใช้ฉนวนกันความร้อนช่วยลดการใช้พลังงานของอาคารเรียนที่ทำการศึกษาร้อยละ 21.3 – 30.9 เนื่องจากช่วงระยะเวลาการเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นช่วงเวลากลางวันของวันทำงาน ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ที่ระบุว่า ในช่วงเวลากลางวัน การใช้ฉนวนกันความร้อนจะช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องได้ เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ เมื่ออุณหภูมิลดลง ค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศก็จะลดลงด้วย

จากงานวิจัยของ ธนิต จินดาวงศ์ ได้สรุปผลว่า การติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีความร้อนใต้หลังคาช่วยลดค่าที่ตั้งอยู่ในจังหวัดปทุมธานี ช่วยทำให้สภาพภายในอาคารร้อนน้อยกว่าอาคารที่ไม่ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีความร้อนในช่วงเวลากลางวัน แต่ในสภาพอาคารที่ปิดไม่มีการระบายอากาศ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่มีระบบป้องกันการถ่ายเทรังสีความร้อนในหลังคา ในช่วงกลางคืนจะสูงกว่าอาคารที่ไม่มีระบบป้องกันการถ่ายเทรังสีความร้อนประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส ผลสรุปที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ในกรณีของสภาพอากาศกรุงเทพ

จากงานวิจัยของ Surapong Chirarattananon สรุปผลว่า การเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ที่ได้หลังคาและฉนวน glass wool วางบนฝ้าเพดาน ช่วยประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนกันความร้อน glass wool อย่างเดียว หรืออลูมิเนียมพอยล์อย่างเดียว โดยประหยัดลงได้ประมาณ 1.94% ซึ่งได้ผลที่แตกต่างจากงานวิจัยชิ้นนี้ที่ระบุว่า การใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์เพียงอย่างเดียวช่วยประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุด อาจเป็นเพราะช่วงเวลาในการใช้เครื่องปรับอากาศที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยของ Surapong Chirarattananon ในวันธรรมดา ห้องรับแขกและห้องทานอาหาร มีการเปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 18:00 – 22:00 น. ห้องนอนเปิดเวลา 20:00 – 6:00 น. ในวันหยุด ห้องรับแขกและห้องทานอาหาร มีการเปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 11:00 – 22:00 น. ห้องนอนเปิดเวลา 20:00 – 7:00 น. แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้ ในวันธรรมดา ห้องรับแขกและห้องทานอาหาร ไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ ห้องนอนเปิดเวลา 21:00 – 6:00 น. ในวันหยุด ห้องรับแขกและห้องทานอาหาร มีการเปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 13:00 – 17:00 น. ห้องนอนเปิดเวลา 22:00 – 7:00 น. จึงอาจทำให้ได้ผลที่แตกต่างกัน

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่บริเวณหลังคา และฝ้าเพดานของบ้านพักอาศัย ในด้านอุณหภูมิภายในอาคาร สภาวะน่าสบาย การประหยัดการใช้พลังงานในการปรับอากาศ และระยะเวลาคืนทุน ในสองสภาพอากาศ คือ จังหวัดกรุงเทพ และเชียงใหม่ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการจำลองการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัย สองชั้น ขนาดปานกลางซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 150 ตารางเมตร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ EnergyPlus จำลองการใช้น้ำมันกันความร้อนที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ 1. แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ 2. ฉนวนใยแก้ว (ความหนา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 นิ้ว) และ 3. ฉนวนโฟม PE (ความหนา 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 เซนติเมตร) สำหรับฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE มีทั้งแบบไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และแบบหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน ตลอดจนการศึกษาถึงการใช้น้ำมันใยแก้วและฉนวนโฟม PE วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ นำผลที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม EnergyPlus มาวิเคราะห์เพื่อหาฉนวนที่เหมาะสมกับสภาพอากาศของจังหวัดกรุงเทพ และจังหวัดเชียงใหม่

### บทสรุปของงานวิจัยมีดังนี้

1. ในสภาพอากาศกรุงเทพ กรณีที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ในช่วงวันที่ 17-19 เมษายน, วันที่ 28-30 กรกฎาคม และ วันที่ 7-9 ธันวาคม ช่วงเวลากลางวัน การใช้ฉนวนทั้ง 3 ชนิด ทำให้อุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ต่ำลงได้ประมาณ 2 - 4 องศาเซลเซียส สำหรับฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ที่มีความหนามาก ก็จะช่วยลดอุณหภูมิจากบ้านต้นแบบได้มาก ส่วนในช่วงเวลากลางคืน จะมีผลกลับกัน คือ การใช้ฉนวนกันความร้อนทั้ง 3 ชนิด ทำให้อุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่สูงขึ้น ประมาณ 0.5 - 1.0 องศาเซลเซียส และการใช้ฉนวนที่มีความหนามาก ก็จะทำให้อุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่สูงขึ้น ส่วนในสภาพอากาศเชียงใหม่ การใช้ฉนวนทั้ง 3 ชนิด ทำให้อุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ต่ำลงได้ตลอดทั้งวัน โดยในช่วงกลางวัน ช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องได้ประมาณ 1 - 6 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ฉนวนทั้งสามชนิดทำให้อุณหภูมิภายในห้องต่ำลง ประมาณ 0.5 - 2.0 องศาเซลเซียส

2. ในทั้งสองสภาพอากาศ กรณีที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ เมื่อพิจารณาช่วงเวลาทั้งวัน การหุ้มฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์ที่ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE ที่วางบนฝ้าเพดาน จะช่วยลดค่าผลรวมของอุณหภูมิในแต่ละชั่วโมงที่แตกต่างจากอุณหภูมิ 23-26 องศาเซลเซียส (ซึ่งเป็นอุณหภูมิในช่วงสภาวะสบาย) ใน 1 ปี ( $\Delta T$ ) ในห้องนอนใหญ่ เมื่อเทียบกับการใช้ฉนวนที่ไม่หุ้มฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์ การหุ้มฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์ที่ฉนวนใยแก้ว ลดค่า  $\Delta T$  ได้ 52 – 507 องศาเซลเซียส และฉนวนโฟม PE ลดค่า  $\Delta T$  ได้ 420 – 1,543 องศาเซลเซียส ส่วนการใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนโฟม PE ร่วมกับการใช้แผ่นฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์ได้แปะจะช่วยลดค่า  $\Delta T$  จากบ้านต้นแบบได้ แต่ก็ยังลดได้ไม่มากเท่ากับการใช้แผ่นฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์ได้แปะเพียงอย่างเดียว

3. เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta T$  ในห้องนอนใหญ่ กรณีที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศของบ้านที่ใช้ฉนวนชนิดต่างๆ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 30  
ตารางที่ 30 แสดงผลสรุปผลต่างของค่า  $\Delta T$  เปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ โดยเลือกฉนวนที่ให้ผลดีที่สุดสามอันดับแรก ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น.

|           | ชนิดของฉนวน                                                                                     | $\Delta T$ (07:00 – 19:00 น.) | $\Delta T$ (19:00 – 07:00 น.) |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| กรุงเทพฯ  | 1. แผ่นฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์                                                                     | ลดลง 5,717 °C                 | เพิ่มขึ้น 227 °C              |
|           | 2. ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร<br>วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้<br>แผ่นฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์ได้แปะ | ลดลง 5,497 °C                 | เพิ่มขึ้น 456 °C              |
|           | 3. ฉนวนโฟม PE หนา 0.5 เซนติเมตร<br>วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้<br>แผ่นฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์ได้แปะ | ลดลง 5,264 °C                 | เพิ่มขึ้น 712 °C              |
| เชียงใหม่ | 1. แผ่นฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์                                                                     | ลดลง 7,180 °C                 | เพิ่มขึ้น 13 °C               |
|           | 2. ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร<br>วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้<br>แผ่นฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์ได้แปะ | ลดลง 6,992 °C                 | เพิ่มขึ้น 201 °C              |
|           | 3. ฉนวนโฟม PE หนา 0.5 เซนติเมตร<br>วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้<br>แผ่นฉนวนมียูนิฟอร์มพอยล์ได้แปะ | ลดลง 6,789 °C                 | เพิ่มขึ้น 415 °C              |

4. ในทั้งสองสภาพอากาศ กรณีที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลา 07:00 – 19:00 น. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรณีที่ใช้ฉนวนวางบนฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว การใช้ฉนวนใยแก้ว

และฉนวนโฟม PE ที่ความหนาแน่นมาก จะช่วยลดค่า  $\Delta T$  ได้มาก แต่ในช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. จะได้ผลกลับกัน คือ ฉนวนที่มีความหนาแน่นมาก ค่า  $\Delta T$  จะเพิ่มขึ้นมาก

5. ช่วงเวลา 19:00 – 07:00 น. กรณีที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ในสภาพอากาศ กรุงเทพฯ การใช้ฉนวนทั้ง 3 ชนิดทำให้สภาวะน่าสบายของบ้านต้นแบบลดลง การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป ทำให้ผลรวมค่า PMV ในแต่ละชั่วโมง ที่ออกห่างไปจากค่า -0.5 – 0.5 ซึ่งเป็นค่าที่ถูกระบุว่าอยู่ในสภาวะสบาย ตลอดระยะเวลา 1 ปี ( $\Delta PMV$ ) ในห้องนอนใหญ่ เพิ่มขึ้นจากบ้านต้นแบบน้อยที่สุด แต่ในสภาพอากาศเชียงใหม่ การใช้ฉนวนทั้ง 3 ชนิดช่วยทำให้สภาวะน่าสบายของบ้านต้นแบบดีขึ้น น่าจะเป็นผลจากอุณหภูมิภายในห้องนอนใหญ่ของบ้านในจังหวัดเชียงใหม่มีค่าต่ำ การใช้ฉนวนกันความร้อนในเวลาดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิในห้องสูงขึ้นจนเข้าใกล้สภาวะน่าสบาย การใช้ฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป ทำให้ค่า  $\Delta PMV$  ลดลงมากที่สุด

ตารางที่ 31 แสดงผลสรุปผลต่างของค่า  $\Delta PMV$  เปรียบเทียบกับบ้านต้นแบบ โดยเลือกเฉพาะฉนวนที่ให้ผลดีที่สุดสามอันดับแรก

|           | ชนิดของฉนวน                                                                                                        | $\Delta PMV$       |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| กรุงเทพฯ  | 1. แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์                                                                                             | เพิ่มขึ้น 20 หน่วย |
|           | 2. ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป<br>ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร | เพิ่มขึ้น 83 หน่วย |
|           | 3. ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร                                                                                    | เพิ่มขึ้น 97 หน่วย |
| เชียงใหม่ | 1. ฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์<br>ด้านบน วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการใช้แผ่น<br>อลูมิเนียมฟอยล์ได้แป       | ลดลง 882 หน่วย     |
|           | 2. ฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการ<br>ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป                                     | ลดลง 881 หน่วย     |
|           | 3. ฉนวนใยแก้วหนา 5 นิ้ว วางบนฝ้าเพดานร่วมกับการ<br>ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แป                                     | ลดลง 876 หน่วย     |

6. การใช้พลังงานในการปรับอากาศของบ้านต้นแบบ ช่วงเวลาในการเปิดเครื่องปรับอากาศ คือ ในวันธรรมดา ห้องนอนทั้ง 3 ห้อง เปิดเวลา 21:00 – 6:00 น. ในวันหยุด

ห้องรับแขก เปิดในช่วงเวลา 13:00 – 17:00 น. และห้องนอนทั้ง 3 ห้อง เปิดเวลา 22:00 – 7:00 น. ในจังหวัดกรุงเทพ มีค่าเท่ากับ 3,416 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ในจังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเท่ากับ 2,046 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในกรุงเทพ ร้อยละ 40 ฉนวนกันความร้อนที่ทำให้การใช้พลังงานในการปรับอากาศของบ้านจำลองลดลงมากที่สุดคือ การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ในทั้งสองสภาพอากาศ (ตารางที่ 32)

7. ฉนวนกันความร้อนที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด คือ แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ ในสภาพอากาศกรุงเทพฯ มีระยะเวลาคืนทุน 21 ปี และในสภาพอากาศเชียงใหม่มีระยะเวลาคืนทุน 40 ปี รองลงมาคือ การใช้ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ สภาพอากาศกรุงเทพฯ มีระยะเวลาคืนทุน 47 ปี และในสภาพอากาศเชียงใหม่มีระยะเวลาคืนทุน 95 ปี (ตารางที่ 32)

ตารางที่ 32 แสดงผลสรุปค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ และระยะเวลาคืนทุนเปรียบเทียบกับบ้านจำลองที่ไม่ใช้ฉนวนกันความร้อน โดยเลือกเฉพาะฉนวนที่ให้ผลดีที่สุดสุดสามอันดับแรก (เปิดเครื่องปรับอากาศช่วงเวลากลางคืนเป็นหลัก)

| จังหวัด   | ชนิดของฉนวน                                                                           | พลังงานในการปรับอากาศ | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| กรุงเทพฯ  | 1. แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์                                                                | ลดลง 101 kWh          | 21                  |
|           | 2. ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร<br>วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | ลดลง 62 kWh           | 47                  |
|           | 3. ฉนวนโฟม PE หนา 0.5 เซนติเมตร<br>วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | ลดลง 39 kWh           | 93                  |
| เชียงใหม่ | 1. แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์                                                                | ลดลง 48 kWh           | 40                  |
|           | 2. ฉนวนโฟม PE หนา 0.2 เซนติเมตร<br>วางบนฝ้าเพดานรวมกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | ลดลง 23 kWh           | 95                  |

8. เมื่อเปรียบเทียบการไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ และการหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในด้านอุณหภูมิ สภาวะน่าสบาย และการประหยัดพลังงานในการปรับ

อากาศ ผลที่ได้ไม่แตกต่างกัน และในระยะยาวประสิทธิภาพในการสะท้อนความร้อนของแผ่นอลูมิเนียมพอยล์อาจลดลงเนื่องจากฝุ่นที่สะสมเหนือแผ่น แต่อลูมิเนียมพอยล์มีประโยชน์ คือ ช่วยป้องกันความชื้น และการฉีกขาดของฉนวน และยังป้องกันการลามไฟได้อีกด้วย

9. ระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนกันความร้อน เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืนมีระยะเวลาที่ยาวนาน แต่เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวันจะมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นกว่า จึงคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่า

### ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาระยะเวลาคืนทุนของงานวิจัยนี้ ไม่ได้ศึกษาเรื่อง ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost) ซึ่งการคำนึงถึงประเด็นนี้ น่าจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

2. ช่วงเวลาในการเปิดปิดเครื่องปรับอากาศ มีอิทธิพลต่อการลดค่าพลังงานในการปรับอากาศและระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนกันความร้อน จึงเป็นปัจจัยที่ควรพิจารณาสำหรับงานวิจัยต่อไป

3. จากงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่า สภาพอากาศมีผลต่อการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อน การศึกษาข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และการสร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศ (Weather File) จึงเป็นเรื่องที่ควรศึกษาเพิ่มเติม อีกทั้งขอเสนอแนะให้มีการเก็บข้อมูลอุตุนิยมวิทยาให้ครบถ้วน เพื่อนำไปใช้ในการสร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศ (Weather File) ที่สมบูรณ์สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพลังงานในอาคารต่อไป

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

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

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, แนวทางการใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แกรนด์เพรสแอนด์แพคกิ้ง จำกัด, 2547.

กิจชัย จิตขจรวานิช, สภาวะสบายและการปรับตัวเพื่ออยู่แบบสบายของคนในท้องถิ่น กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

จัญดา บุญเกียรติ. “การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคา.” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

จุไรพร ตุ่มสุวรรณ. “พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อน.” วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล, “การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น : กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ตระการ ก้าวกลีกรรม. คู่มือฉนวนความร้อน. กรุงเทพฯ : หจก.อักษรการพิมพ์, 2540.

ธนิต จินดาวณิก. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ธนิต จินดาวณิก, คมกฤษ ชูเกียรติมั่น และปริมลภา วสุวัต. ข้อมูลอากาศประเทศไทย สำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ฉบับที่ 2, 2548.

ปนกมล ดีใหญ่. “การสร้างชุดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตัวแทนสำหรับประเทศไทย” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2549.

- พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์, การศึกษาประสิทธิภาพในการลดความร้อนจากหลังคาโดยวิธีการระบายอากาศและการใช้ฉนวนกันความร้อน. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3, 2550.
- ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาวิจัยวัสดุผนังเพื่อการประหยัดพลังงาน สำหรับใช้ในการก่อสร้างอาคารพักอาศัยกรณีศึกษา โครงการบ้านเอื้ออาทร. กรุงเทพฯ, 2548.
- รังสรรค์ อาภาคัพทะกุล. อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ. “อิทธิพลของการเหนี่ยวนำความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน.” วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- สราวุธ จิตต์เจริญ, “แนวทางการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของหลังคาอาคารในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น.” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า  
กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- อวิรุทธ์ ศรีสุภาพรรณ. “การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

## ภาษาอังกฤษ

- Ardeshir Mahdavi. Fundamentals of Building Physics. Carnegie Mellon University Department of Architecture. 1995.
- ASHRAE Standard. Thermal Comfort Condition. New York : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1966.
- ASHRAE. ASHRAE handbook : fundamentals. Atlanta, Ga. : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001.
- Barry.R.G. and Chorley.RJ. Atmosphere Weather and Climate. Fletcher & Sons. Co.,Ltd., 1978.

- Duffie, John A. and Beckman, William A. Solar Engineering of Thermal Process Second Edition. USA. John Wiley & Sons. 1991.
- Fanger, P O, Thermal Comfort Copenhagen : Danish Technical Press, 1970.
- Khaled A. Al-Sallal., Comparison between Polystyrene and Fiberglass Roof Insulation in Warm and Cold Climate Department of Architectural Engineering, UAE University, United Arab Emirates, 2002.
- Olgay, V, Design with Climate New Jersey : Princeton University Press, 1963.
- Surapong Chirarattananon, A Study of Benefits and Costs of Gypsum Boards Used Under Roof Bangkok : Energy Program School of Environment, Resource and Development Asian Institute of Technology, 2000.
- Stein, B., and Reynolds, J.S. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. 8<sup>th</sup> Edition. New York : John Wiley & Sons. 1992.
- T. Soubdhan, T. Feuillard, F. Bade, Experimental Evaluation of Insulation Material in Roofing System under Tropical Climate Solar Energy Volume 79, Issue 3, 2005.
- Thai Meteorological Department. Meteorology Vocabulary. [online] accessed APRIL 2009. Available from [http://www.tmd.go.th/met\\_dict.php](http://www.tmd.go.th/met_dict.php)

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก.

## วิธีการคำนวณค่า PMV ของโปรแกรม EnergyPlus

**Fanger Comfort Model**

Fanger's Comfort model was the first one developed. It was published first in 1967 (Fanger 1967) and then in 1970 (Fanger 1970), and helped set the stage for the other two models. The mathematical model developed by P.O. Fanger is probably the most well known of the three models and is the easiest to use because it has been put in both chart and graph form.

**Fanger Model Nomenclature List**

Table 60. Nomenclature list for Fanger model

| Mathematical variable | Description                                                                               | Units                   | Range | FORTTRAN variable   |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|---------------------|
| $A_{Du}$              | Dubois body surface area                                                                  | $m^2$                   | -     | BodySurfaceArea     |
| $C_{res}$             | The rate of dry respiratory heat loss                                                     | $W/m^2$                 | -     | DryRespHeatLoss     |
| $E_{dif}$             | The rate of heat loss from the diffusion of water vapor through the skin                  | $W/m^2$                 | -     | EvapHeatLossDiff    |
| $E_{res}$             | The rate of latent respiratory heat loss                                                  | $W/m^2$                 | -     | LatRespHeatLoss     |
| $E_{rsw,req}$         | The rate of heat loss from the evaporation of regulatory sweating at the state of comfort | $W/m^2$                 | -     | EvapHeatLossRegComf |
| $E_{sk}$              | Total evaporative heat loss from skin                                                     | $W/m^2$                 |       | EvapHeatLoss        |
| $f_{cl}$              | The ratio of clothed body                                                                 | -                       |       | CloBodyRat          |
| $f_{eff}$             | The fraction of surface effective for radiation (= 0.72)                                  | -                       | -     | RadSurfEff          |
| $H$                   | Internal heat production rate of an occupant per unit area (= $M - W$ )                   | $W/m^2$                 | -     | IntHeatProd         |
| $h_c$                 | Convective heat transfer coefficient                                                      | $W/m^2\text{ }^\circ C$ | -     | Hc                  |
| $L$                   | All the modes of energy loss from body                                                    | $W/m^2$                 | -     | -                   |
| $M$                   | Metabolic rate per unit area                                                              | $W/m^2$                 | -     | ActLevel            |
| $P_a$                 | Water vapor pressure in ambient air                                                       | Torr                    | -     | VapPress            |
| PMV                   | Predicted Mean Vote                                                                       | -                       | -4~4  | PMV                 |
| $P_{sk}$              | Saturated water vapor pressure at required skin temperature                               | Torr                    | -     | SatSkinVapPress     |

|               |                                                          |             |   |                |
|---------------|----------------------------------------------------------|-------------|---|----------------|
| $Q_c$         | The rate of convective heat loss                         | $W/m^2$     | - | ConvHeatLoss   |
| $Q_{dry}$     | Sensible heat flow from skin                             | $W/m^2$     |   | DryHeatLoss    |
| $Q_r$         | The rate of radiative heat loss                          | $W/m^2$     | - | RadHeatLoss    |
| $Q_{res}$     | The rate of respiratory heat loss                        | $W/m^2$     | - | RespHeatLoss   |
| $T_a$         | Air temperature                                          | $^{\circ}C$ | - | AirTemp        |
| $T_{cl}$      | Clothing surface temperature                             | $^{\circ}C$ | - | CloSurfTemp    |
| $T_{cla}$     | Clothing surface temperature (Absolute)                  | $^{\circ}K$ | - | AbsCloSurfTemp |
| $T_{ra}$      | Mean radiant temperature                                 | $^{\circ}K$ | - | AbsRadTemp     |
| $T_{skr}$     | Skin temperature required to achieve thermal comfort     | $^{\circ}C$ |   | SkinComfTemp   |
| $W$           | The rate of heat loss due to the performance of work     | $W/m^2$     | - | WorkEff        |
| $\varepsilon$ | The emissivity of clothing-skin surface                  | -           | - | SkinEmiss      |
| $\sigma$      | The Stefan-Boltzman constant ( $= 5.67 \times 10^{-8}$ ) | $W/m^2 K^4$ | - | StefanBoltz    |

#### Description of the model and algorithm

Fanger developed the model based on the research he performed at Kansas State University and the Technical University of Denmark. Fanger used the seven-point form of a thermal sensation scale along with numerous experiments involving human subjects in various environments. He related the subjects in response to the variables, which influence the condition of thermal comfort. Fanger's model is based upon an energy analysis that takes into account all the modes of energy loss ( $L$ ) from the body, including: the convection and radiant heat loss from the outer surface of the clothing, the heat loss by water vapor diffusion through the skin, the heat loss by evaporation of sweat from the skin surface, the latent and dry respiration heat loss and the heat transfer from the skin to the outer surface of the clothing. The model assumes that the person is thermally at steady state with his environment.

$$M = L \quad W/m^2 \quad (575)$$

$$L = Q_{res} + Q_{dry} + E_{sk} + W \quad W/m^2 \quad (576)$$

$$Q_{res} = E_{res} + C_{res} = 0.0023M(44 - P_a) + 0.0014M(34 - T_a) \quad W/m^2 \quad (577)$$

LatRespHeatLoss = 0.0023\*ActLevel\*(44. - VapPress)

DryRespHeatLoss = 0.0014\*ActLevel\*(34. - AirTemp)

RespHeatLoss = LatRespHeatLoss + DryRespHeatLoss

$$Q_c = h_c \times f_{cl}(T_{cl} - T_a) \quad \text{W/m}^2 \quad (578)$$

$$Q_r = f_{eff} f_{cl} \varepsilon \sigma (T_{cla}^4 - T_{ra}^4) \quad \text{W/m}^2 \quad (579)$$

$$Q_{dry} = Q_c + Q_r \quad \text{W/m}^2 \quad (580)$$

$$\begin{aligned} \text{ConvHeatLoss} &= \text{CloBodyRat} * H_c * (\text{CloSurfTemp} - \text{AirTemp}) \\ \text{RadHeatLoss} &= \text{RadSurfEff} * \text{CloBodyRat} * \text{SkinEmiss} * \text{StefanBoltz} \& \\ &\quad * (\text{AbsCloSurfTemp}^{**4} - \text{AbsRadTemp}^{**4}) \\ \text{DryHeatLoss} &= \text{ConvHeatLoss} + \text{RadHeatLoss} \end{aligned}$$

$$\text{For } H > 58.2, E_{rsw} = 0.42(H - 58.2) \quad \text{W/m}^2 \quad (581)$$

$$\text{For } H \leq 58.2, E_{rsw} = 0 \quad \text{W/m}^2 \quad (582)$$

$$E_{diff} = 0.68 \times 0.61(P_{sk} - P_a) = 0.4148(P_{sk} - P_a) \quad \text{W/m}^2 \quad (583)$$

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{diff} \quad \text{W/m}^2 \quad (584)$$

$$\text{EvapHeatLossRegComf} = 0.42 * (\text{IntHeatProd} - \text{ActLevelConv})$$

$$\text{EvapHeatLossRegComf} = 0.0$$

$$\text{EvapHeatLossDiff} = 0.4148 * (\text{SkinComfVpress} - \text{VapPress})$$

$$\text{EvapHeatLoss} = \text{EvapHeatLossRegComf} + \text{EvapHeatLossDiff}$$

Where,

0.68 is the passive water vapor diffusion rate, (g/h·m<sup>2</sup>·Torr)

0.61 is the latent heat of water, (W·h/g)

P<sub>sk</sub> is the saturated water vapor pressure at the skin temperature required to achieve the thermal comfort

$$P_{sk} = 1.92T_{skr} - 25.3 \quad \text{Torr} \quad (585)$$

$$\text{SatSkinVapPress} = 1.92 * \text{SkinTempComf} - 25.3$$

$$T_{skr} = 35.7 - 0.028H \quad ^\circ\text{C} \quad (586)$$

$$\text{SkinTempComf} = 35.7 - 0.028 * \text{IntHeatProd}$$

By determining the skin temperature and evaporative sweat rate that a thermally comfortable person would have in a given set of conditions, the model calculates the energy loss (L). Then, using the thermal sensation votes from subjects at KSU and Denmark, a Predicted Mean Vote (PMV) thermal sensation scale is based on how the energy loss (L) deviates from the metabolic rate (M) in the following form:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)(H - L) \quad (587)$$

$$\text{ThermSensTransCoef} = 0.303 * \text{EXP}(-0.036 * \text{ActLevel}) + 0.028$$

$$\text{PMV} = \text{ThermSensTransCoef} * (\text{IntHeatProd} - \text{EvapHeatLoss} - \text{RespHeatLoss} - \text{DryHeatLoss})$$

## ภาคผนวก ข.

## ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus

ตารางแสดงค่า  $\Delta T$  ของการใช้ฉนวนกันความร้อน แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในสภาพอากาศกรุงเทพฯ

| 07:00 - 19:00 น.                             |           |                       |           |           |           |           |           |           |
|----------------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ | ใยแก้ว 1" | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 4" | ใยแก้ว 5" | ใยแก้ว 6" |
| ไม่มีฉนวน                                    | 33,179    |                       |           |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่                        |           | 27,462                |           |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 31,119    | 30,655    | 30,457    | 30,344    | 30,269    | 30,215    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 30,478    | 30,343    | 30,262    | 30,207    | 30,165    | 30,133    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ |           |                       | 28,486    | 28,768    | 28,905    | 28,986    | 29,038    | 29,075    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่    |           |                       | 28,856    | 28,984    | 29,053    | 29,093    | 29,120    | 29,138    |
| 19:00 - 07:00 น.                             |           |                       |           |           |           |           |           |           |
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ | ใยแก้ว 1" | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 4" | ใยแก้ว 5" | ใยแก้ว 6" |
| ไม่มีฉนวน                                    | 18,782    |                       |           |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่                        |           | 19,009                |           |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 20,614    | 20,968    | 21,119    | 21,202    | 21,257    | 21,296    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 20,846    | 21,076    | 21,184    | 21,249    | 21,293    | 21,326    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ |           |                       | 20,126    | 20,442    | 20,595    | 20,687    | 20,748    | 20,793    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่    |           |                       | 20,377    | 20,574    | 20,681    | 20,749    | 20,796    | 20,832    |
| ทั้งวัน                                      |           |                       |           |           |           |           |           |           |
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ | ใยแก้ว 1" | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 4" | ใยแก้ว 5" | ใยแก้ว 6" |
| ไม่มีฉนวน                                    | 51,961    |                       |           |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่                        |           | 46,471                |           |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 51,733    | 51,623    | 51,576    | 51,547    | 51,526    | 51,511    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 51,324    | 51,419    | 51,446    | 51,456    | 51,459    | 51,459    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ |           |                       | 48,611    | 49,209    | 49,500    | 49,673    | 49,787    | 49,867    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่    |           |                       | 49,233    | 49,558    | 49,734    | 49,842    | 49,916    | 49,971    |

| 07:00 - 19:00 น.                             |           |                       |           |           |           |           |           |
|----------------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ | PE 0.2cm. | PE 0.5cm. | PE 1.0cm. | PE 1.5cm. | PE 2.0cm. |
| ไม่มีฉนวน                                    | 33,179    |                       |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่                        |           | 27,462                |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 32,710    | 32,210    | 31,678    | 31,346    | 31,118    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 30,717    | 30,661    | 30,582    | 30,516    | 30,462    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ |           |                       | 27,682    | 27,915    | 28,172    | 28,350    | 28,465    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่    |           |                       | 28,574    | 28,641    | 28,727    | 28,790    | 28,839    |
| 19:00 - 07:00 น.                             |           |                       |           |           |           |           |           |
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ | PE 0.2cm. | PE 0.5cm. | PE 1.0cm. | PE 1.5cm. | PE 2.0cm. |
| ไม่มีฉนวน                                    | 18,782    |                       |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่                        |           | 19,009                |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 19,231    | 19,689    | 20,152    | 20,432    | 20,620    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 20,209    | 20,389    | 20,601    | 20,747    | 20,856    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ |           |                       | 19,238    | 19,494    | 19,785    | 19,984    | 20,125    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่    |           |                       | 19,954    | 20,060    | 20,197    | 20,301    | 20,383    |
| ทั้งวัน                                      |           |                       |           |           |           |           |           |
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ | PE 0.2cm. | PE 0.5cm. | PE 1.0cm. | PE 1.5cm. | PE 2.0cm. |
| ไม่มีฉนวน                                    | 51,961    |                       |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่                        |           | 46,471                |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 51,941    | 51,898    | 51,830    | 51,778    | 51,738    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 50,926    | 51,050    | 51,183    | 51,264    | 51,317    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่ |           |                       | 46,919    | 47,409    | 47,957    | 48,334    | 48,590    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แก่    |           |                       | 48,528    | 48,701    | 48,924    | 49,091    | 49,222    |

ตารางแสดงค่า  $\Delta PMV$  ของการใช้ฉนวนกันความร้อน แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ฉนวนใยแก้ว และ  
ฉนวนโฟม PE ในสภาพอากาศกรุงเทพฯ

|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียม<br>ฟอยล์<br>โต้แปะ | ใยแก้ว 1" | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 4" | ใยแก้ว 5" | ใยแก้ว 6" |
|----------------------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ไม่มีฉนวน                                    | 3,013     |                               |           |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ                        |           | 3,033                         |           |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                               | 3,489     | 3,613     | 3,671     | 3,706     | 3,729     | 3,746     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                               | 3,571     | 3,656     | 3,699     | 3,727     | 3,746     | 3,760     |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ |           |                               | 3,366     | 3,473     | 3,529     | 3,563     | 3,586     | 3,603     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ    |           |                               | 3,446     | 3,516     | 3,556     | 3,582     | 3,601     | 3,615     |

|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียม<br>ฟอยล์<br>โต้แปะ | PE 0.2cm. | PE 0.5cm. | PE 1.0cm. | PE 1.5cm. | PE 2.0cm. |
|----------------------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ไม่มีฉนวน                                    | 3,013     |                               |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ                        |           | 3,033                         |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                               | 3,110     | 3,221     | 3,346     | 3,430     | 3,490     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                               | 3,367     | 3,421     | 3,488     | 3,536     | 3,574     |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ |           |                               | 3,096     | 3,169     | 3,256     | 3,319     | 3,366     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ    |           |                               | 3,306     | 3,340     | 3,385     | 3,420     | 3,448     |

ตารางแสดงค่าพลังงานในการปรับอากาศของการใช้ฉนวนกันความร้อน แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์  
ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในสภาพอากาศกรุงเทพฯ

|                                                    | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียม<br>ฟอยล์<br>โต้แปะ | ใยแก้ว 1" | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 4" | ใยแก้ว 5" | ใยแก้ว 6" |
|----------------------------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ไม่มีฉนวน                                          | 3,416     |                               |           |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ                              |           | 3,315                         |           |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                             |           |                               | 3,489     | 3,498     | 3,501     | 3,504     | 3,507     | 3,510     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านเดียว                       |           |                               | 3,502     | 3,505     | 3,508     | 3,511     | 3,513     | 3,514     |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ       |           |                               | 3,406     | 3,432     | 3,445     | 3,453     | 3,459     | 3,463     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านเดียว+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ |           |                               | 3,441     | 3,452     | 3,459     | 3,464     | 3,467     | 3,470     |

| ฉนวน                                               | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียม | PE 0.2cm. | PE 0.5cm. | PE 1.0cm. | PE 1.5cm. | PE 2.0cm. |
|----------------------------------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ไม่มีฉนวน                                          | 3,416     |            |           |           |           |           |           |
| แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ                          |           | 3,315      |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                             |           |            | 3,437     | 3,456     | 3,474     | 3,484     | 3,491     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                          |           |            | 3,486     | 3,492     | 3,498     | 3,501     | 3,504     |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ       |           |            | 3,334     | 3,356     | 3,380     | 3,395     | 3,407     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านเดียว+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แปะ |           |            | 3,421     | 3,426     | 3,433     | 3,438     | 3,442     |

ตารางแสดงค่า  $\Delta T$  ของการใช้ฉนวนกันความร้อน แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในสภาพอากาศเชียงใหม่

| 07:00 - 19:00 น.                             |           |                       |           |           |           |           |           |           |
|----------------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | ใยแก้ว 1" | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 4" | ใยแก้ว 5" | ใยแก้ว 6" |
| ไม่มีฉนวน                                    | 24,270    |                       |           |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ                        |           | 17,091                |           |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 20,619    | 20,105    | 19,891    | 19,772    | 19,692    | 19,635    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 20,173    | 20,026    | 19,941    | 19,884    | 19,843    | 19,809    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ |           |                       | 17,991    | 18,250    | 18,377    | 18,452    | 18,501    | 18,535    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ    |           |                       | 18,327    | 18,449    | 18,513    | 18,552    | 18,577    | 18,594    |
| 19:00 - 07:00 น.                             |           |                       |           |           |           |           |           |           |
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | ใยแก้ว 1" | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 4" | ใยแก้ว 5" | ใยแก้ว 6" |
| ไม่มีฉนวน                                    | 10,718    |                       |           |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ                        |           | 10,731                |           |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 12,132    | 12,437    | 12,574    | 12,652    | 12,703    | 12,741    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 12,312    | 12,527    | 12,631    | 12,693    | 12,736    | 12,768    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ |           |                       | 11,673    | 11,952    | 12,089    | 12,172    | 12,228    | 12,269    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ    |           |                       | 11,880    | 12,063    | 12,163    | 12,227    | 12,271    | 12,305    |
| ทั้งวัน                                      |           |                       |           |           |           |           |           |           |
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | ใยแก้ว 1" | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 4" | ใยแก้ว 5" | ใยแก้ว 6" |
| ไม่มีฉนวน                                    | 34,988    |                       |           |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ                        |           | 27,821                |           |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 32,751    | 32,542    | 32,465    | 32,423    | 32,395    | 32,376    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 32,485    | 32,553    | 32,572    | 32,578    | 32,579    | 32,578    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ |           |                       | 29,664    | 30,202    | 30,467    | 30,625    | 30,730    | 30,804    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ    |           |                       | 30,206    | 30,512    | 30,676    | 30,779    | 30,849    | 30,899    |

| 07:00 - 19:00 น.                             |           |                       |           |           |           |           |           |
|----------------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | PE 0.2cm. | PE 0.5cm. | PE 1.0cm. | PE 1.5cm. | PE 2.0cm. |
| ไม่มีฉนวน                                    | 24,270    |                       |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ                        |           | 17,091                |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 22,484    | 21,883    | 21,259    | 20,877    | 20,619    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 20,246    | 20,167    | 20,062    | 19,980    | 19,914    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ |           |                       | 17,278    | 17,481    | 17,707    | 17,860    | 17,970    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ    |           |                       | 18,062    | 18,124    | 18,203    | 18,263    | 18,308    |
| 19:00 - 07:00 น.                             |           |                       |           |           |           |           |           |
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | PE 0.2cm. | PE 0.5cm. | PE 1.0cm. | PE 1.5cm. | PE 2.0cm. |
| ไม่มีฉนวน                                    | 10,718    |                       |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ                        |           | 10,731                |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 11,043    | 11,389    | 11,754    | 11,983    | 12,140    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 11,739    | 11,897    | 12,088    | 12,223    | 12,323    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ |           |                       | 10,919    | 11,133    | 11,379    | 11,549    | 11,673    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ    |           |                       | 11,491    | 11,588    | 11,714    | 11,810    | 11,886    |
| ทั้งวัน                                      |           |                       |           |           |           |           |           |
|                                              | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ | PE 0.2cm. | PE 0.5cm. | PE 1.0cm. | PE 1.5cm. | PE 2.0cm. |
| ไม่มีฉนวน                                    | 34,988    |                       |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ                        |           | 27,821                |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                       |           |                       | 33,528    | 33,272    | 33,013    | 32,859    | 32,759    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                    |           |                       | 31,984    | 32,064    | 32,150    | 32,203    | 32,237    |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ |           |                       | 28,197    | 28,614    | 29,087    | 29,408    | 29,643    |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์ได้แปะ    |           |                       | 29,553    | 29,712    | 29,917    | 30,072    | 30,194    |

ตารางแสดงค่า  $\Delta PMV$  ของการใช้ฉนวนกันความร้อน แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ฉนวนใยแก้ว และ  
ฉนวนโฟม PE ในสภาพอากาศเชียงใหม่

|                                             | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียม<br>ฟอยล์<br>โต้แป | ใยแก้ว 1" | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 4" | ใยแก้ว 5" | ใยแก้ว 6" |
|---------------------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ไม่มีฉนวน                                   | 3,903     |                              |           |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์โต้แป                        |           | 3,316                        |           |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                      |           |                              | 3,320     | 3,207     | 3,159     | 3,132     | 3,115     | 3,104     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                   |           |                              | 3,243     | 3,173     | 3,139     | 3,119     | 3,105     | 3,096     |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แป |           |                              | 3,136     | 3,079     | 3,053     | 3,038     | 3,029     | 3,022     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แป    |           |                              | 3,111     | 3,070     | 3,049     | 3,036     | 3,027     | 3,021     |

|                                             | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียม<br>ฟอยล์<br>โต้แป | PE 0.2cm. | PE 0.5cm. | PE 1.0cm. | PE 1.5cm. | PE 2.0cm. |
|---------------------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ไม่มีฉนวน                                   | 3,903     |                              |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์โต้แป                        |           | 3,316                        |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                      |           |                              | 3,758     | 3,613     | 3,468     | 3,381     | 3,323     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                   |           |                              | 3,441     | 3,385     | 3,320     | 3,276     | 3,244     |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แป |           |                              | 3,316     | 3,261     | 3,201     | 3,163     | 3,136     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แป    |           |                              | 3,208     | 3,183     | 3,152     | 3,128     | 3,111     |

ตารางแสดงค่าพลังงานในการปรับอากาศของการใช้ฉนวนกันความร้อน แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์  
ฉนวนใยแก้ว และฉนวนโฟม PE ในสภาพอากาศเชียงใหม่

|                                             | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียม<br>ฟอยล์<br>โต้แป | ใยแก้ว 1" | ใยแก้ว 2" | ใยแก้ว 3" | ใยแก้ว 4" | ใยแก้ว 5" | ใยแก้ว 6" |
|---------------------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ไม่มีฉนวน                                   | 2,064     |                              |           |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์โต้แป                        |           | 2,017                        |           |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                      |           |                              | 2,186     | 2,208     | 2,218     | 2,225     | 2,230     | 2,234     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                   |           |                              | 2,206     | 2,220     | 2,227     | 2,233     | 2,237     | 2,240     |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แป |           |                              | 2,130     | 2,161     | 2,177     | 2,187     | 2,193     | 2,198     |

|                                             | ไม่มีฉนวน | อลูมิเนียม<br>ฟอยล์<br>โต้แป | PE 0.2cm. | PE 0.5cm. | PE 1.0cm. | PE 1.5cm. | PE 2.0cm. |
|---------------------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ไม่มีฉนวน                                   | 2,064     |                              |           |           |           |           |           |
| อลูมิเนียมฟอยล์โต้แป                        |           | 2,017                        |           |           |           |           |           |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์                      |           |                              | 2,095     | 2,126     | 2,157     | 2,175     | 2,187     |
| หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน                   |           |                              | 2,166     | 2,178     | 2,191     | 2,201     | 2,208     |
| ไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์+อลูมิเนียมฟอยล์โต้แป |           |                              | 2,041     | 2,067     | 2,096     | 2,116     | 2,130     |

## ประวัติผู้วิจัย

|                  |                                                                                                                                      |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ-สกุล        | นางสาวภัทริน จินดาวัฒนานนท์                                                                                                          |
| วัน เดือน ปีเกิด | 14 กุมภาพันธ์ 2521                                                                                                                   |
| สถานที่เกิด      | กรุงเทพฯ ประเทศไทย                                                                                                                   |
| ประวัติการศึกษา  |                                                                                                                                      |
| ปี พ.ศ. 2544     | สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิต<br>สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรม<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ |
| ปี พ.ศ. 2552     | สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต<br>สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรม<br>มหาวิทยาลัยศิลปากร                         |
| สถานที่ติดต่อ    | 11-13 ถ.เทศา ซอย 4 อ.เมือง จ.นครปฐม 73000                                                                                            |