

การอุทธรณ์ต่อฝ่าเพดานสำเร็จรูปเพื่อกันความร้อน

นายบุญวัฒน์ อังสุเวทย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THERMAL INSULATION OF GAP FOR PREFABRICATED CEILING.

Mr. Punyawat Angsuwotai



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การอุดรอยต่อฝ้าเพดานสำเร็จรูปเพื่อกันความร้อน

โดย

นายบุญยวัฒน์ อังสุเวทย์

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. วรสันต์ บุรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนะขิทธิ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต นิตยยะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรสันต์ บุรณากาญจน์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พร วิรุฬห์รักษ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลรัตน์ อิศระธรรมบุญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. ณรงค์วิทย์ อารีมิตร)

5673332325 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: HEAT LEAKAGE / ENERGY SAVING / THERMAL INSULATION / INSTALLATION / CEILING BOARD SYSTEM

PUNYAWAT ANGSUWOTAI: THERMAL INSULATION OF GAP FOR PREFABRICATED CEILING..
 ADVISOR: ASSOC. PROF. VORASUN BURANAKARN, Ph.D., 118 pp.

The roof is the most influential by solar heat. The ceiling installation is the way to reduce heat transferred through the roofing material efficiency. Nowadays, the ceiling installation was using a ceiling insulation covered but the installation does not cover the entire ceiling. As a result, the heat can flow into the building through the ceiling where it would not be insulated cover. Even today it has developed ceiling material to qualify as insulation. However, installation of ceiling insulation and heat in market space still faces with the leakage of heat between the ceiling tiles which let some heat flow into the building through the joints between the ceiling tile installations.

This research aims to present ceiling board system which Fix leaking heat between the seams of ceiling boards. This research was divided into two parts. Firstly, to study features, advantages and disadvantages of insulation systems for applying in the ceiling insulation design to fix the leakage of heat between the boundaries of ceiling tiles. Secondly, to compare heat transfer efficacy of each system. Comparing, a newly designed Leak-proof 9 mm. gypsum board padded with 2-inch-thick EPS foam($R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu.}$), with ceiling insulation systems that exist in the market including 19 mm.-thick, 60x60 cm. fiberglass ceiling insulation T-bar system ($R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu.}$), and EPS foam ceiling plate 25.4 mm-thick. Size 60 x 60 cm T-bar system ($R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu.}$). Models of each system were built to collect data of temperatures for comparison and analysis.

The finding revealed that at the time the models experience peak heat transfer from the time lag effect, the leak-proof 9mm. gypsum board padded with 2-inch EPS Foam had lower air temperature under the ceiling than the other systems. Air temperature is lower than the 19 mm.-thick, 60x60 cm. fiberglass ceiling insulation, T-bar system by 2.2°C. Air temperature is lower than EPS foam ceiling plate 25.4 mm-thick. Size 60 x 60 cm, T-bar system by 0.8°C. Furthermore, the underside surface of the insulation panel is lower than the 19 mm.-thick, 60x60 cm. fiberglass ceiling insulation, T-bar system by 2.5°C, and is lower than EPS foam ceiling plate 25.4 mm-thick. Size 60 x 60 cm, T-bar system by 1.1°C. Because the new insulation system has lowest surface temperature when compared with the other models, the Mean Radiant Temperature (MRT) of the leak-proof 9mm. gypsum board padded with 2-inch EPS Foam model will make users feel cooler when they are in the room.

Department: Architecture

Student's Signature

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จลงได้ หากปราศจากบุคคลที่เป็นกำลังใจและคอยชี้แนะอบรมสั่งสอน จนสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่างๆ ในการทำวิจัยมาได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณบุคคลเหล่านั้นดังที่จะกล่าวในลำดับต่อไปดังนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรสิทธิ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้คอยให้คำแนะนำ และเสียสละเวลาให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดระยะเวลาดำเนินงานวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต นิตยะ ที่เสียสละเวลาเข้าร่วมเป็นประธานสอบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังให้ความรู้ คำแนะนำจากประสบการณ์อันเป็นประโยชน์สำหรับนำไปใช้ประกอบวิชาชีพในอนาคต

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลรัตน์ อิศระธรรมบุญ และ อาจารย์ ดร. พร วิรุฬักษ์ ที่เสียสละเวลาเข้าร่วมเป็นคณะกรรมการสอบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. ณรงค์วิทย์ อาริมิตร ที่เสียสละเวลาเข้าร่วมเป็นคณะกรรมการสอบภายนอกของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังให้คำแนะนำเพื่อให้ตัววิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.สุนทร อาจารย์ผู้ประศาสน์วิชา ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ ปิติ อังสุโวทัย คุณแม่ วิไลวรรณ อังสุโวทัย และताल แสงระวี สิ่งห่อหุ้ม สำหรับกำลังใจและแรงสนับสนุนในด้านต่างๆตลอดช่วงเวลาที่ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท และขอขอบคุณพี่ปิง ปิยะวุฒิ อังสุโวทัย สำหรับการสนับสนุนค่าใช้จ่ายในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณปณวรรธน์ ประภาศิริ และ คุณปิยะธิดา รัตนสุวรรณ ผู้บริหารบริษัท Livable ผู้ซึ่งให้คำแนะนำด้านการติดตั้งโมเดลจำลองและให้การสนับสนุนสถานที่สำหรับดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณ น้องวุฒิ สำหรับแรงงานที่คอยช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการติดตั้งโมเดลจำลองสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ในสาขาวิชา ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำการใช้งาน E-Thesis และขอขอบคุณ พี่วุฒิ พี่ป้อ และน้องแตงโม เพื่อนร่วมรุ่นที่คอยช่วยเหลือกันและกันตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 การถ่ายเทพลังงานความร้อน.....	7
2.1.1 การนำความร้อน (Conduction)	7
2.1.2 การพาความร้อน (Convection).....	7
2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation).....	8
2.2 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน.....	9
2.2.1 ค่าความสามารถในการนำความร้อน (Thermal Conductivity, K).....	9
2.2.2 ค่าการนำความร้อนรวม (Thermal Conductance, C)	9
2.2.3 ค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R-value)	9
2.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient of Heat Transmission, U-value)	9

2.2.5 ความจุความร้อน (Thermal Heat Capacity).....	10
2.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature, MRT).....	10
2.4 แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.4.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น (จุไรพร ตุมพสุวรรณ, 2540)	11
2.5 ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาดที่นำมาเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัย.....	13
2.5.1 แผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ติดตั้งระบบ T-bar.....	13
2.5.2 แผ่นฝ้าเพดาน Expandable Polystyrene (EPS foam) หนา 25.4 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ติดตั้งระบบ T-bar	14
บทที่3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	16
3.1 การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมความ ร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า	16
3.1.1 แนวคิดในการออกแบบ	17
3.1.2 การติดตั้ง	17
3.2 การเตรียมการวิจัย.....	23
3.2.1 การเตรียมสถานที่ทดลอง.....	23
3.2.2 การเตรียมเครื่องมือสำหรับใช้ในงานวิจัย.....	24
3.2.3 การเตรียมโมเดลจำลองสำหรับการทดลองและเก็บข้อมูล.....	27
บทที่4 ผลการวิจัย.....	45
4.1 ผลการทดลองชุดที่ 1 การทดลองหาการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้า ฉนวนใยแก้วโดยเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งในระบบ T-bar กับระบบที่อุดรอยรั่วของ ความร้อนในการติดตั้ง.....	45

4.1.1 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว ระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558.....	45
4.1.2 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วโดยอุดรอยรั่วในการติดตั้ง ตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558.....	48
4.1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนของโมเดลจำลองแต่ละกรณีศึกษาในการทดลองที่ 1.....	50
4.2 ผลการทดลองชุดที่ 2 การทดลองหาการรั่วซึมความร้อนผ่านรอยต่อในการติดตั้งของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam ในแต่ละระบบโดยเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งระบบ T-bar กับระบบที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง.....	56
4.2.1 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558.....	56
4.2.2 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรอุดรอยรั่วในการติดตั้ง ตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558	59
4.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนของโมเดลจำลองแต่ละกรณีศึกษาในการทดลองที่ 2.....	61
4.3 ผลการทดลองชุดที่ 3 การทดสอบการรั่วซึมความร้อนผ่านรอยต่อในการติดตั้งระบบฝ้าเพดานที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานโดยเปรียบเทียบกับระบบ T-bar.....	67
4.3.1 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้วติดตั้งระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558.....	67

4.3.2 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้นตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558.....	70
4.3.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนของโมเดลจำลองแต่ละกรณีศึกษาในการทดลองที่ 3.....	72
4.4 ผลการทดลองชุดที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาดกับระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น	78
4.4.1 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตร ติดตั้งระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558	78
4.4.2 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558	80
4.4.3 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น ตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558.....	82
4.4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนของโมเดลจำลองแต่ละกรณีศึกษาในการทดลองที่ 4.....	84
4.5 สรุปผลจากการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	89
4.5.1 ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนและอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษาด้วยการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดาน	89

4.5.2 ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนและ อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ ละกรณีศึกษา	89
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	91
5.1 ประเมินผลงานวิจัย	91
5.1.1 ประสิทธิภาพในการลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าและค่า ก่อสร้าง	91
5.1.2 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature, MRT)	100
5.1.3 สรุปผลอิทธิพลของโครงเคร่า T-bar ต่อการใช้พลังงานและความรู้สึกร้อนหนาว ของผู้ใช้อาคาร	108
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป	112
รายการอ้างอิง	114
ภาคผนวก	116
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	118

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วจากห้องตลาดในแต่ละขนาด สำหรับติดตั้งกับฝ้าเพดานระบบ T-bar	13
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว สำหรับติดตั้งกับฝ้าเพดานระบบ T-bar จากห้องตลาดที่นำมาเป็นกรณีศึกษา	14
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตรของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 14.30-15.30 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2558	50
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตรของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 14.30 - 15.30 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2558	53
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 14.30 - 15.30 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558	61
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 14.30 - 15.30 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558 ...	64
ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 15.30 - 16.30 น. ของวันที่ 26 มีนาคม 2558	72
ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 15.30 - 16.30 น. ของวันที่ 26 มีนาคม 2558	75
ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนและอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 15.00 - 16.00 น. ของวันที่ 22 มีนาคม 2558	86
ตารางที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานและอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา	89

ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25°C ในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น. เปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ปรับอากาศ 35,500 ตารางเมตร กับ 16 ตารางเมตร	94
ตารางที่ 5.2 แสดงพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตร ระบบ T-bar ติดตั้งในห้องพื้นที่ 16 ตารางเมตร เปิดระบบปรับอากาศ เวลา 9:00น. – 16:00น.	95
ตารางที่ 5.3 แสดงพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดานกันความร้อน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบT-bar ที่ติดตั้งในห้องพื้นที่ 16 ตารางเมตร เปิดระบบปรับอากาศเวลา 9:00น. – 16:00น.....	96
ตารางที่ 5.4 แสดงพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ระบบT-bar ที่ติดตั้งในห้องพื้นที่ 16 ตารางเมตร เปิดระบบปรับอากาศเวลา 9:00น. – 16:00น.....	97
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าก่อสร้างฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาในแต่ละระบบ	98
ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นและปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงจากการติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษาในระบบอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานในห้องพื้นที่ 16 ตร.ม. ที่เปิดระบบปรับอากาศช่วงเวลา 9:00น.- 16:00น.....	99
ตารางที่ 5.7 แสดงผลจากการคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบห้องจำลองขนาด 4 x4 ตารางเมตร ที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษาที่ระดับความสูง 2.60 เมตร	107

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1-1 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานเทียบกับอุณหภูมิผิวผนังด้านในอาคาร อุณหภูมิ อากาศภายในอาคารและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร [1].....	1
ภาพที่ 1-2 ตัวอย่างฉนวนกันความร้อนใยแก้วชนิดปูเหนือฝ้าเพดาน [2].....	2
ภาพที่ 1-3 การติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดปูเหนือฝ้าเพดานที่ผิด ส่งผลทำให้ความร้อน สามารถถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานบริเวณที่ไม่ได้ปูฉนวน	2
ภาพที่ 1-4 วัสดุห่อหุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดปูเหนือฝ้าเพดานแบบอลูมิเนียมพอยล์ที่ฝึกขาดได้ ง่าย การติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดนี้จึงต้องระมัดระวังการปูบริเวณส่วนที่เป็น โครงสร้างของฝ้าเพดาน.....	3
ภาพที่ 1-5 ตัวอย่างแผ่นฝ้าเพดานที่ผลิตจากวัสดุฉนวนกันความร้อนที่ขายอยู่ในท้องตลาด.....	3
ภาพที่ 2-1 แสดงการถ่ายเทพลังงานความร้อน [4].....	8
ภาพที่ 2-2 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิผิวผนังด้านล่างของวัสดุผนังหลังคาชนิดต่างๆ วันที่ 6 มี.ค.- 7 มี.ค. 2541 ของแบบทดสอบชุดที่ 1 [6].....	12
ภาพที่ 2-3 ตารางแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมโปรไฟล์ (Profile Angle) มุมอะซิมุท (Azimuth Angle) ของวันที่ 21 มีนาคม 2541 สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ [6].....	12
ภาพที่ 2-4 แผ่นฉนวนใยแก้วที่ใช้ในการศึกษา.....	14
ภาพที่ 2-5 แผ่นฉนวนกันความร้อน EPS foam ที่ใช้ในการศึกษา.....	15
ภาพที่ 3-1 กรอบแนวคิดของการดำเนินการวิจัย.....	16
ภาพที่ 3-2 แผ่นยิปซัมบอร์ดขนาด 1.20 เมตร x 2.40 เมตร ความหนา 9 มิลลิเมตร [8].....	18
ภาพที่ 3-3 EPS foam ชนิด F-Grade ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความหนา 2 นิ้ว สำหรับกรุทับแผ่นยิปซัมบอร์ด [9].....	18
ภาพที่ 3-4 กาวขาวสำหรับยึดติดแผ่นยิปซัมบอร์ดกับฉนวนกันความร้อน EPS foam.....	18
ภาพที่ 3-5 แผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน ขนาด 47.5 เซนติเมตร x 47.5 เซนติเมตร สำหรับ ติดตั้งบนโครงเหล็กชุบสังกะสีภายในโมเดลจำลอง.....	19

ภาพที่ 3-6	โครงเหล็กชุบสังกะสีสำหรับติดตั้งงานฝ้าฉาบเรียบ [10]	20
ภาพที่ 3-7	สกรุดำสำหรับติดตั้งฝ้าเพดาน ความยาว 3 นิ้ว	20
ภาพที่ 3-8	เทปปิดรอยต่อฝ้าเพดาน สำหรับปิดทับบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดานที่ฉาบทับด้วยปูนฉาบฝ้าเพดาน	21
ภาพที่ 3-9	ปูนฉาบฝ้าเพดาน สำหรับฉาบบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดาน [11]	21
ภาพที่ 3-10	การติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดานกับโครงฝ้าเพดานเหล็กชุบสังกะสีที่ติดตั้งที่โมเดลจำลอง	22
ภาพที่ 3-11	ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าที่ติดตั้งแล้วเสร็จ (ซ้าย) และการยึดแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกับโครงเหล็กชุบสังกะสีด้วยสกรุดำยาว 3 นิ้ว (ขวา)	22
ภาพที่ 3-12	แสดงลักษณะการต่อกันระหว่างแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน เป็นลักษณะเข้าลิ้น	23
ภาพที่ 3-13	สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล	24
ภาพที่ 3-14	เครื่องวัดอุณหภูมิ 4 Channels Thermometer รุ่น DIGIGON DP - 74SD (ซ้าย) และการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิได้โมเดลจำลองเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องโดนแสงแดด และสามารถนำแผ่นโฟมมาคลุมเหนือเครื่องได้เพื่อป้องกันฝนสาดในกรณีที่เกิดฝนตก (ขวา)	25
ภาพที่ 3-15	ตัวอย่างการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่ผิววัสดุ (ซ้าย) และตัวอย่างการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิอากาศ (ขวา)	26
ภาพที่ 3-16	เครื่องบันทึกอุณหภูมิ USB Data Logger DL-TH-USB	26
ภาพที่ 3-17	คอมพิวเตอร์เน็ตบุ๊กสำหรับบันทึกข้อมูลอุณหภูมิที่เก็บได้	27
ภาพที่ 3-18	เครื่องสำรองไฟ (UPS)	27
ภาพที่ 3-19	ผังพื้นที่แสดงรายละเอียดโมเดลจำลอง	28
ภาพที่ 3-20	รูปตัดแสดงรายละเอียดโมเดลจำลอง	29
ภาพที่ 3-21	การติดตั้งโครงโมเดลจำลองสำหรับทดลอง	29

ภาพที่ 3-22 แสดงการประกอบโมเดลจำลอง (ซ้าย) และโมเดลจำลองที่ประกอบเสร็จ (ขวา)	30
ภาพที่ 3-23 ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนใยแก้ว ความหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ติดตั้งระบบ T-bar (ซ้าย) และฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนใยแก้วของภาพซ้ายที่อุตรอยรั้วระหว่างแผ่นฝ้าเพดานในขั้นตอนการติดตั้ง (ขวา)....	31
ภาพที่ 3-24 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของโมเดลจำลองในการทดลองที่ 1	32
ภาพที่ 3-25 ผังการวางตำแหน่งโมเดลจำลองสำหรับการเก็บข้อมูลของการทดลองที่ 1	33
ภาพที่ 3-26 ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบ T-bar (ซ้าย) และฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam ตามภาพซ้ายที่อุตรอยรั้วระหว่างแผ่นฝ้าเพดานในขั้นตอนการติดตั้ง (ขวา)	34
ภาพที่ 3-27 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของโมเดลจำลองในการทดลองที่ 2	35
ภาพที่ 3-28 ผังการวางตำแหน่งโมเดลจำลองสำหรับการเก็บข้อมูลของการทดลองที่ 2	36
ภาพที่ 3-29 เปรียบเทียบการติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วยฉนวน EPS foam ความหนาแน่นหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว ทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบ T-bar (ซ้าย) และระบบโครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสีที่กั้นการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น (ขวา).....	37
ภาพที่ 3-30 การติดตั้งแผ่นระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า โดยการแก้ไขช่องว่างระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น.....	38
ภาพที่ 3-31 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของโมเดลจำลองในการทดลองที่ 3	39
ภาพที่ 3-32 ผังการวางตำแหน่งโมเดลจำลองสำหรับการเก็บข้อมูลของการทดลองที่ 3	40
ภาพที่ 3-33 ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนใยแก้ว ความหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร	41
ภาพที่ 3-34 ฝ้าเพดานระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาด EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร	42

ภาพที่ 3-35 ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่น ฝ้าด้วยแผ่นฝ้าเพดานอีพ็อกซีบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam ความ หนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความหนา 2 นิ้ว ติดตั้งด้วยระบบโครงเคร่า เหล็กชุบสังกะสี ยึดแผ่นฝ้าเพดานกับโครงเหล็กด้วยสกรูดำสำหรับยึดฝ้าอีพ็อกซีบอร์ด ขนาด 3 นิ้ว และแก้ไขช่องว่างระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้ง ลักษณะเข้าลิ้น.....	42
ภาพที่ 3-36 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของโมเดลจำลองในการทดลองที่ 4	43
ภาพที่ 3-37 แสดงการวางตำแหน่งโมเดลจำลองทั้ง 3 ชุด ณ บริเวณที่ทำการทดลองที่ 4	44
ภาพที่ 4-1 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558.....	47
ภาพที่ 4-2 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ที่จุด รอยรั่วในการติดตั้ง ตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558.....	49
ภาพที่ 4-3 อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับ อุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558.....	52
ภาพที่ 4-4 อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ อากาศตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558.....	55
ภาพที่ 4-5 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558	58
ภาพที่ 4-6 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรอุณหภูมิจุดรอยรั่วในการติดตั้ง ตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึง เวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558	60

ภาพที่ 4-7	อุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวน EPS foamหนา 25.4 มิลลิเมตรแต่ละโมเดล จำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558.....	63
ภาพที่ 4-8	อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวน EPS foamหนา 25.4 มิลลิเมตรแต่ละโมเดลจำลอง เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึง เวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558.....	66
ภาพที่ 4-9	อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หน้า 9 มิลลิเมตรกรุ ด้วย EPS foamหนา 2 นิ้วระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 18.30 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558.....	69
ภาพที่ 4-10	อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุ ด้วย EPS foamหนา 2 นิ้วติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉาบเรียบแก้ไขรอยต่อด้วยระบบการ เข้าลิ้นตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 18.30 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558.....	71
ภาพที่ 4-11	อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วของแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 18.30 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558.....	74
ภาพที่ 4-12	อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foamหนา 2 นิ้วของแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของ วันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 18.30 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558.....	77
ภาพที่ 4-13	อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตร ระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558.....	79
ภาพที่ 4-14	อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวน EPS foamหนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558.....	81
ภาพที่ 4-15	อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หน้า 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foamหนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่น	

ฝ้า ตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558.....	83
ภาพที่ 4-16 อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานของแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558	85
ภาพที่ 4-17 อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานของแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558.....	88
ภาพที่ 5-1 การใช้งานพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางแบบเดิมของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นที่ปรับอากาศ 35,500 ตารางเมตร เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศตั้งแต่เวลา 6:00น. – 16:30น. โดยควบคุมอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศที่ 25°C [12].....	93
ภาพที่ 5-2 อุณหภูมิผิวด้านในผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบเรียบ ห้องจำลองขนาด 16 ตารางเมตร ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร	101
ภาพที่ 5-3 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบ T-bar.....	102
ภาพที่ 5-4 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบอุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้า.....	102
ภาพที่ 5-5 อุณหภูมิผิวด้านในผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบเรียบ ห้องจำลองขนาด 16 ตารางเมตร ติดตั้งฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร.....	103
ภาพที่ 5-6 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบ T-bar	104
ภาพที่ 5-7 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบอุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้า.....	104

ภาพที่ 5-8 อุณหภูมิผิวด้านในผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบเรียบ ห้องจำลองขนาด 16 ตารางเมตร
ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam
ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว 105

ภาพที่ 5-9 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัม
บอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์
ฟุต หนา 2 นิ้ว ระบบ T-bar 106

ภาพที่ 5-10 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัม
บอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์
ฟุต หนา 2 นิ้ว ระบบอุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้า 107

ภาพที่ 5-11 อุณหภูมิห้องใต้เพดานที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า
เพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ในแต่ละกรณีศึกษา..... 109

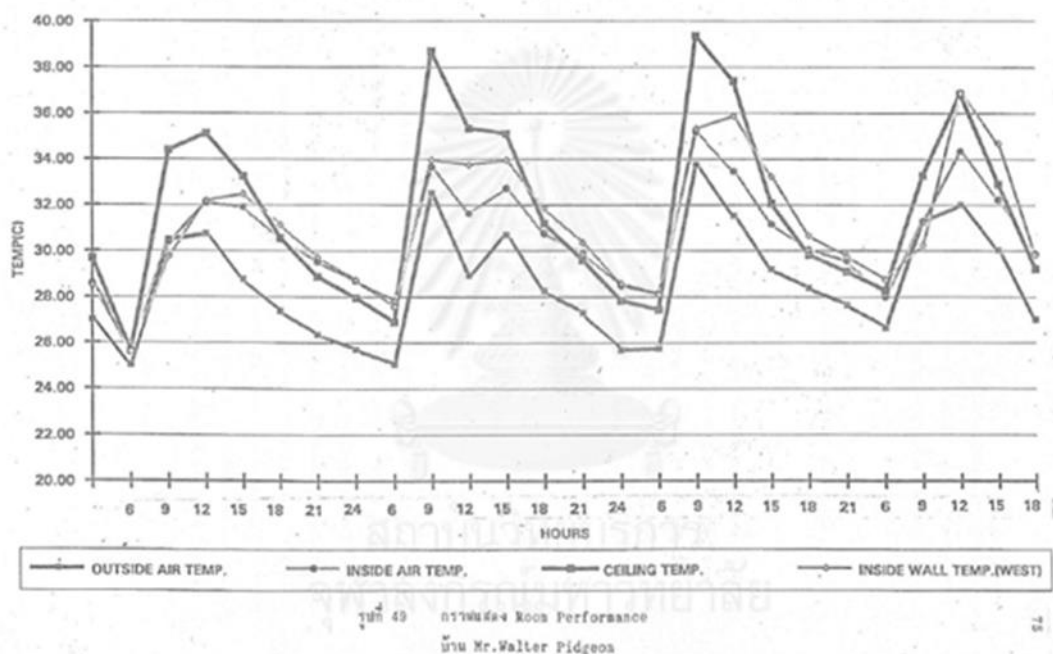
ภาพที่ 5-12 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของ
แผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ในแต่ละกรณีศึกษาที่ติดตั้งในห้อง
จำลองก่อผนังอิฐมวลเบาฉาบเรียบหนา 4 นิ้วขนาดห้อง 16 ตารางเมตร..... 111

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อิทธิพลจากแสงอาทิตย์เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลให้อุณหภูมิภายในที่พักอาศัยสูงขึ้น วัสดุเปลือกอาคารจึงควรมีคุณสมบัติลดอัตราการถ่ายเทความร้อนสู่ภายในอาคาร หากพิจารณาวัสดุเปลือกอาคารส่วนต่างๆ ในอาคารพบว่าหลังคาเป็นวัสดุเปลือกอาคารส่วนที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากแสงอาทิตย์มากที่สุด จากงานวิจัย การศึกษาสภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับอาคารสถาปัตยกรรมไทย [1] ได้มีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารที่วัสดุเปลือกอาคารของบ้านพักอาศัยที่ประกอบด้วยผนังก่ออิฐฉาบปูน โครงสร้างและพื้นอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก หลังคาเป็นกระเบื้องซีเมนต์ที่ไม่มีระบบกันความร้อนที่ดี เป็นแบบฉบับที่นิยมใช้ในโครงสร้างบ้านจัดสรรในยุคปัจจุบัน ได้ข้อมูลที่น่าสนใจว่าอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานตลอด 24 ชั่วโมง เนื่องจากวัสดุผนังหลังคาเป็นวัสดุที่มีมวลสารมาก (Heavy weight) คายความร้อนได้ช้า ทำให้ภายในช่องใต้หลังคาเหนือฝ้าเพดานเกิดการสะสมความร้อน (Heat pocket) ในช่วงเวลากลางวัน แล้วค่อยๆ ถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานสู่ภายในห้องในช่วงกลางคืน



ภาพที่ 1-1 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานเทียบกับอุณหภูมิผนังด้านในอาคาร อุณหภูมิอากาศภายในอาคารและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร [1]

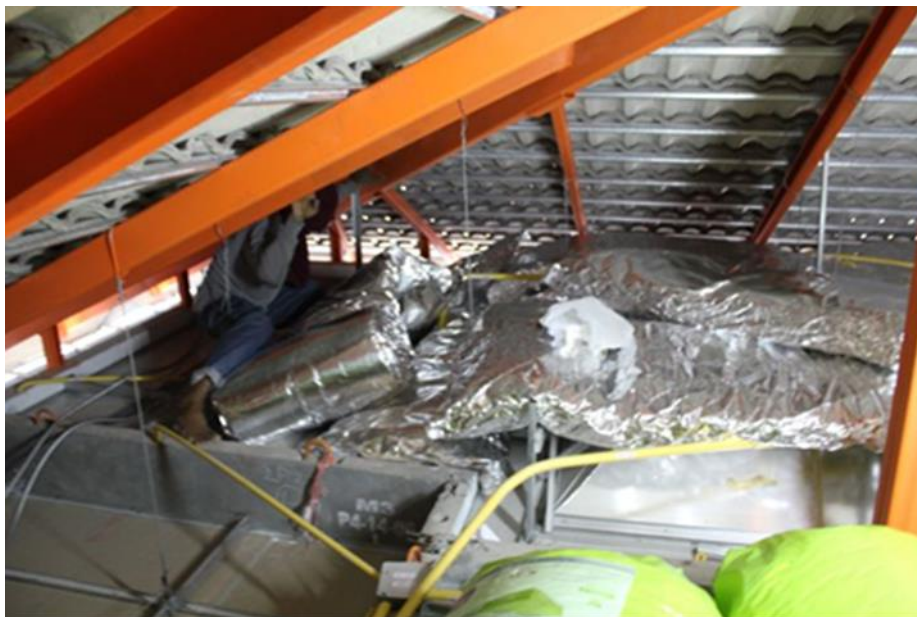
การติดตั้งฉนวนกันความร้อน (ภาพที่ 1-2) เนื้อฝ้าเพดานเป็นหนึ่งในวิธีลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุผนังหลังคาที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปปรับปรุงกับหลังคาที่มีฝ้าได้ทุกรูปแบบ ในปัจจุบันการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเนื้อฝ้าเพดานมักใช้วิธีปูฉนวนทับฝ้าเพดานโดยปราศจากการยึดตัววัสดุฉนวนเข้ากับโครงเคร่า ส่งผลให้เกิดปัญหาวัสดุฉนวนเกิดการเคลื่อนที่เมื่อภายในช่องใต้หลังคามีลมพัดผ่านเกิดเป็นช่องว่างระหว่างแผ่นฉนวน รวมไปถึงการติดตั้งที่ไม่ถูกวิธีและขาดความระมัดระวัง เช่น ผู้รับเหมาโครงการติดตั้งฉนวนเนื้อฝ้าเพดานไม่ครอบคลุมพื้นที่ฝ้าเพดานทั้งหมด (ภาพที่ 1-3) ส่งผลให้ความร้อนที่แผ่จากผิวด้านใต้ของวัสดุผนังหลังคาสามารถถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานในตำแหน่งที่ไม่มีฉนวนกันความร้อนปกคลุม (ภาพที่ 1-4) แล้วเข้าสู่ภายในอาคารได้



ภาพที่ 1-2 ตัวอย่างฉนวนกันความร้อนใยแก้วชนิดปูเนื้อฝ้าเพดาน [2]



ภาพที่ 1-3 การติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดปูเนื้อฝ้าเพดานที่ผิด ส่งผลทำให้ความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานบริเวณที่ไม่ได้ปูฉนวน



ภาพที่ 1-4 วัสดุห่อหุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดปูเหนือฝ้าเพดานแบบอลูมิเนียมฟอยล์ที่ฉีกขาดได้ง่าย การติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดนี้จึงต้องระมัดระวังการปูบริเวณส่วนที่เป็นโครงสร้างของฝ้าเพดาน

ปัจจุบันมีการพัฒนาวัสดุฝ้าเพดานให้มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ทั้งนี้เพื่อลดขั้นตอนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้าเพดาน แต่การติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนกันความร้อนนั้น ยังคงเกิดปัญหาการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดาน



ภาพที่ 1-5 ตัวอย่างแผ่นฝ้าเพดานที่ผลิตจากวัสดุฉนวนกันความร้อนที่ขายอยู่ในท้องตลาด

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวเนื่องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุฉนวนกันความร้อนชนิดต่างๆ รวมไปถึงประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่มีอยู่ในท้องตลาด เพื่อนำเสนอระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่สามารถลดการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดานเพื่อทดแทนระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบเดิม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติ ลักษณะและวิธีการติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่มีอยู่ในท้องตลาดจากข้อมูลหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษา

1.2.2 ออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพของระบบฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ได้รับการแก้ไขการรั่วซึมของความร้อนตรงรอยต่อระหว่างแผ่น

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 วัสดุผนังหลังคาที่นำมาศึกษาคือ วัสดุผนังหลังคาแผ่นโลหะ โดยติดตั้งทำมุมลาดเอียง 15 องศา ไปทางทิศใต้

1.3.2 เก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองจากโมเดลจำลองที่ติดตั้ง ณ สถานที่จริงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน

1.3.3 วัสดุฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาดที่นำมาทำการทดลอง ได้แก่

- แผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ติดตั้งระบบ T-bar
- แผ่นฝ้าเพดานฉนวน EPS foam (Expanded Polystyrene Foam) หนา 1 นิ้ว ติดตั้งระบบ T-bar

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูลของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่มีอยู่ในท้องตลาดจากข้อมูลหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดปัจจัยที่จะต้องการศึกษาดังต่อไปนี้

1.4.1.1 ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ โดยการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.1.2 ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ลักษณะ และวิธีการติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในยุคปัจจุบัน โดยการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ทำการทดสอบโมเดลจำลองระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในกรณีศึกษาต่างๆ ที่ระบุ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมของความร้อนผ่านช่องรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดาน

1.4.2.1 ทดสอบการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อในการติดตั้งระบบฝ้าเพดาน ฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตร ในแต่ละระบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบ T-bar กับระบบที่อุดรอยรั่วในการติดตั้งจากโมเดลจำลองทั้ง 2 ชุด ได้แก่

- โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งฝ้าเพดานระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดาน ฉนวนใยแก้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร มีค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R) เท่ากับ $3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$.

- โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร โดยอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดาน มีค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R) เท่ากับ $3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$.

1.4.2.2 ทดสอบการรั่วซึมความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นในการติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 1 นิ้ว ในแต่ละระบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบ T-bar กับระบบที่อุดรอยรั่วในการติดตั้งจากโมเดลจำลองทั้ง 2 ชุด ได้แก่

- โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งฝ้าเพดานระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร มีค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R) เท่ากับ $3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$.

- โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร โดยอุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้าเพดาน มีค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R) เท่ากับ $3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$.

1.4.2.3 ทดสอบค่าการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นในการติดตั้งระบบฝ้าเพดานที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่น โดยเปรียบเทียบกับระบบ T-bar จากโมเดลจำลองทั้ง 2 ชุด ได้แก่

- โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งระบบฝ้าเพดานระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วยฉนวน EPS foam หนา 2 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร มีค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R) เท่ากับ $8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$.

- โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วยฉนวน EPS foam หนา 2 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร โดยอุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้าเพดาน มีค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R) เท่ากับ $8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$.

1.4.2.4 ทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของระบบฝ้าเพดาน ฉนวนกันความร้อนในท้องตลาดกับระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อน ผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นจากโมเดลจำลองทั้ง 3 ชุด ได้แก่

- โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งระบบฝ้าเพดานระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้า เพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร มีค่าความต้านทาน ความร้อน (Thermal Resistance, R) เท่ากับ $3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$.

- โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งระบบฝ้าเพดานระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้า เพดานระบบ EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร มีค่าความต้านทาน ความร้อน (Thermal Resistance, R) เท่ากับ $3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$.

- โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไข การรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นด้วยแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุ ด้วยฉนวนฉนวน EPS foam หนา 2 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร มีค่าความ ต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R) เท่ากับ $8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$.

1.4.2.5 นำเสนอวัสดุฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อน ผ่านรอยต่อระหว่างแผ่น เพื่อประเมินผลในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.4.2.5.1 ประสิทธิภาพด้านการป้องกันความร้อน : เปรียบเทียบผลต่าง ระหว่างอุณหภูมิของผิววัสดุผนังหลังคา กับอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานแต่ละกรณีศึกษา

1.4.2.5.2 วิธีการติดตั้ง : เปรียบเทียบวิธีการและขั้นตอนการติดตั้งระบบฝ้า เพดานของแต่ละกรณีศึกษา

1.4.2.5.3 งบประมาณ : เปรียบเทียบงบประมาณค่าวัสดุและค่าแรงในการ ติดตั้งแต่ละกรณีศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลักษณะของฉนวนกันความร้อนแต่ละ ชนิดในปัจจุบัน

1.5.2 ได้ระบบการติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนผ่าน รอยต่อระหว่างแผ่น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทพลังงานความร้อน

การถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุใดๆ จะสามารถเกิดได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้งสองมีค่าแตกต่างกัน ความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ ลักษณะของการถ่ายเทความร้อนมี 3 วิธี ได้แก่ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

2.1.1 การนำความร้อน (Conduction)

ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในของวัตถุหรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนเริ่มจากบริเวณของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยการนำความร้อนในลักษณะนี้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค [3] ตัวอย่างการนำความร้อนเช่น การที่มือไปสัมผัสกับผิวเตารีด ความร้อนจากผิวเตารีดจะถูกถ่ายเทไปยังมือ ทำให้รู้สึกร้อนที่มือบริเวณที่สัมผัสกับผิวเตารีด

2.1.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนคือกระบวนการการถ่ายเทพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล เช่น อากาศ น้ำ หรือไอน้ำ โดยจะเกิดขึ้นเมื่อของไหล (Fluid) สัมผัสกับผิววัตถุใดวัตถุหนึ่งที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นโดยผ่านตัวกลางที่เป็นของไหลนั้น ในธรรมชาติเมื่อของไหลถูกทำให้ร้อนขึ้น ของไหลนั้นก็ยังสามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ ทำให้เกิดการไหลเวียนพาความร้อนเกิดขึ้นเพราะโมเลกุลของของไหลที่เย็นกว่าและหนักกว่าจะถูกดันให้ตกลงข้างล่าง ในขณะที่เดียวกันโมเลกุลส่วนที่ร้อนกว่าและเบากว่าก็จะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน การพาความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่มีอากาศหรือลมเป็นสื่อกลาง [3] ตัวอย่างการพาความร้อนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง เช่น การได้รู้เป่าเส้นผม พัดลมจะเป่าลมผ่านความร้อนจากฮีตเตอร์เพื่อพาความร้อนไปยังเส้นผม

ลักษณะของการพาความร้อนที่เกิดขึ้น แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนในโมเลกุลของของไหล โดยแบ่งได้ดังนี้

2.1.2.1 การพาความร้อนแบบอิสระหรือโดยธรรมชาติ (Free or natural convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่อาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อของ

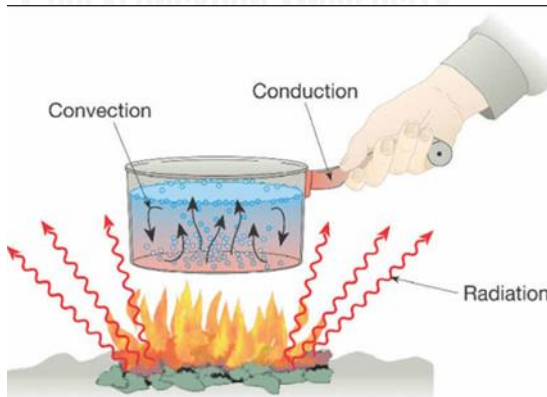
ไหลได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นของของไหลนั้นจะมีค่าต่ำกว่าอากาศบริเวณรอบๆ ทำให้เกิดการลอยตัวสูงขึ้นของของไหลนั้น เช่น ควันจากการเผาไหม้

2.1.2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยแรงจากภายนอกมากระทำทำให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวของแข็งที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างกันไปยังทิศทางที่กำหนดเอาไว้ เช่น แรงจากไตรเป่าผม หรือแรงจากพัดลม

2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves) ทะลุผ่านช่องว่างใดๆ จากพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิที่สูงทะลุผ่านไปยังพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกทิศทาง ในความเป็นจริงแล้วการแผ่รังสีความร้อนที่แท้จริงนั้นไม่ได้ทำให้ตัวกลางที่ความร้อนผ่านไปนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น เพราะเมื่อรังสีนี้ไปกระทบกับวัตถุใดๆ รังสีบางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ บางส่วนจะทะลุผ่านและบางส่วนอาจถูกดูดกลืนเอาไว้ ถ้ารังสีที่ตกกระทบวัตถุนั้นเป็นรังสีความร้อน รังสีส่วนที่ถูกดูดกลืนนั้นจะกลายเป็นความร้อนในวัตถุนั้นๆ [3]

การถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุสามารถเกิดขึ้นด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งหรืออาจเกิดขึ้นได้พร้อมกันหลายวิธี โดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งเข้าสู่การสมดุลทางความร้อน (Thermal equilibrium) คือ ปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิภายนอกและภายในเท่ากันแล้ว ส่งผลให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนและการพาความร้อนจะหยุดลง แต่การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ เพราะอุณหภูมิผิวดวงอาทิตย์สูงกว่าอุณหภูมิวัตถุมากๆ นั่นเอง



ภาพที่ 2-1 แสดงการถ่ายเทพลังงานความร้อน [4]

2.2 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน

ความสามารถของมวลสาร (Thermal Mass) ในการกักเก็บความร้อนและหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพมากน้อยแตกต่างกันไป โดยที่วัสดุที่มีน้ำหนักน้อยและมีมวลสารน้อยจะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้น้อยและมีความสามารถในการชะลอการถ่ายเทความร้อนได้ต่ำกว่าวัสดุที่มีมวลสารที่มากกว่า ในขณะที่วัสดุที่มีมวลสารมากสามารถกักเก็บปริมาณความร้อนได้มากกว่า แต่เมื่อปริมาณความร้อนที่สะสมมากขึ้นเรื่อยๆ จนวัสดุไม่สามารถกักเก็บความร้อนได้อีก ปริมาณความร้อนที่สะสมเอาไว้ในวัสดุนั้นก็จะค่อยๆ ส่งผ่านความร้อนในเวลาต่อมา เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การหน่วงเหนี่ยวเวลา หรือ Time Lag Effect ถ้าในขณะที่วัสดุนั้นๆ กักเก็บความร้อนอยู่ ถ้าอุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของวัสดุนั้นแล้ว ในช่วงเวลาดังกล่าวจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุดังกล่าวสู่อากาศภายนอกด้วย

ถ้าหากวัสดุมีมวลสารและ Time lag มาก โอกาสที่ปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในวัสดุนั้นจะสูญเสียให้กับอากาศภายนอกก็มีมากเช่นกัน ดังรายละเอียดของการศึกษาคุณสมบัติของมวลสารของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนดังต่อไปนี้

2.2.1 ค่าความสามารถในการนำความร้อน (Thermal Conductivity, K)

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่ทึบตันความหนา 1 นิ้ว ในเวลา 1 ชั่วโมงบนพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 °F ภายใต้สภาพการถ่ายเทความร้อนที่คงที่ มีหน่วยเป็น Btu/h ft² °F

2.2.2 ค่าการนำความร้อนรวม (Thermal Conductance, C)

การคำนวณค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุตามความหนาที่กำหนดใน 1 ชั่วโมง บนพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 °F มีหน่วยเป็น Btu/hr ft² °F

2.2.3 ค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R-value)

ประสิทธิภาพความเป็นฉนวนของวัสดุทึบตัน ถ้าค่าการต้านทานความร้อน (R-value) มาก แสดงว่าวัสดุนั้นๆ มีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดี สามารถต้านทานการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุได้มาก มีหน่วยเป็น h ft² °F / Btu.

2.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient of Heat Transmission, U-value)

ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเพื่อแสดงประสิทธิภาพการเป็นฉนวนของวัสดุนั้นๆ ถ้าค่า U-value มีค่าน้อยแสดงว่า วัสดุนั้นๆ เป็นฉนวนความร้อนที่ดี ค่า U-value เป็นส่วนกลับของ R-value ($U = 1/R$) มีหน่วยเป็น Btu/h ft² °F

2.2.5 ความจุความร้อน (Thermal Heat Capacity)

ความสามารถในการกักเก็บความร้อนของสสาร ถ้าสสาร 2 ชนิดที่มีความจุความร้อนที่แตกต่างกัน เมื่อสสารที่มีความจุความร้อนที่น้อยกว่าได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเร็วกว่าสสารที่มีความจุความร้อนที่มากกว่า

2.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature, MRT)

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature, MRT) นั้นวัดโดยค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรงด้วย MRT สามารถคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวด้านต่างๆ ของห้องและตำแหน่งที่วัด โดยใช้มุมกระทำ (Solid angle) ที่เกิดระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบเขตของแต่ละพื้นผิวโดยหาค่าเฉลี่ยออกมาเป็น MRT [1]

MRT มีผลต่อสภาวะน่าสบาย (Thermal comfort) มากกว่าอุณหภูมิอากาศ 40 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ ถ้าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 1.4 องศาเซลเซียส และ MRT ลดลง 1 องศาเซลเซียส ความรู้สึกร้อนหนาวยังคงเหมือนเดิม และในการกลับกันในห้องที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส แต่ MRT สูง 32 องศาเซลเซียส ผู้อยู่อาศัยในห้องนั้นก็ยังคงรู้สึกร้อนอยู่ [1]

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature, MRT) สามารถคำนวณหาได้ 2 วิธี ดังนี้ [5]

วิธีที่ 1

$$MRT = \frac{T_1A_1 + T_2A_2 + \dots + T_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (i=1-n) \quad (\text{สมการที่ 1})$$

หมายเหตุ

MRT : อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)

T_i : อุณหภูมิพื้นผิววัตถุชิ้นส่วน i ($^{\circ}\text{C}$)

A_i : ขนาดพื้นผิววัตถุชิ้นส่วน i (ตร.ม.)

วิธีที่ 2

$$MRT = \frac{T_1\theta_1 + T_2\theta_2 + \dots + T_n\theta_n}{\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n} \quad (i=1-n) \quad (\text{สมการที่ 2})$$

หมายเหตุ

MRT : อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)

T_i : อุณหภูมิพื้นผิววัตถุชิ้นส่วน n ($^{\circ}\text{C}$)

θ_i : มุมกระทำ (Solid angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัดและพื้นผิวของวัตถุ
ชั้นส่วน i

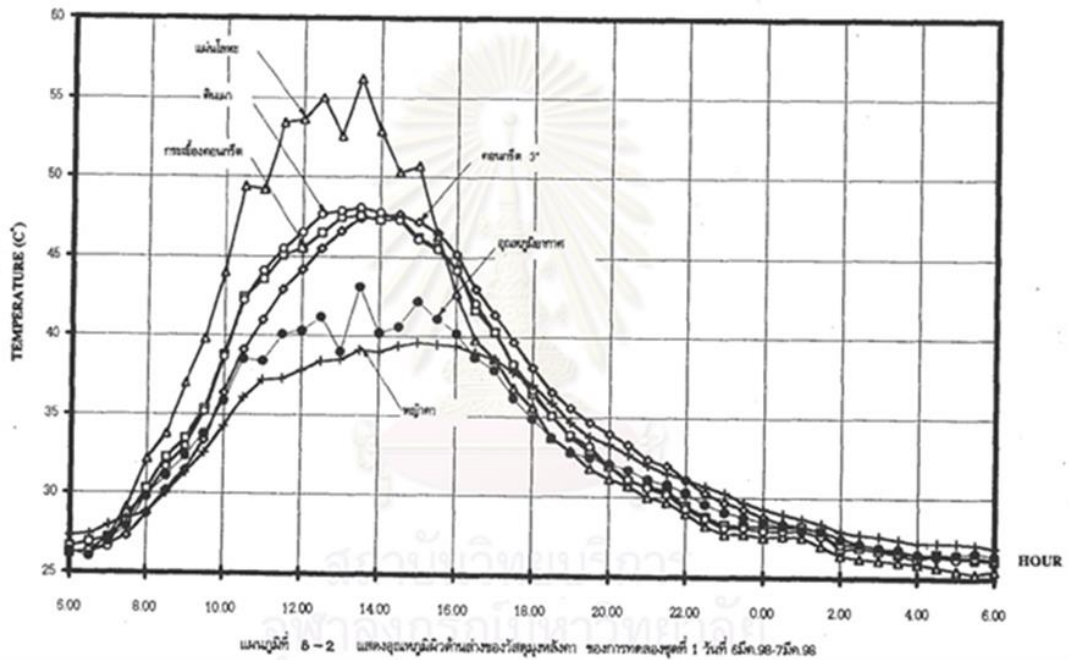
2.4 แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น (จุไรพร ตุมพสุวรรณ, 2540)

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะของวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยตั้งแต่สมัยอดีตจนถึง
ช่วงเวลาที่ทำการวิจัย โดยศึกษาในด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านตัววัสดุผนังหลังคาและปัจจัยต่างๆ ที่
เกี่ยวข้องต่อการลดการถ่ายเทความร้อนของหลังคา โดยแบ่งขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ทดสอบคุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนังหลังคาแต่ละชนิด จาก
ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ติดตั้งหลังคาที่ใช้วัสดุผนังหลังคาเป็นหุ้มหามีอุณหภูมิ
ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับหลังคาที่ใช้วัสดุเป็นกระเบื้องดินเผา กระเบื้องซีเมนต์ แผ่นโลหะ และหลังคา
คอนกรีตเสริมเหล็ก โดยที่หลังคาแผ่นโลหะมีอุณหภูมิผิววัสดุสูงที่สุดในช่วงเวลาที่หลังคาของโมเดล
จำลองได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์มากที่สุดของวัน (ภาพที่ 2-2)

2. ทดสอบมุมเอียงของหลังคาที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน จากการทดสอบของ
งานวิจัยนี้พบว่า หลังคาที่ทำมุมเอียง 60 องศา มีอุณหภูมิภายในกล่องทดลองต่ำที่สุด โดยเรียงลำดับ
ต่ำรองลงมาได้แก่ หลังคาทำมุมเอียง 45 องศา, 30 องศา และหลังคาที่แบนราบ (0 องศา)



ภาพที่ 2-2 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิผิวด้านล่างของวัสดุผนังหลังคาชนิดต่างๆ วันที่ 6 มี.ค.- 7 มี.ค. 2541 ของแบบทดสอบชุดที่ 1 [6]

ภาคผนวก ก. ตารางแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมโปรไฟล์ (Profile Angle) มุมอะซิมุท (Azimuth Angle)

วันที่ 21 ของทุกเดือน ณ เวลาต่างๆ สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ

Date	Solar time		Solar Position		Profile (Shadow Line) Angles																Solar Position		Solar time
	Time	ALT	AZ	N	NNW	NN	ENE	E	ESE	SE	SSH	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Alt	Az	Time	
FEB + OCT	7	12	76		56	22	15	12	12	14	19	40								79	76	12	7
	8	26	71		84	48	33	27	26	28	35	55								65	71	26	8
	9	39	64			69	51	43	39	40	47	61								51	64	39	9
	10	51	52			85	69	58	52	51	55	64	78							39	52	51	10
	11	61	32				85	74	66	62	65	72	83							29	32	61	11
	12	65	0					90	90	72	67	65	67	72	80					25	0	65	12
	13	61	32			65	62	62	66	74	85									29	32	61	13
	14	51	52			64	55	51	52	58	69	85								39	52	51	14
MAR + SEP	7	14	87		39	21	16	14	15	19	31	76								76	87	14	7
	8	29	82		66	43	33	29	30	35	47	76								61	82	29	8
	9	43	77		81	61	50	44	44	48	58	76								47	77	43	9
	10	57	67			76	66	59	57	59	66	76								33	67	57	10
	11	69	49			81	74	71	70	72	76	83								21	49	69	11
	12	76	0				90	90	90	72	76	77	80	85						14	0	76	12
	13	69	49			72	70	71	74	81										21	49	69	13
	14	57	67			76	66	59	57	59	66	76								33	67	57	14
15	43	77			76	58	48	44	44	50	61	81							47	77	43	15	
16	29	82			76	47	35	30	29	33	43	66							61	82	29	16	
17	14	87			76	31	19	15	14	16	21	39	76						87	87	14	17	

ภาพที่ 2-3 ตารางแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมโปรไฟล์ (Profile Angle) มุมอะซิมุท (Azimuth Angle) ของวันที่ 21 มีนาคม 2541 สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ [6]

ภาพที่ 2-3 แสดงให้เห็นว่า ในวันที่ทำการทดลอง (21 มีนาคม 2541) Profile Angle ของดวงอาทิตย์อ้อมได้ทำมุม 76 องศา กับพื้นโลกตลอดช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อหามุมลาดเอียงของหลังคา เมื่อระนาบผิวหลังคาทำมุมตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ หลังคาจะ

ได้รับอิทธิพลความร้อนจากแสงอาทิตย์มากที่สุด [6] ดังนั้นโมเดลจำลองในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความลาดเอียงหลังคา 15 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ระนาบหลังคาทำมุมกับดวงอาทิตย์ใกล้เคียง 90 องศา

2.5 ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาดที่นำมาเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัย

2.5.1 แผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ติดตั้งระบบ T-bar

ฉนวนใยแก้ว (Glass fiber) : ใยแก้วผลิตจากก้อนแก้วหรือเศษแก้วมาหลอมปั่นจนกลายเป็นเส้นใยละเอียด แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นฉนวนความร้อนในรูปแบบต่างๆ ฉนวนใยแก้วนี้เป็นฉนวนเส้นใยแบบเซลล์เปิด (Open cell) มีโครงสร้างภายในเป็นเส้นใยและช่องอากาศ (Air gap) จัดอยู่ในประเภทเป็นวัสดุไม่ลามไฟ (Non-Combustible Material) มีทั้งชนิดที่มีวัสดุผิวปิดและไม่มีวัสดุผิวปิด ขึ้นอยู่กับรูปแบบการนำไปใช้งาน โดยส่วนมากจะใช้แผ่นอะลูมิเนียมพอยล์เป็นวัสดุผิวปิด เพราะต้องการป้องกันไอน้ำ ความชื้น (Vapor barrier) และการฟุ้งกระจายของตัวเส้นใย นอกจากนี้ฉนวนใยแก้วสามารถป้องกันความร้อนได้แล้วยังมีส่วนช่วยในการป้องกันเสียงหากนำมาผสมผสานกับวัสดุอื่นอย่างถูกต้อง ฉนวนชนิดนี้โดยทั่วไปไม่สามารถป้องกันไฟได้ มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 700 องศาเซลเซียส และไม่สามารถทนทานต่อความเปียกชื้นและการควบแน่นเป็นหยดน้ำได้ เพราะจะสูญเสียคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนไป [7]

แผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วจากท้องตลาดที่นำมาเป็นกรณีศึกษา เป็นแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนสำหรับติดตั้งกับฝ้าเพดานระบบ T-bar ตัวแผ่นมีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 19 มิลลิเมตร มีค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R-value) เท่ากับ $3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$ รายละเอียดของฉนวนใยแก้วแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 และรูปแสดงในภาพที่ 2-4

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วจากท้องตลาดในแต่ละขนาด สำหรับติดตั้งกับฝ้าเพดานระบบ T-bar

Thickness mm	Width x Length mm x mm	Packing panels / box	K - Value		R - Value		NRC
			$\frac{W}{mK}$	$\frac{\text{Btu-in}}{\text{hr.ft}^2.^\circ\text{F}}$	$\frac{\text{m}^2.K}{W}$	$\frac{\text{hr.ft}^2.^\circ\text{F}}{\text{Btu}}$	
19	600 x 600	40	0.032	0.22	0.59	3.30	0.70
	600 x 1200	20					
25	600 x 600	15	0.032	0.22	0.78	4.40	0.75
	600 x 1200	30					

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว สำหรับติดตั้งกับฝ้าเพดานระบบ T-bar จากท้องตลาดที่นำมาเป็นกรณีศึกษา

Products Properties	Specification	Standard
Alkalinity	pH 9	
Light Reflectance	LR-1 : 75% or more	ASTM C 523
Water Vapor Sorption	< 1.5% at 49 C 90% RH (by Weight)	ASTM C 1104
Fire Properties	Class : 1	BS 476 Part 5,6,7
Surface Burning Characteristics	Flame Spread : 25 Smoke Developed: 50	ASTM E 84
Thermal Conductivity : k at 24 °C (W / m.K) at 75 °F (Btu-in/hr.ft ² .°F)	0.032 0.22	ASTM C 518
Mold Growth	Will not provide sustenance for mold, fungi, bacteria or vermin	ASTM C 665



ภาพที่ 2-4แผ่นฉนวนใยแก้วที่ใช้ในการศึกษา

2.5.2 แผ่นฝ้าเพดาน Expandable Polystyrene (EPS foam) หนา 25.4 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ติดตั้งระบบ T-bar

EPS foam : เป็นผลิตภัณฑ์จากพลาสติกที่ได้จากกระบวนการผลิตปิโตรเลียม มีรูปแบบเป็นเม็ดพลาสติกเรซิน เมื่อนำมาผสมสารพองตัว (Blowing agent) ก๊าซเพนเทน (5H12) ที่เป็นสารประกอบคาร์บอนตามธรรมชาติ ไม่มีส่วนประกอบจากสาร CFC ที่เป็นอันตรายต่อชั้นโอโซน จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (Steam) จะได้เป็นเม็ดโฟม EPS สีขาวมีลักษณะเป็นเซลล์ปิดที่สามารถขยายตัวได้ 50 เท่า และเมื่อทำให้เม็ดโฟม EPS ขยายตัว อากาศ

สามารถเข้ามาแทนที่ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด โดยมีเพียง 2 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่เป็นเนื้อโฟม ด้วยเหตุนี้จึงสามารถผลิตโฟมที่มีขนาดใหญ่แต่น้ำหนักเบา จากนั้นสามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปขึ้นรูปในรูปแบบอื่นๆ ต่อไป EPS form แบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

- 1) ชนิดลามไฟ (P-Grade) : เป็น EPS foam เกรดธรรมดาซึ่งลุกติดไฟและลามไหมอย่างรวดเร็ว เหมาะกับการใช้งานทั่วไปที่ไม่ใช่งานก่อสร้าง
- 2) ชนิดไม่ลามไฟ (F-Grade) : เป็น EPS foam ชนิดที่ผสมสารกันไฟซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้ตัวโฟมยังคงติดไฟแต่จะไม่ลามไปบริเวณอื่นบนเนื้อโฟมเหมือนโฟมชนิดลามไฟ และเมื่อเอาวัตถุต้นกำเนิดไฟออกไฟที่ติดที่เนื้อโฟมจะดับเองภายใน 10 วินาที EPS foam ชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างหรืองานที่ต้องการการระวังความเสี่ยงที่จะเกิดอัคคีภัย

แผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam (ภาพที่ 2-5) เป็นผลิตภัณฑ์ EPS foam ชนิดไม่ลามไฟ (F-Grade) ที่มีความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ชนิดที่ผลิตจากโรงงานคือ ขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 25.4 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) สำหรับติดตั้งกับฝ้าเพดานระบบ T-bar มีค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R-value) เท่ากับ $3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F} / \text{Btu}$



ภาพที่ 2-5 แผ่นฉนวนกันความร้อน EPS foam ที่ใช้ในการศึกษา

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบผ้าเปดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นผ้า

จากการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผ้าเปดานฉนวนกันความร้อน อันนำไปสู่การทดลองประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบผ้าเปดานฉนวนกันความร้อนที่มีอยู่ในท้องตลาด เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของผ้าเปดานและนำเสนอระบบผ้าเปดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขปัญหาของระบบผ้าเปดานฉนวนกันความร้อนที่มีอยู่ในท้องตลาด โดยการทำการทดสอบตัวแปรที่เกี่ยวข้องผ่านโมเดลจำลอง



ภาพที่ 3-1 กรอบแนวคิดของการดำเนินการวิจัย

3.1.1 แนวคิดในการออกแบบ

จากกรอบแนวคิดของการดำเนินการวิจัย (ภาพที่ 3-1) ผลของการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการรั่วซึมความร้อนของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาด เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุโครงสร้างระบบฝ้าเพดานด้วยวิธีการนำความร้อน (Conduction) ส่งผลให้ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนถูกใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ อันนำไปสู่แนวคิดการออกแบบระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขปัญหาการรั่วซึมความร้อนบริเวณรอยต่อของแผ่นฝ้า

การออกแบบระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า โดยเลือกใช้วัสดุแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่มีอยู่ในท้องตลาดและใช้วิธีการติดตั้งที่เป็นที่นิยมทั่วไปมาปรับปรุงด้วยการปรับเฉพาะการติดตั้งในส่วนรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดาน เพื่อให้ช่างงานฝ้าเพดานสามารถเข้าใจและติดตั้งได้ง่ายจึงได้เลือกใช้วัสดุต่อไปนี้สำหรับการติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

- แผ่นยิปซัมบอร์ด ขนาด 9 มิลลิเมตร เป็นวัสดุฝ้าเพดานที่หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด และเป็นที่ยึดของช่างทั่วไป

- ฉนวนกันความร้อน EPS foam ชนิด F-Grade ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความหนา 2 นิ้ว ซึ่งเป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง มีน้ำหนักเบา สามารถตัดแต่งได้ง่ายและไม่ลามไฟซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในงานก่อสร้างอาคาร

- โครงเหล็กชุบสังกะสีสำหรับติดตั้งงานฝ้าฉาบเรียบ เป็นวัสดุโครงฝ้าเพดานในท้องตลาดที่มีน้ำหนักเบา ตัดแต่งและยึดได้ง่าย เหมาะสำหรับงานฝ้าเพดานที่ใช้วัสดุแผ่นยิปซัมบอร์ด

- สกรูดำ ขนาดความยาว 3 นิ้ว สำหรับยึดวัสดุฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกับโครงเหล็กชุบสังกะสีสำหรับติดตั้งงานฝ้าฉาบเรียบ

- เทปปิดรอยต่อระหว่างฝ้าเพดาน สำหรับปิดทับบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดานที่ฉาบทับด้วยปูนฉาบฝ้าเพดาน

- ปูนฉาบฝ้าเพดาน สำหรับฉาบบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดาน

- สีทารองพื้นแผ่นฝ้าเพดานและสีทาทับหน้าแผ่นฝ้าเพดาน สำหรับเก็บรายละเอียดงานฝ้าเพดานเพื่อความสวยงามหลังการติดตั้ง

3.1.2 การติดตั้ง

3.1.2.1 การเตรียมแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

นำแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดขนาด 9 มิลลิเมตร กรุฉนวนกันความร้อน EPS foam ชนิด F-Grade ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว ยึดติดกันด้วยการทาขาวาวเต็มแผ่นฝ้าเพดาน



ภาพที่ 3-2 แผ่นยิปซัมบอร์ดขนาด 1.20 เมตร x 2.40 เมตร ความหนา 9 มิลลิเมตร [8]



ภาพที่ 3-3 EPS foam ชนิด F-Grade ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความหนา 2 นิ้ว สำหรับกรุทับแผ่นยิปซัมบอร์ด [9]



ภาพที่ 3-4 กาวขาวสำหรับยึดติดแผ่นยิปซัมบอร์ดกับฉนวนกันความร้อน EPS foam



ภาพที่ 3-5 แผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน ขนาด 47.5 เซนติเมตร x 47.5 เซนติเมตร สำหรับติดตั้งบนโครงเหล็กชุบสังกะสีภายในโมเดลจำลอง

3.1.2.2 การติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

การติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้า ด้วยการเลือกใช้วิธีติดตั้งบนโครงเหล็กชุบสังกะสีสำหรับระบบฝ้าเพดานฉนวนเรียบยึดด้วยสกรูสำหรับติดตั้งฝ้าเพดานความยาว 3 นิ้ว โดยยึดต่อกันระหว่างแผ่นฝ้าเพดานเป็นลักษณะเข้าลิ้น จากนั้นฉาบที่รอยต่อด้วยปูนฉาบรอยต่อแผ่นยิปซัมและปิดทับด้วยเทปปิดรอยต่อฝ้าเพดานก่อนทาสีทับแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนโดยใช้สีทารองพื้นและสีทาทับหน้าแผ่นฝ้าเพดาน



ภาพที่ 3-6 โครงเหล็กชุบสังกะสีสำหรับติดตั้งงานฝ้าฉาบเรียบ [10]



ภาพที่ 3-7 สกรูดำสำหรับติดตั้งฝ้าเพดาน ความยาว 3 นิ้ว



ภาพที่ 3-8 เทปปิดรอยต่อฝ้าเพดาน สำหรับปิดทับบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดานที่ฉาบทับด้วยปูนฉาบฝ้าเพดาน



ภาพที่ 3-9 ปูนฉาบฝ้าเพดาน สำหรับฉาบบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดาน [11]



ภาพที่ 3-10 การติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดานกับโครงฝ้าเพดานเหล็กชุบสังกะสีที่ติดตั้งที่โมเดลจำลอง



ภาพที่ 3-11 ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าที่ติดตั้งแล้วเสร็จ (ซ้าย) และการยึดแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกับโครงเหล็กชุบสังกะสีด้วยสกรุดำยาว 3 นิ้ว (ขวา)

โครงสำหรับยึดแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเป็นโครงเหล็กชุบสังกะสี C-line ที่ใช้ติดตั้งฝ้าเพดานฉาบเรียบทั่วไปตามท้องตลาด เพื่อความง่ายต่อการติดตั้งสำหรับช่างฝ้าเพดานทั่วไป และตัววัสดุก่อสร้างยังสามารถหาซื้อได้ง่าย



ภาพที่ 3-12 แสดงลักษณะการต่อกันระหว่างแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน เป็นลักษณะเข้าลิ้น

3.2 การเตรียมการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้า โดยในการทดลองสามารถแบ่งขั้นตอนการเตรียมการวิจัยได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมสถานที่ทดลอง

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมเครื่องมือสำหรับใช้ในงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมโมเดลจำลองสำหรับการทดลองและเก็บข้อมูล

3.2.1 การเตรียมสถานที่ทดลอง

สถานที่ที่ใช้ในการทดลองและเก็บข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้ เป็นตัวแทนของสภาพแวดล้อมที่มีภูมิอากาศเขตร้อนชื้น และต้องไม่มีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมข้างเคียงที่ส่งผลต่อตัวแปรที่ต้องการศึกษา กล่าวคือสภาพแวดล้อมของสถานที่ทดลองต้องเป็นพื้นที่โล่งปราศจากหลังคาปกคลุม ไม่มีอิทธิพลจากระ่มเงาของสิ่งปลูกสร้างหรือพืชพรรณที่ส่งผลกระทบต่อโมเดลจำลอง และพื้นที่ติดตั้งกล่องทดลองต้องตั้งอยู่บนพื้นดินของสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ ไม่ใช่พื้นที่จากสิ่งปลูกสร้างเช่น ถนนหรือพื้นคอนกรีต สถานที่ใช้สำหรับทดลองและเก็บข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้ตั้งอยู่ที่ซอยหม้อจูลย์ เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร เป็นพื้นที่โล่งขนาดประมาณ 60 ตารางวา (ภาพที่ 3-13) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการทดลองและเก็บข้อมูล อีกทั้งยังสะดวกในการเดินทางในการซื้ออุปกรณ์และการติดตั้งโมเดลจำลอง



ภาพที่ 3-13 สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

3.2.2 การเตรียมเครื่องมือสำหรับใช้ในงานวิจัย

1) เครื่องวัดอุณหภูมิ 4 Channels Thermometer (จำนวน 3 เครื่อง)

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่อง 4 Channels Thermometer รุ่น DIGIGON DP - 74SD (ภาพที่ 3-14) ซึ่งสามารถตั้งค่าให้บันทึกข้อมูลอุณหภูมิโดยอัตโนมัติผ่าน SD card ตามเวลาจริงผ่านสาย Thermocouple ชนิด K โดยในการเก็บข้อมูลจำเป็นต้องป้องกันความร้อนจากแสงแดด ฝน ความชื้น ไม่ให้มากระทบตัวเครื่องโดยตรง และควรต่อเครื่องมือเข้ากับเครื่องสำรองไฟ (UPS) เพื่อป้องกันการเสียหายของข้อมูลในกรณีกระแสไฟฟ้าตกหรือดับซึ่งจะทำให้เกิดการไม่ต่อเนื่องหรือความผิดพลาดในการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 3-14 เครื่องวัดอุณหภูมิ 4 Channels Thermometer รุ่น DIGIGON DP - 74SD (ซ้าย) และการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิได้โมเดลจำลองเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องโดนแสงแดด และสามารถนำแผ่นโฟมมาคลุมเหนือเครื่องได้เพื่อป้องกันฝนสตกในกรณีที่เกิดฝนตก (ขวา)

ในการเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ การติดตั้งหัวเซนเซอร์สำหรับเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศของสายวัดอุณหภูมิ Thermocouple ชนิด K จำเป็นต้องป้องกันไม่ให้โดนแสงแดดและความชื้นโดยตรง และการติดตั้งหัวเซนเซอร์แบ่งเป็น 2 รูปแบบด้วยกัน ดังนี้

1) การวัดอุณหภูมิอากาศ จะติดตั้งหัววัดอุณหภูมิให้สัมผัสกับอากาศในบริเวณที่ต้องการเก็บข้อมูล แต่ต้องป้องกันไม่ให้หัววัดได้รับแสงแดดโดยตรง เพราะจะทำให้ข้อมูลที่ได้สูงกว่าค่าอุณหภูมิอากาศจริง

2) การวัดอุณหภูมิที่ผิววัสดุ จะติดตั้งหัววัดอุณหภูมิให้สัมผัสกับผิววัสดุที่ต้องการแต่ต้องป้องกันอิทธิพลของความร้อนและความชื้นจากบริเวณโดยรอบโดยใช้ EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ขนาดกว้าง 1 นิ้ว ยาว 1 นิ้วและหนา 1 นิ้ว ปิดที่หัวเซนเซอร์และป้องกันการรั่วซึมระหว่างรอยต่อของ EPS foam ที่ครอบผิววัสดุด้วยอคริลิกกันรั่วซึมชนิดไร้กรดสีขาว



ภาพที่ 3-15 ตัวอย่างการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่ผิววัสดุ (ซ้าย) และตัวอย่างการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิอากาศ (ขวา)

2) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ USB Data Logger DL-TH-USB

เครื่องบันทึกอุณหภูมิ USB Data Logger DL-TH-USB สามารถตั้งค่าให้บันทึกข้อมูลอุณหภูมิโดยอัตโนมัติตามเวลาจริง และโอนถ่ายข้อมูลที่บันทึกได้โดยผ่านโปรแกรมสำหรับบันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลไปใช้งานกับโปรแกรมอื่นๆ ต่อไป ในการติดตั้งเครื่องมือต้องป้องกันไม่ให้ตัวเครื่องโดนแสงแดดและความชื้นขึ้นทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อน สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ USB Data Logger DL-TH-USB สำหรับเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของอากาศภายนอกโมเดลจำลองของการทดลองที่ 1 และ 2



ภาพที่ 3-16 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ USB Data Logger DL-TH-USB

3) เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กและเครื่องสำรองไฟ (UPS)

- เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กสำหรับบันทึกข้อมูลขณะเก็บข้อมูลระหว่างการทดลองเพื่อนำข้อมูลที่เก็บได้ไปวิเคราะห์และหากข้อมูลเกิดการคลาดเคลื่อนก็สามารถแก้ไขได้ทันที

- เครื่องสำรองไฟ (UPS) สำหรับต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิของโมเดลจำลองเพื่อป้องกันการเสียหายของข้อมูลจากกรณีกระแสไฟฟ้าตกหรือดับขณะทำการทดลอง



ภาพที่ 3-17 คอมพิวเตอร์เน็ตบุ๊กสำหรับบันทึกข้อมูลอุณหภูมิที่เก็บได้



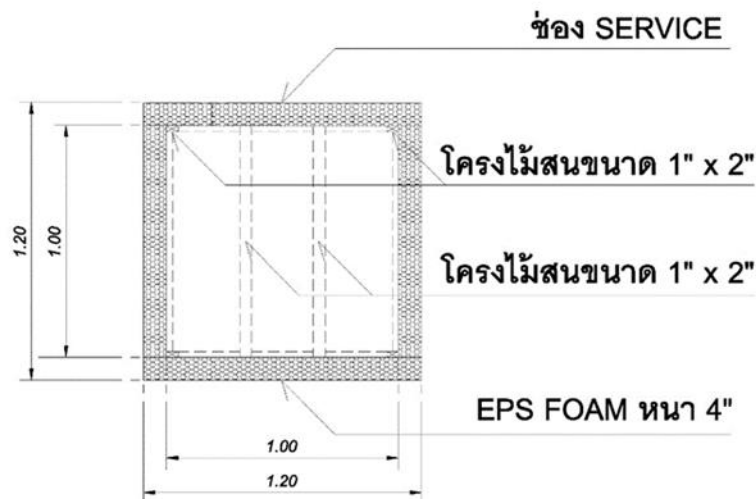
ภาพที่ 3-18 เครื่องสำรองไฟ (UPS)

3.2.3 การเตรียมโมเดลจำลองสำหรับการทดลองและเก็บข้อมูล

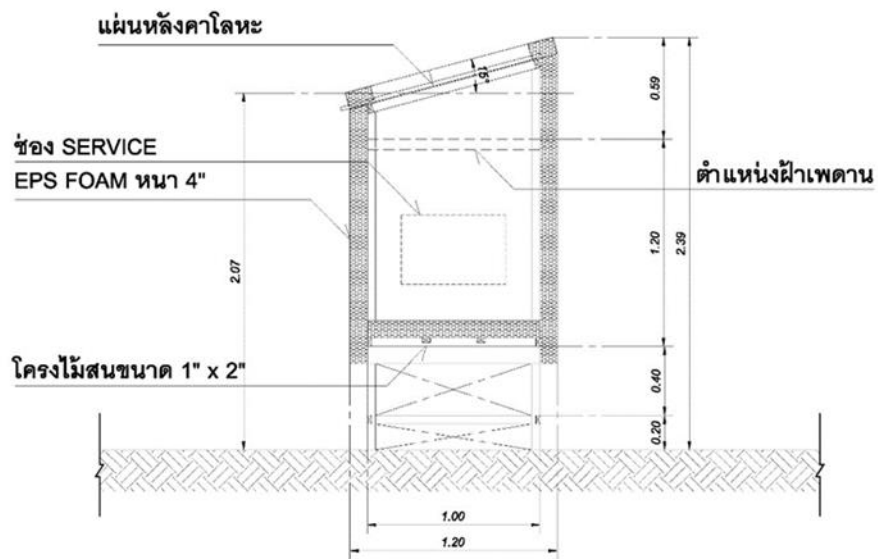
งานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดรูปแบบในการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยการเก็บข้อมูลจากโมเดลจำลองเพื่อควบคุมอิทธิพลจากตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทดลอง โดยกำหนดให้ช่องอากาศในโมเดลจำลองเป็นตัวแทนห้องใต้ระบบฝ้าเพดานของอาคาร รายละเอียดของโมเดลจำลองมีดังนี้

- ขนาดโมเดลจำลอง : มีขนาดกว้าง 1.20 เมตร ยาว 1.20 เมตร ความสูง 2.40 เมตรโดยวัดจากฐานถึงยอดบนสุดของโมเดลจำลอง

- โครงโมเดลจำลอง : ประกอบจากโครงไม้สนขนาดของหน้าต่าง 1 นิ้ว x 2 นิ้ว ยึดด้วยสกรูดำขนาดยาว 3 นิ้ว
- แผ่นหลังคา : เป็นแผ่นหลังคาโลหะตัดขนาด 1.00 เมตร x 0.80 เมตร ปิดช่องรอยต่อระหว่างแผ่นหลังคา กับผนังของแผ่น EPS foam ที่มีความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 4 นิ้ว และกว้าง 0.30 เมตรโดยรอบ และอุดร่องระหว่างแผ่นหลังคาโลหะกับแผ่นโฟมด้วย Polyurethane Foam : PU foam ชนิดกระป๋องพ่นและอคริลิกกันรั่วซึม
- ผนัง : ประกอบจากแผ่น EPS foam หนา 4 นิ้ว ยึดติดกับโครงโมเดลจำลองด้วยกาว PU foam ชนิดกระป๋องพ่น และอุดรอยต่อระหว่างแผ่นผนังด้วยอคริลิกกันรั่วซึมชนิดไร่กรดสีขาว



ภาพที่ 3-19 ผังพื้นแสดงรายละเอียดโมเดลจำลอง



ภาพที่ 3-20 รูปตัดแสดงรายละเอียดโมเดลจำลอง



ภาพที่ 3-21 การติดตั้งโครงโมเดลจำลองสำหรับทดลอง



ภาพที่ 3-22 แสดงการประกอบโมเดลจำลอง (ซ้าย) และโมเดลจำลองที่ประกอบเสร็จ (ขวา)

การเตรียมโมเดลจำลองสำหรับทดสอบและเก็บข้อมูลทั้ง 3 การทดลอง ดังนี้

1) การทดลองที่ 1 : การทดสอบการรั่วซึมความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นในการติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตรในแต่ละระบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบ T-bar กับระบบที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง

1.1) โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร

1.2) โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งฝ้าเพดานใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร โดยอุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้าเพดานในขั้นตอนการติดตั้ง



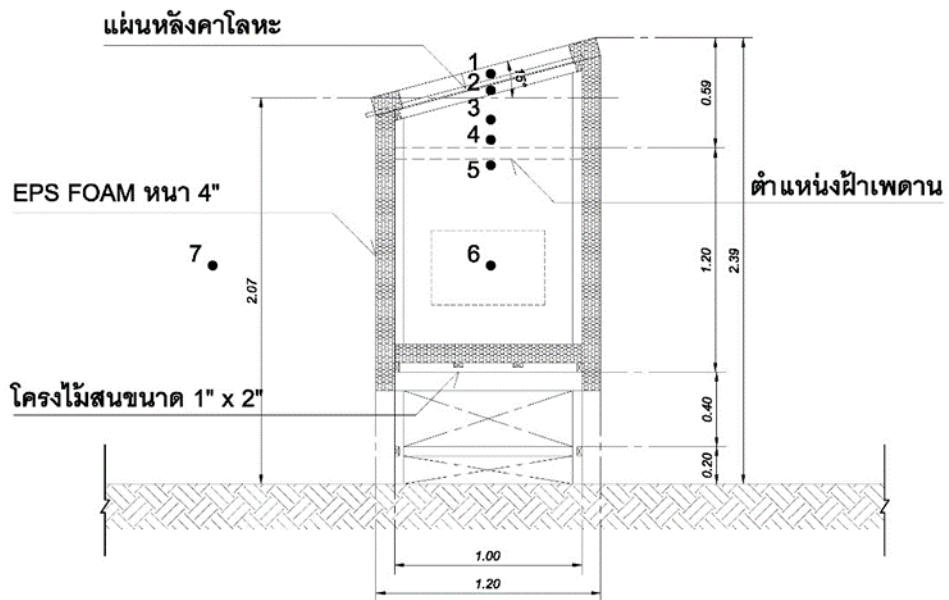
ภาพที่ 3-23 ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนใยแก้ว ความหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ติดตั้งระบบ T-bar (ซ้าย) และฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนใยแก้วของภาพซ้ายที่อุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้าเพดานในขั้นตอนการติดตั้ง (ขวา)

การทดสอบการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นในการติดตั้งของระบบ ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนใยแก้ว ความหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ในแต่ละระบบ โดยการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิในโมเดลจำลองจะติดตั้งทั้งหมด 7 ตำแหน่ง และจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งทุกๆ 5 นาที เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

- ตำแหน่งที่ 1 : วัดอุณหภูมิผิวด้านบนแผ่นหลังคาโมเดลจำลอง
- ตำแหน่งที่ 2 : วัดอุณหภูมิผิวด้านล่างแผ่นหลังคาโมเดลจำลอง
- ตำแหน่งที่ 3 : วัดอุณหภูมิอากาศในช่องใต้หลังคาเหนือระบบฝ้าเพดานฉนวนกัน

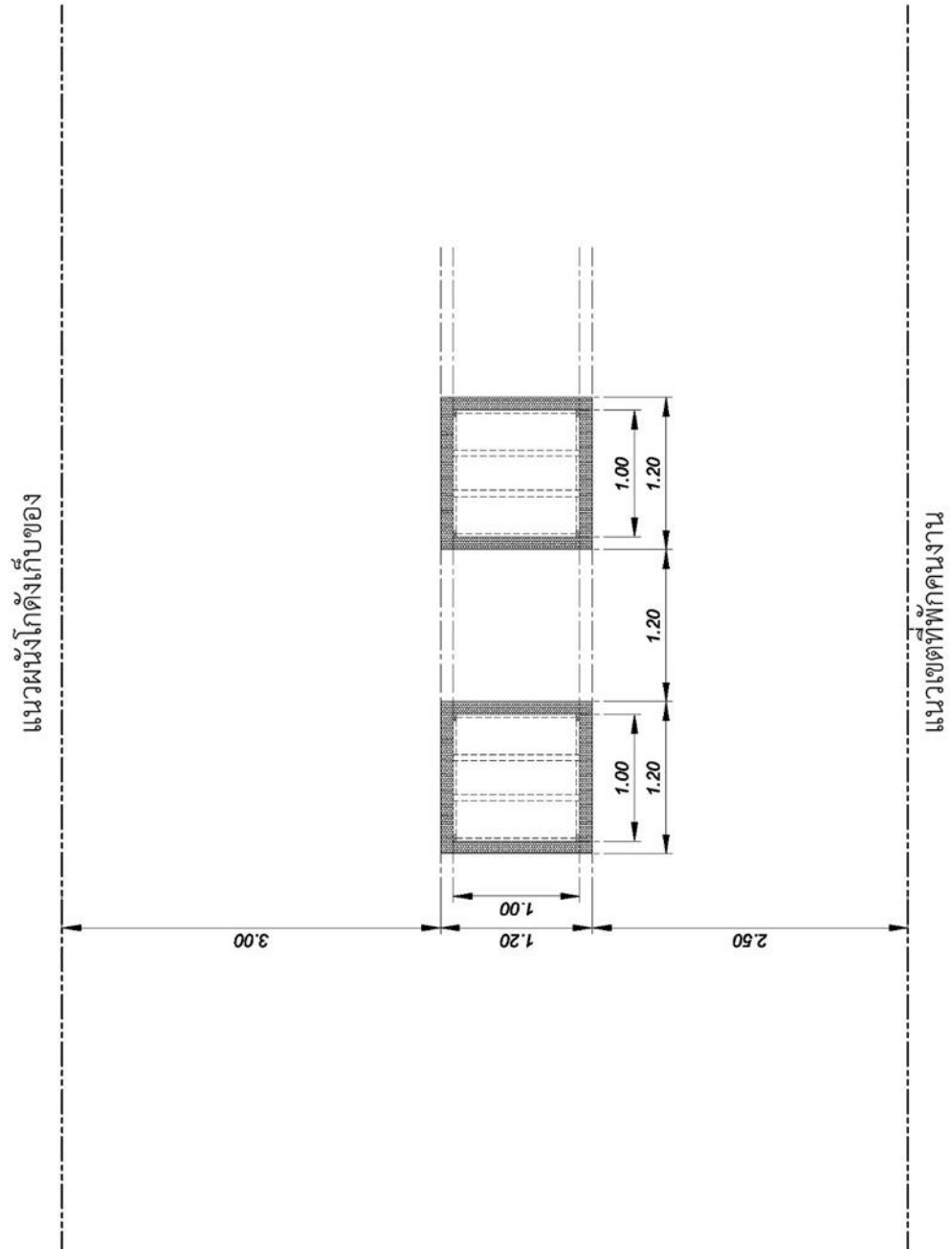
ความร้อนกรณีศึกษา

- ตำแหน่งที่ 4 : วัดอุณหภูมิผิวเหนือฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- ตำแหน่งที่ 5 : วัดอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- ตำแหน่งที่ 6 : วัดอุณหภูมิอากาศห้องใต้ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาของโมเดลจำลอง
- ตำแหน่งที่ 7 : วัดอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมภายนอก



ภาพที่ 3-24 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของโมเดลจำลองในการทดลองที่ 1





ภาพที่ 3-25 ผังการวางตำแหน่งโมเดลจำลองสำหรับการเก็บข้อมูลของการทดลองที่ 1

2) การทดลองที่ 2 : การทดสอบการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นในการติดตั้งของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 1 นิ้ว ในแต่ละระบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบ T-bar กับระบบที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง

2.1) โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร

2.2) โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร โดยอุดรอยรั่วของความร้อนระหว่างแผ่นฝ้าเพดานในขั้นตอนการติดตั้ง

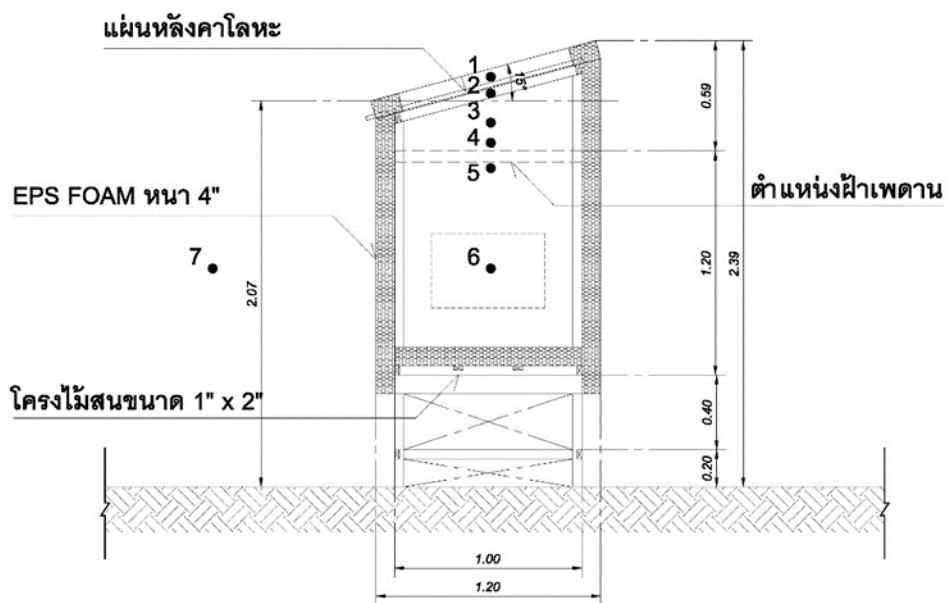


ภาพที่ 3-26 ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบ T-bar (ซ้าย) และฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam ตามภาพซ้ายที่อุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้าเพดานในขั้นตอนการติดตั้ง (ขวา)

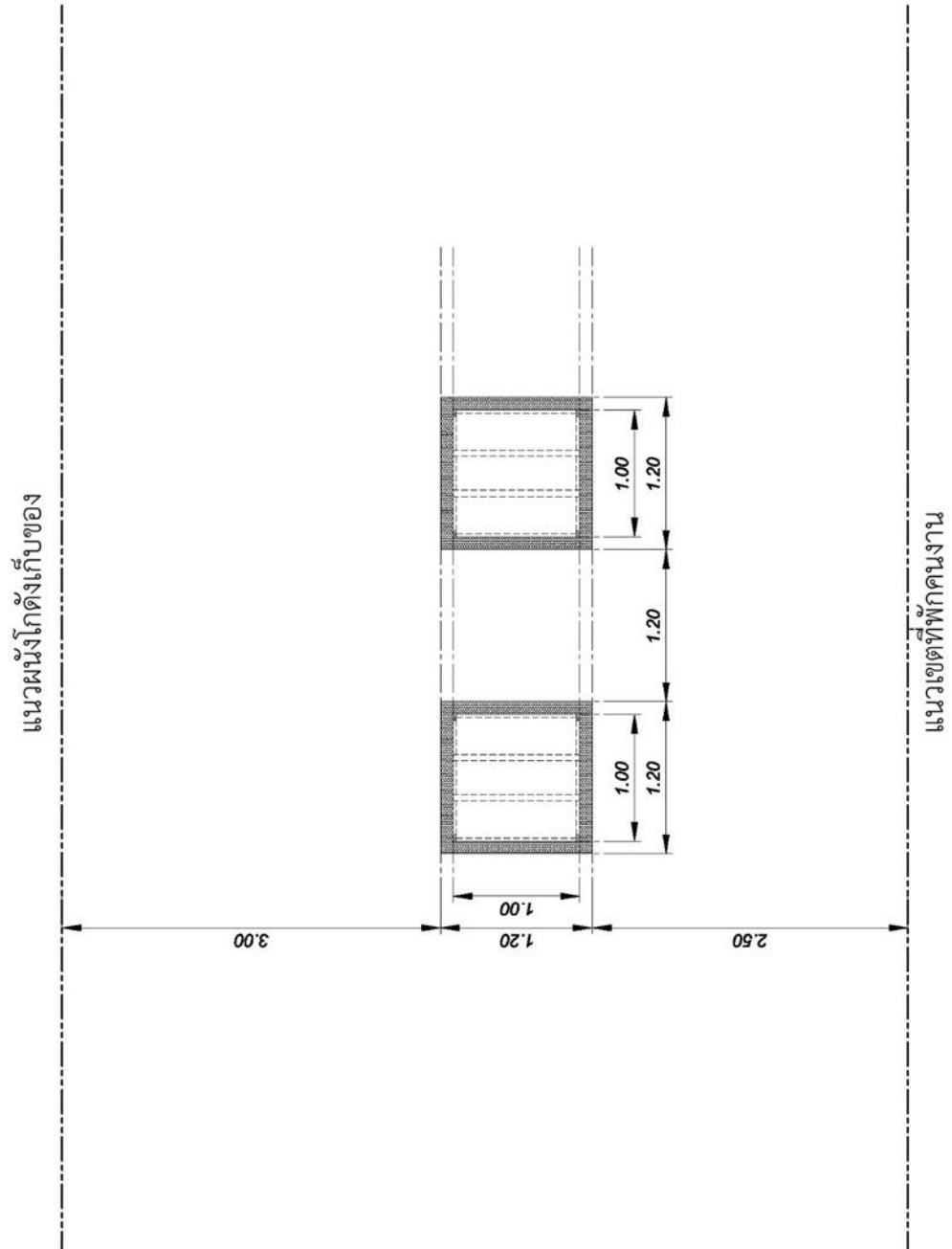
การทดสอบการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นในการติดตั้งของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam ความหนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ในแต่ละระบบ โดยการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิในโมเดลจำลองจะติดตั้งทั้งหมด 7 ตำแหน่งและจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งทุกๆ 5 นาที เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

- ตำแหน่งที่ 1 : วัดอุณหภูมิผิวด้านบนแผ่นหลังคาโมเดลจำลอง
- ตำแหน่งที่ 2 : วัดอุณหภูมิผิวด้านล่างแผ่นหลังคาโมเดลจำลอง
- ตำแหน่งที่ 3 : วัดอุณหภูมิอากาศในช่องใต้หลังคาเหนือระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- ตำแหน่งที่ 4 : วัดอุณหภูมิผิวเหนือฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- ตำแหน่งที่ 5 : วัดอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา

- ตำแหน่งที่ 6 : วัดอุณหภูมิอากาศห้องใต้ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน
กรณีศึกษาของโมเดลจำลอง
- ตำแหน่งที่ 7 : วัดอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมภายนอก



ภาพที่ 3-27 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของโมเดลจำลองในการทดลองที่ 2



ภาพที่ 3-28 ผังการวางตำแหน่งโมเดลจำลองสำหรับการเก็บข้อมูลของการทดลองที่ 2

3) การทดลองที่ 3 : การทดสอบการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นในการติดตั้งของระบบฝ้าเพดานที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า โดยเปรียบเทียบกับระบบ T-bar

- 3.1) โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งฝ้าเพดานระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วยฉนวน EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร
- 3.2) โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นด้วยแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วยฉนวน EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว ติดตั้งด้วยระบบโครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสี ยึดแผ่นฝ้าเพดานกับโครงเคร่าเหล็กด้วยสกรูสำหรับยึดฝ้ายิปซัมบอร์ดขนาด 3 นิ้ว และแก้ไขช่องว่างระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น



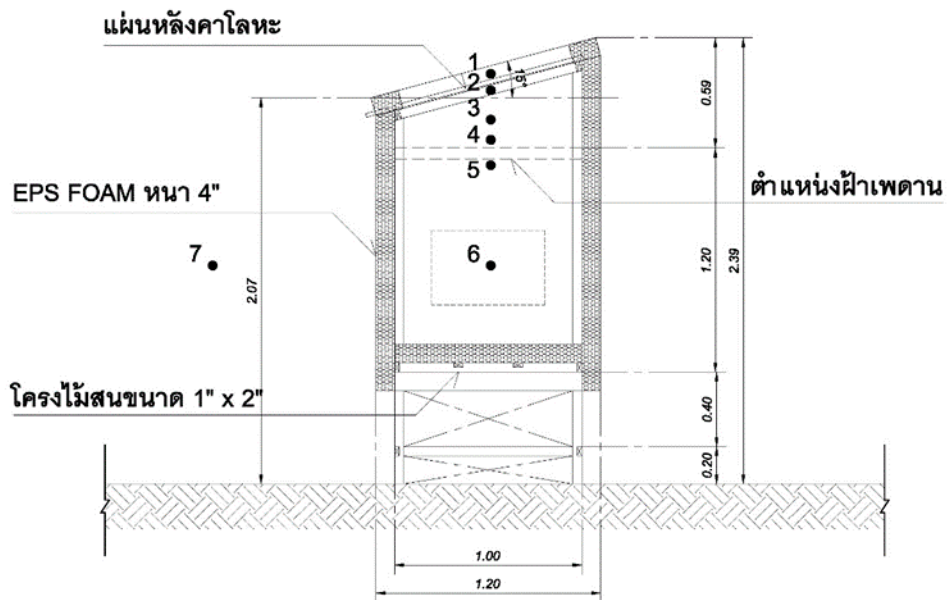
ภาพที่ 3-29 เปรียบเทียบการติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วยฉนวน EPS foam ความหนาแน่นหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว ทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบ T-bar (ซ้าย) และระบบโครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสีที่กั้นการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น (ขวา)



ภาพที่ 3-30 การติดตั้งแผ่นระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า โดยการแก้ไขช่องว่างระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น

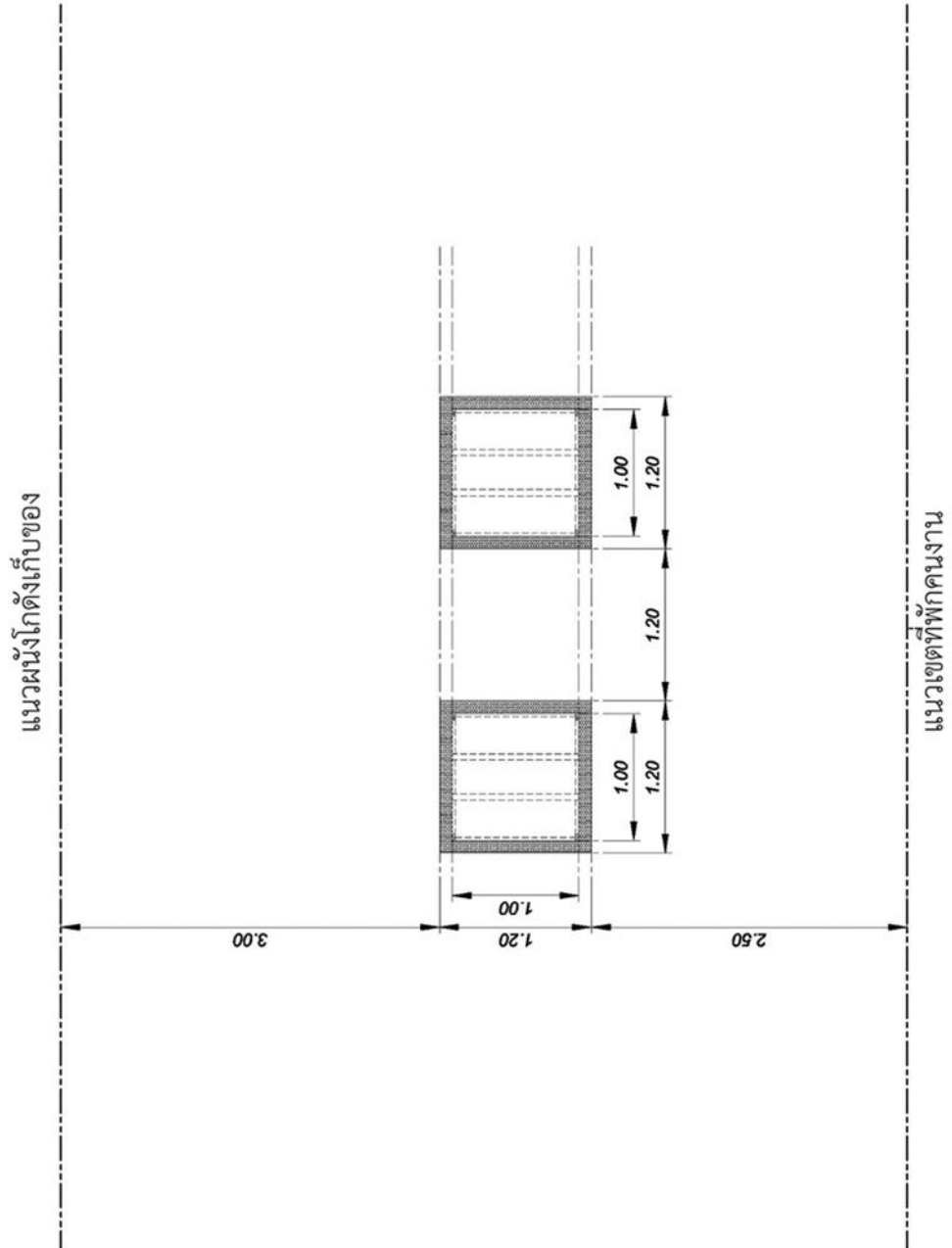
การทดสอบการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นในการติดตั้งของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วยฉนวน EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้วแต่ละระบบ โดยการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิในโมเดลจำลองจะติดตั้งทั้งหมด 7 ตำแหน่งและจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งทุกๆ 5 นาที เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง

- ตำแหน่งที่ 1 : วัดอุณหภูมิผิวด้านบนแผ่นหลังคาโมเดลจำลอง
- ตำแหน่งที่ 2 : วัดอุณหภูมิผิวด้านล่างแผ่นหลังคาโมเดลจำลอง
- ตำแหน่งที่ 3 : วัดอุณหภูมิอากาศในช่องใต้หลังคาเหนือระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- ตำแหน่งที่ 4 : วัดอุณหภูมิผิวเหนือฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- ตำแหน่งที่ 5 : วัดอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- ตำแหน่งที่ 6 : วัดอุณหภูมิอากาศห้องใต้ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาของโมเดลจำลอง
- ตำแหน่งที่ 7 : วัดอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมภายนอก



ภาพที่ 3-31 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของโมเดลจำลองในการทดลองที่ 3





ภาพที่ 3-32 ผังการวางตำแหน่งโมเดลจำลองสำหรับการเก็บข้อมูลของการทดลองที่ 3

4) การทดลองที่ 4 : การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาดกับระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า ประกอบด้วยโมเดลจำลองจำนวน 3 ชุด ดังนี้

4.1) โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว ความหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร

4.2) โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งฝ้าเพดานระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาด EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร

4.3) โมเดลจำลองหลังคาที่ติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความหนา 2 นิ้ว ติดตั้งด้วยระบบโครงโครงเหล็กชุบสังกะสี ยึดแผ่นฝ้าเพดานกับโครงเหล็กด้วยสกรูสำหรับยึดฝ้ายิปซัมบอร์ดขนาด 3 นิ้ว และแก้ไขช่องว่างระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น



ภาพที่ 3-33 ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนใยแก้ว ความหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร



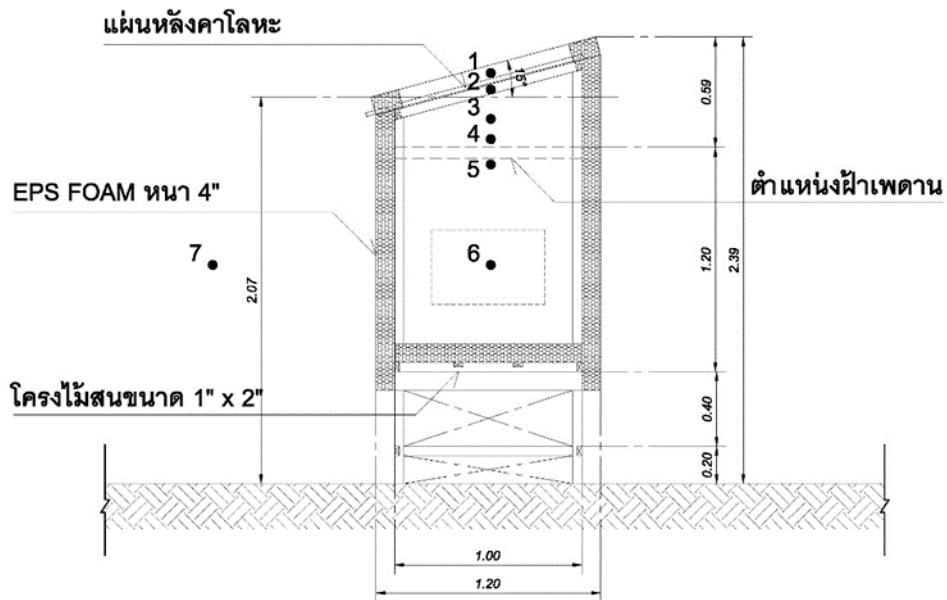
ภาพที่ 3-34 ฝ้าเพดานระบบ T-bar ด้วยแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาด EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร



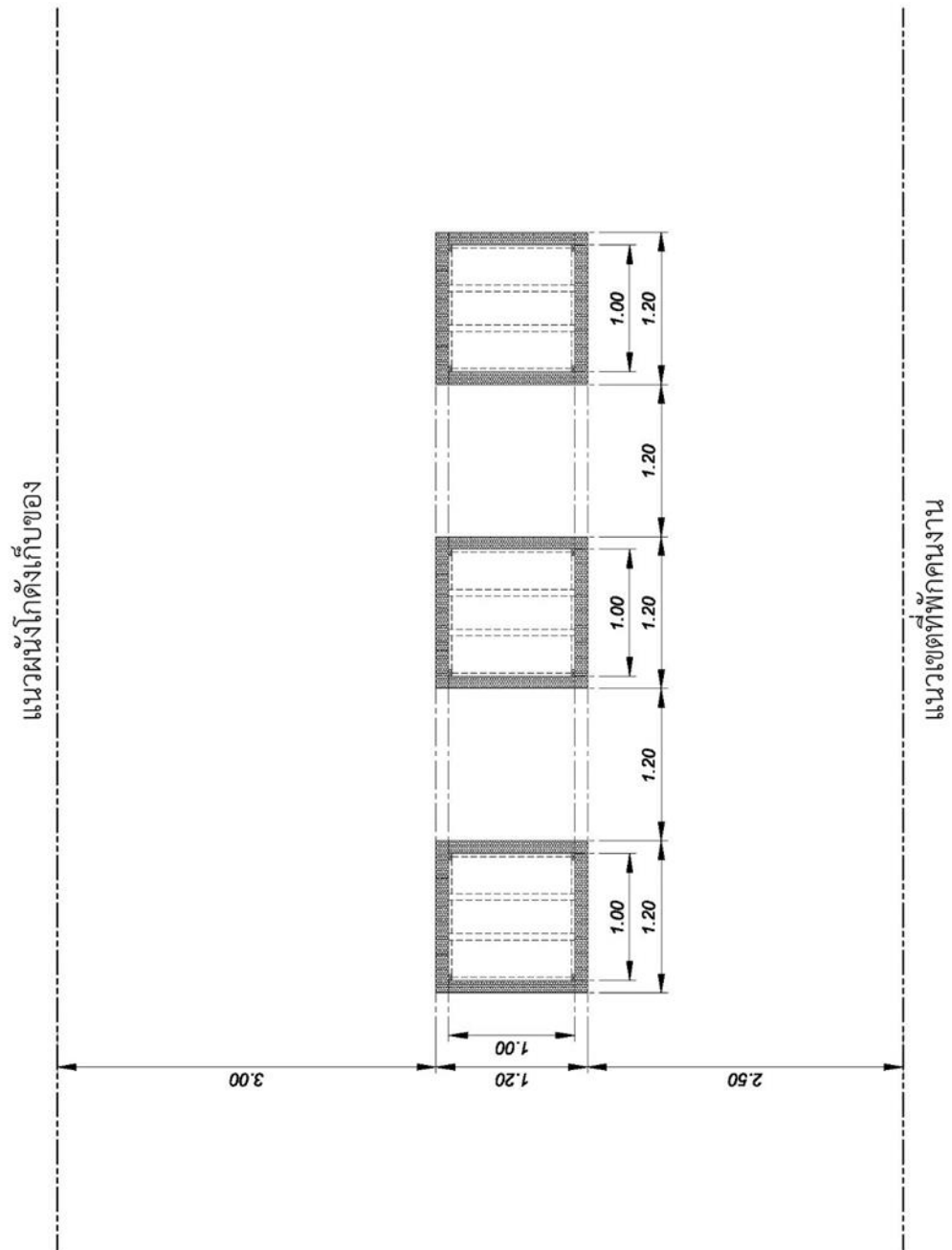
ภาพที่ 3-35 ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า ด้วยแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความหนา 2 นิ้ว ติดตั้งด้วยระบบโครงโครงเหล็กชุบสังกะสี ยึดแผ่นฝ้าเพดานกับโครงเหล็กด้วยสกรูดำสำหรับยึดฝ้ายิปซัมบอร์ดขนาด 3 นิ้ว และแก้ไขช่องว่างระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น

การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาดกับระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่น ในการติดตั้งหั่ววัดอุณหภูมิในโมเดลจำลองจะติดตั้งทั้งหมด 5 ตำแหน่ง โดยจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งทุกๆ 5 นาที เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง

- ตำแหน่งที่ 1 : วัดอุณหภูมิอากาศในช่องใต้หลังคาเหนือระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- ตำแหน่งที่ 2 : วัดอุณหภูมิผิวเหนือฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- ตำแหน่งที่ 3 : วัดอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- ตำแหน่งที่ 4 : วัดอุณหภูมิอากาศห้องใต้ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาของโมเดลจำลอง
- ตำแหน่งที่ 5 : วัดอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมภายนอก



ภาพที่ 3-36 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของโมเดลจำลองในการทดลองที่ 4



ภาพที่ 3-37 แสดงการวางตำแหน่งโมเดลจำลองทั้ง 3 ชุด ณ บริเวณที่ตั้งการทดลองที่ 4

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองชุดที่ 1 การทดลองหาการรั่วซึมของความร้อนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าฉนวนใยแก้วโดยเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งในระบบ T-bar กับระบบที่อุดรอยรั่วของความร้อนในการติดตั้ง

การติดตั้งฝ้าเพดานที่มีอยู่ในท้องตลาด ในการทดลองนี้เลือกระบบฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) เป็นกรณีศึกษา โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นหลังคาของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิอากาศในช่องใต้หลังคาของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิผิวบนของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิอากาศภายนอกโมเดลจำลอง

4.1.1 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว ระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558

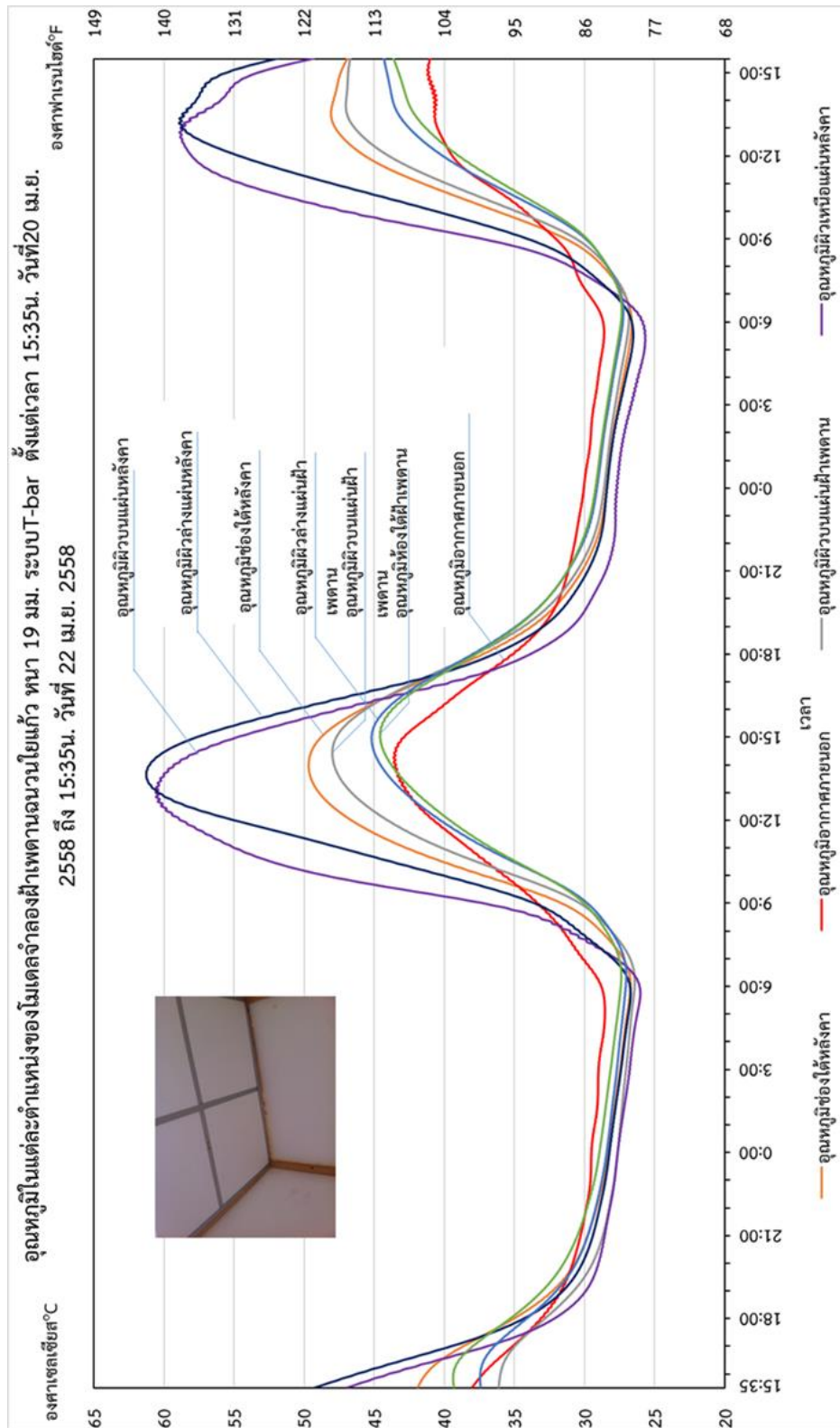
จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบ T-bar (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ตลอด 48 ชั่วโมง พบว่าช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. แผ่นหลังคาโลหะของโมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ส่งผลให้มีอุณหภูมิของผิวบนแผ่นหลังคาสูงที่สุดประมาณ $61 \text{ }^\circ\text{C}$ การถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาสู่ภายในห้องใต้หลังคามีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ประมาณ 2 ชั่วโมง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานในช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดประมาณ $45 \text{ }^\circ\text{C}$ ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วประมาณ $0.6 \text{ }^\circ\text{C}$ และต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นหลังคาโลหะประมาณ $13 \text{ }^\circ\text{C}$ แต่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $1 \text{ }^\circ\text{C}$ (ดูภาพที่ 4-1)

ในช่วงเวลา 21.20 น. - 7.00 น. อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิตำแหน่งอื่นๆ โดยที่อุณหภูมิผิวบนของ

แผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดเนื่องจากมีมวลสารน้อย ประกอบกับได้รับรังสีความเย็นจากท้องฟ้าจึงทำให้ผิวของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าตำแหน่งอื่นๆ

ที่เวลา 6.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าต่ำที่สุดประมาณ 27 °C สูงกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วประมาณ 0.4 °C และสูงกว่าอุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาโลหะประมาณ 1 °C แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 2 °C หลังจากโมเดลจำลองได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 12.20 น. ของวันถัดไปที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานเริ่มมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก (ดูภาพที่ 4-1)



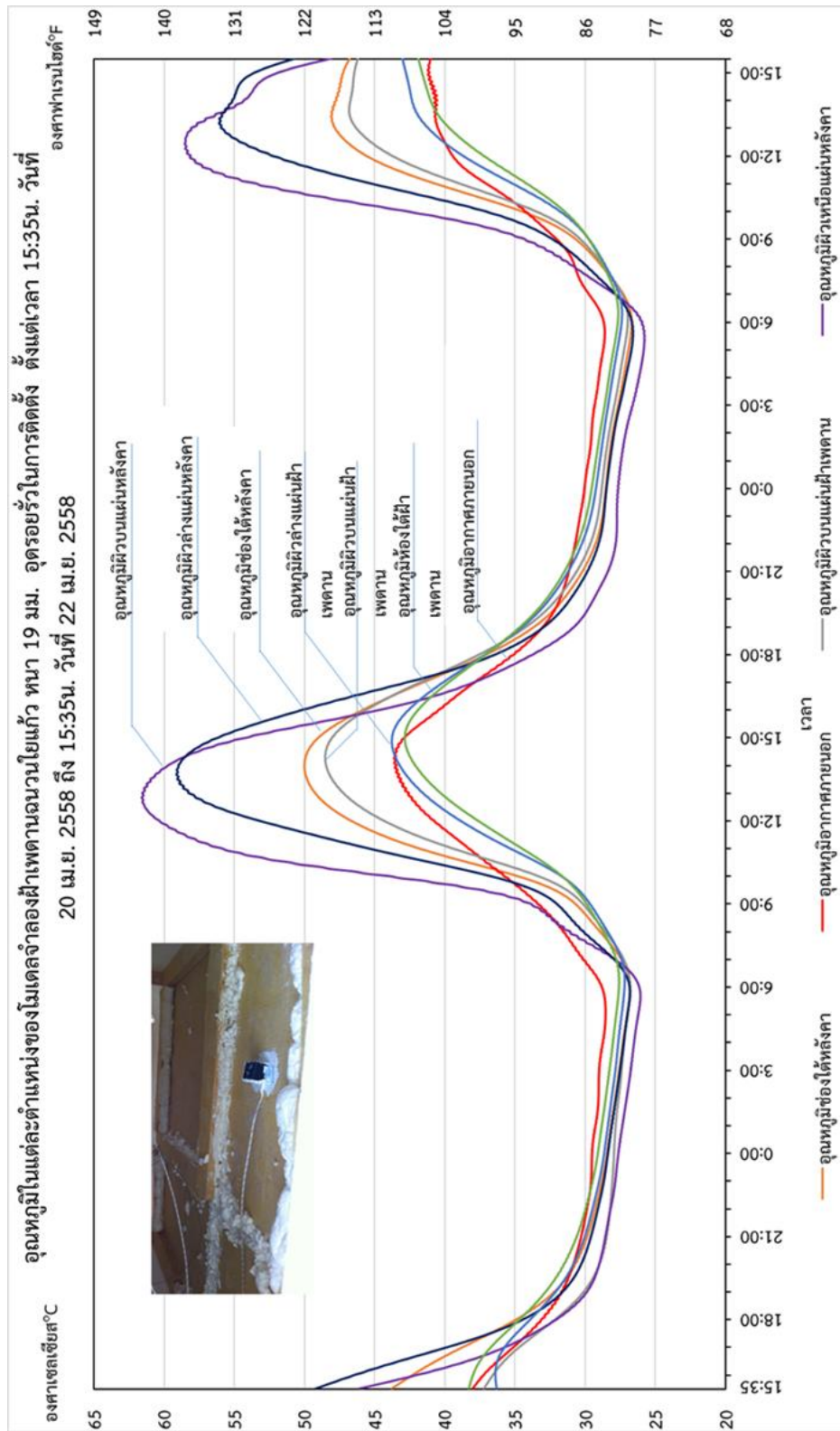


ภาพที่ 4-1 อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558

4.1.2 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วโดยอุตรอยรั้วในการติดตั้ง ตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558

จากผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากโมเดลจำลองตลอด 48 ชั่วโมง พบว่าช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. แผ่นหลังคาโลหะของโมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ส่งผลให้มีอุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาสูงที่สุดประมาณ 62 °C การถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาสู่ภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ประมาณ 2 ชั่วโมง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานในช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดประมาณ 43 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วประมาณ 0.8 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นหลังคาโลหะประมาณ 12 °C และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1 °C จนถึงเวลาประมาณ 15.15 น. หลังจากเวลา 15.15 น. อุณหภูมิอากาศของห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 21.20 น. อุณหภูมิภายในห้องใต้ฝ้าเพดานก็ค่อยๆ ลดลงและมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกจนถึงเวลาประมาณ 12.00 น. ของวันถัดไป (ดูภาพที่ 4-2)

ในช่วงเวลาประมาณ 21.35 - 7.00 น. อุณหภูมิอากาศของห้องใต้เพดานมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิตำแหน่งอื่นๆ โดยที่อุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดเนื่องจากมีมวลสารน้อย ประกอบกับได้รับรังสีความเย็นจากท้องฟ้าจึงทำให้ผิวบนของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิต่ำกว่าตำแหน่งอื่นๆ อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองค่อยๆ ลดลงและมีอุณหภูมิต่ำที่สุดในช่วงเวลา 6.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าต่ำที่สุดประมาณ 27 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วประมาณ 0.5 °C แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 2 °C เมื่อโมเดลจำลองเริ่มได้รับอิทธิพลความร้อนจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานก็ค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 13.50 น. ของวันถัดไปที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานเริ่มมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก (ดูภาพที่ 4-2)



ภาพที่ 4-2 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ที่อุตรอยรั้วในการติดตั้ง ตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558

4.1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนของโมเดลจำลองแต่ละกรณีศึกษาในการทดลองที่ 1

1) อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วของโมเดลจำลองทั้ง 2 ชุดมาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนสู่ห้องใต้ฝ้าเพดาน ได้ผลสรุปว่าในช่วงเวลากลางวันจนถึงหัวค่ำเวลาประมาณ 9.00 - 19.45 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วระบบ T-bar (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) โดยที่ช่วงเวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่สุดของวันจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) การติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วโดยการอุดรอยรั่วระหว่างการติดตั้งสามารถลดอุณหภูมิที่ผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนลงได้สูงสุดประมาณ $1.6 \text{ }^\circ\text{C}$ สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $1.4 \text{ }^\circ\text{C}$ (ดูภาพที่ 4-3)

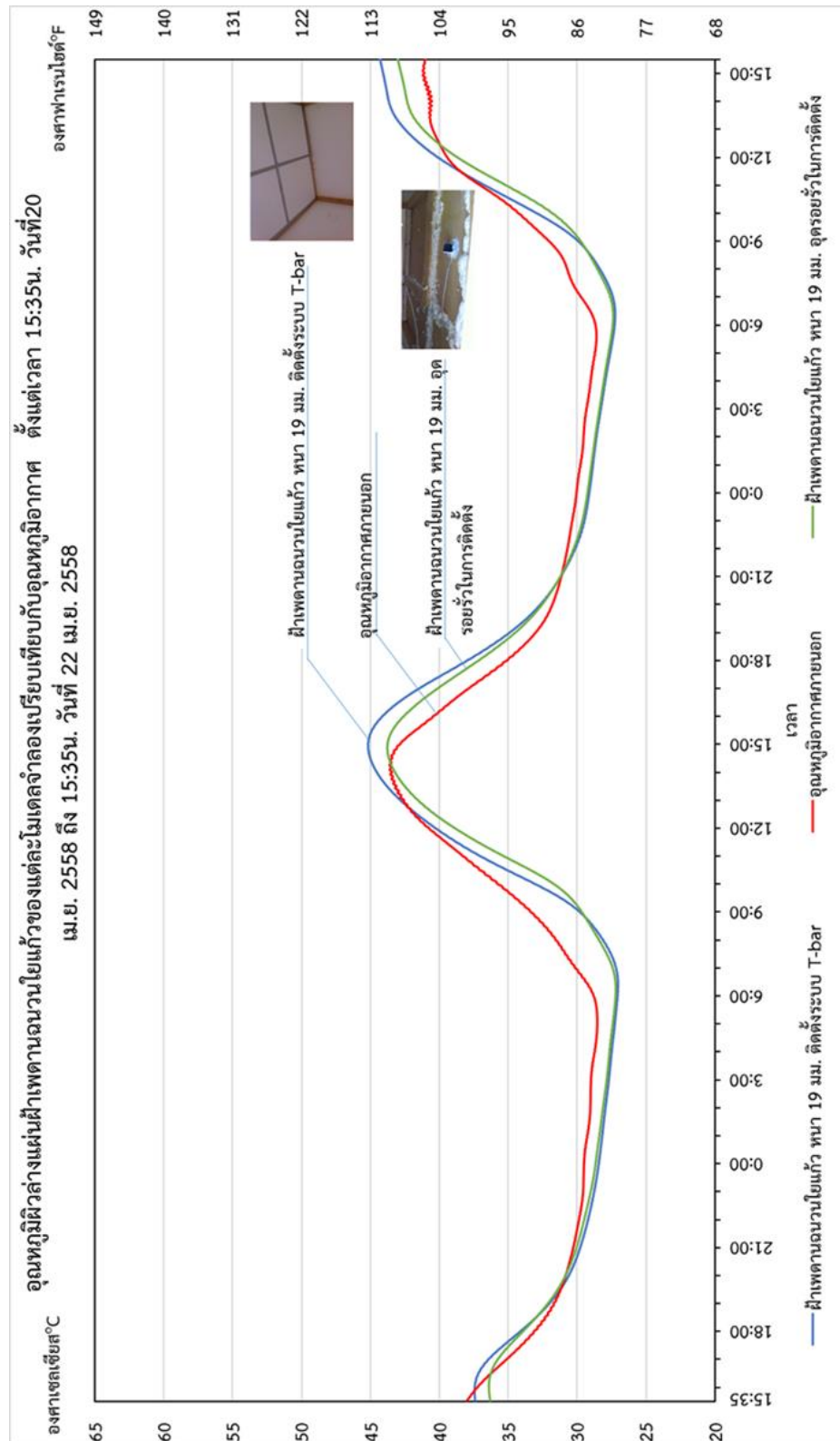
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตรของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 14.30-15.30 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2558

วันที่	เวลา	อุณหภูมิผิวล่างแผ่นฝ้าเพดาน		อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^\circ\text{C}$)	ผลต่างอุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)	
		ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. ระบบ T-bar ($^\circ\text{C}$)	ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้ง ($^\circ\text{C}$)		ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้ง เทียบกับระบบ T-bar ($^\circ\text{C}$)	ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้ง เทียบกับอุณหภูมิอากาศ ($^\circ\text{C}$)
21/4/2015	14:30	45.2	43.8	44	-1.4	-0.2
21/4/2015	14:35	45.2	43.8	43.5	-1.4	0.3
21/4/2015	14:40	45.1	43.9	43.5	-1.2	0.4
21/4/2015	14:45	45.2	43.9	44	-1.3	-0.1
21/4/2015	14:50	45.4	44	44	-1.4	0
21/4/2015	14:55	45.3	44.1	44	-1.2	0.1
21/4/2015	15:00	45.4	44.1	43.5	-1.3	0.6
21/4/2015	15:05	45.6	44.1	44	-1.5	0.1
21/4/2015	15:10	45.6	44.1	43.5	-1.5	0.6
21/4/2015	15:15	45.5	44	43	-1.5	1
21/4/2015	15:20	45.5	44	42.5	-1.5	1.5
21/4/2015	15:25	45.4	44	42.5	-1.4	1.5
21/4/2015	15:30	45.5	43.9	42.5	-1.6	1.4

ในช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลาประมาณ 19.45 - 9.00 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่น

ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่ใกล้เคียงกับโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วระบบ T-bar (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) โดยที่โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานระบบอุดรอยรั่วในการติดตั้งมีอุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อยประมาณ $0.2 \text{ }^\circ\text{C} - 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ และมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลาประมาณ 19.45 - 14.35 น. โดยมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุด $4.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ในเวลาประมาณ 10.00 น. ส่วนโมเดลจำลองที่ติดตั้งระบบ T-bar มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลาประมาณ 19.40 - 12.40 น. โดยมีอุณหภูมิแตกต่างกันที่สุด $3.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ในเวลาประมาณ 9.10 น. (ดูภาพที่ 4-3)





ภาพที่ 4-3 อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558

2) อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

ในช่วงเวลากลางวันจนถึงหัวค่ำเวลาประมาณ 9.00 - 19.30 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วระบบ T-bar (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ในช่วงเวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของวันจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) การติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วโดยการอุดรอยรั่วระหว่างการติดตั้งสามารถลดอุณหภูมิที่ห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนลงได้สูงสุดประมาณ $1.9 \text{ }^\circ\text{C}$ และมีค่าใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอก (สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $0.6 \text{ }^\circ\text{C}$) (ดูภาพที่ 4-4)

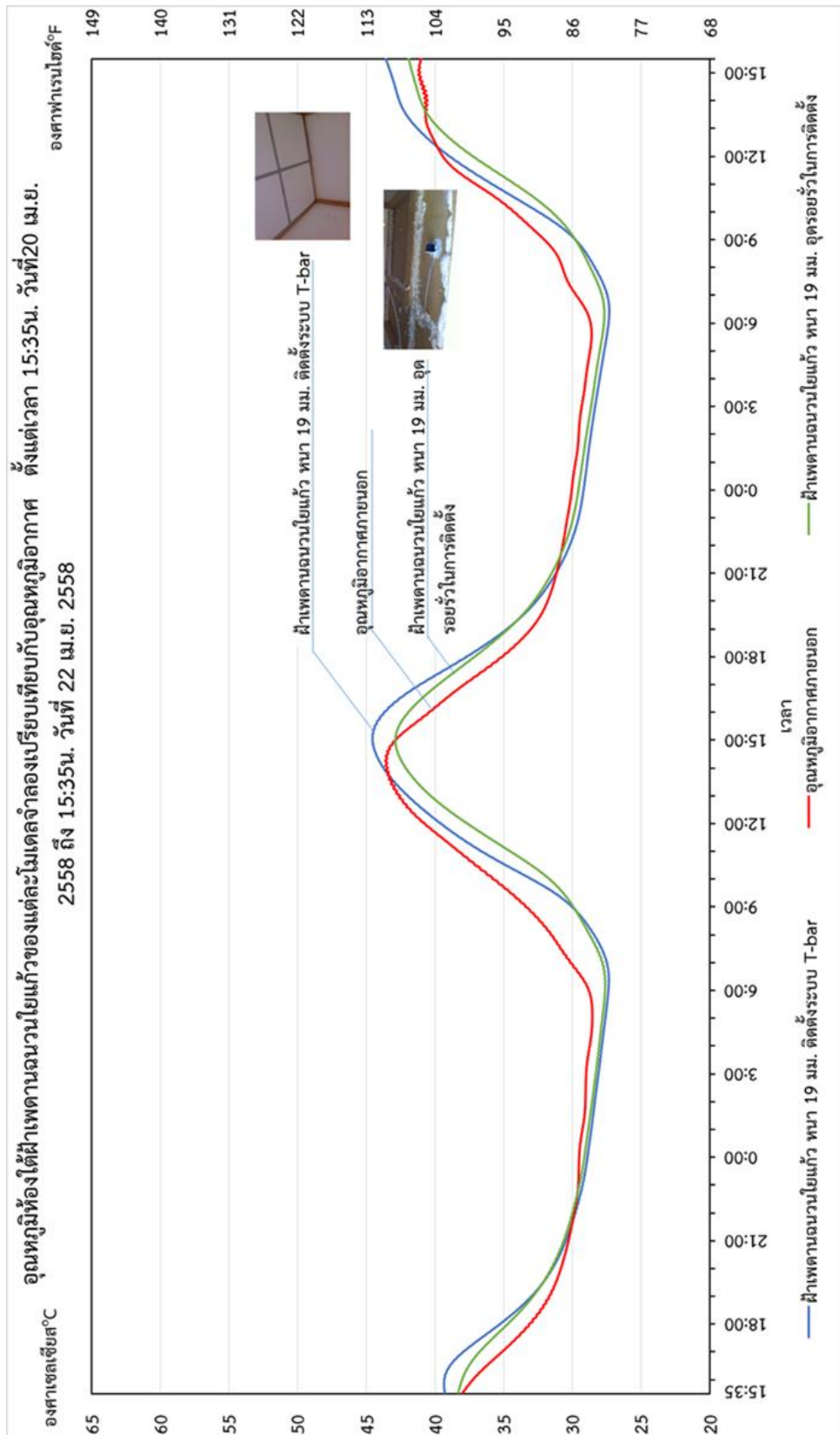
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตรของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 14.30 - 15.30 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2558

วันที่	เวลา	อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดาน		อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^\circ\text{C}$)	ผลต่างอุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)	
		ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. ระบบ T-bar ($^\circ\text{C}$)	ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้ง ($^\circ\text{C}$)		ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้งเทียบกับระบบ T-bar ($^\circ\text{C}$)	ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้งเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ($^\circ\text{C}$)
21/4/2015	14:30	44.4	42.7	44	-1.7	-1.3
21/4/2015	14:35	44.5	42.8	43.5	-1.7	-0.7
21/4/2015	14:40	44.4	43	43.5	-1.4	-0.5
21/4/2015	14:45	44.5	43	44	-1.5	-1
21/4/2015	14:50	44.7	43.1	44	-1.6	-0.9
21/4/2015	14:55	44.6	43.2	44	-1.4	-0.8
21/4/2015	15:00	44.8	43.2	43.5	-1.6	-0.3
21/4/2015	15:05	45	43.3	44	-1.7	-0.7
21/4/2015	15:10	45	43.2	43.5	-1.8	-0.3
21/4/2015	15:15	44.9	43.2	43	-1.7	0.2
21/4/2015	15:20	45	43.2	42.5	-1.8	0.7
21/4/2015	15:25	44.9	43.1	42.5	-1.8	0.6
21/4/2015	15:30	45	43.1	42.5	-1.9	0.6

ในช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลาประมาณ 19.30 - 9.00 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่ใกล้เคียงกับโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วระบบ T-bar (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) โดยที่โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานระบบอุดรอยรั่วในการติดตั้งมีอุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อยประมาณ $0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ และมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลาประมาณ 22.10

- 15.15 น. โดยมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุดประมาณ 4.3 °C ในเวลาประมาณ 10.00 น. ส่วนโมเดลจำลองที่ติดตั้งระบบ T-bar มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลาประมาณ 21.45 - 13.50 น. โดยมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุดประมาณ 3.9 °C ที่เวลาประมาณ 9.35 น. (ดูภาพที่ 4-4)





ภาพที่ 4-4 อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ตั้งแต่เวลา 15.35 น. ของวันที่ 20 เมษายน 2558 ถึงเวลา 15.35 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558

4.2 ผลการทดลองชุดที่ 2 การทดลองหาการรั่วซึมความร้อนผ่านรอยต่อในการติดตั้งของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam ในแต่ละระบบโดยเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งระบบ T-bar กับระบบที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง

การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมความร้อนผ่านรอยต่อในการติดตั้งแผ่นฝ้าเพดาน โดยทดสอบจากระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่มีอยู่ในท้องตลาด ในการทดลองนี้เลือกระบบฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{Btu}$) เป็นกรณีศึกษา โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองดังนี้

- อุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นหลังคาของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิผิวบนของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิอากาศภายนอกโมเดลจำลอง

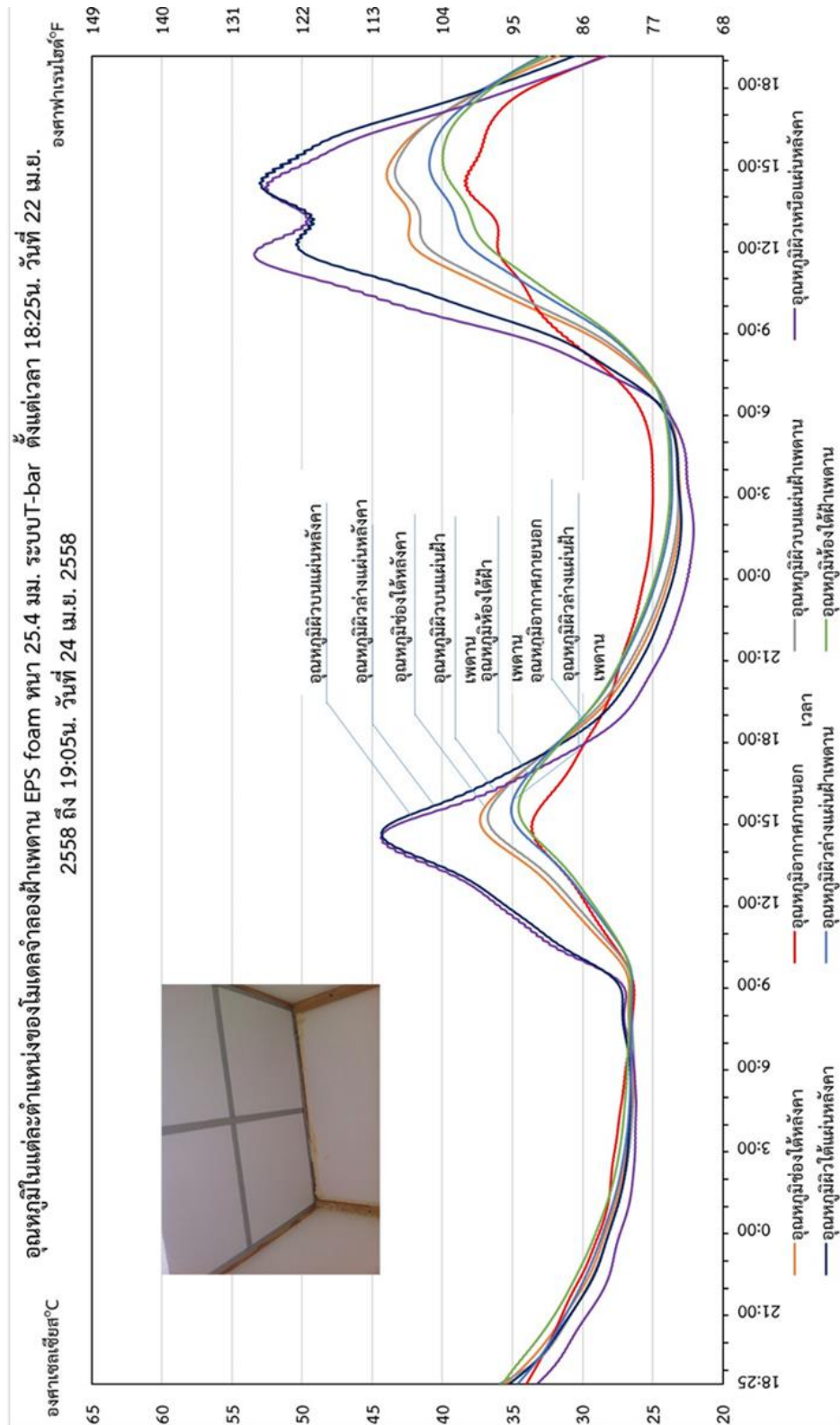
4.2.1 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558

จากผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากโมเดลจำลองตลอด 48 ชั่วโมง พบว่าช่วงเวลา 14.00 -15.00 น. แผ่นหลังคาโลหะของโมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์มากที่สุด ส่งผลให้มีอุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาสูงที่สุดประมาณ 57 °C การถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาสู่ภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ประมาณ 1 ชั่วโมง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานในช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดประมาณ 40 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam ประมาณ 1.1 °C และต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นหลังคาโลหะประมาณ 7.7 °C แต่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 2.8 °C (ดูภาพที่ 4-5)

ในช่วงเวลากลางคืนเวลาประมาณ 20.45 - 6.20 น. อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิตำแหน่งอื่นๆ โดยที่อุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดเพราะมีมวลสารน้อย ประกอบกับได้รับรังสีความเย็นจากท้องฟ้า จึงทำให้ผิวของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าตำแหน่งอื่นๆ และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมากที่สุดถึง 2.8 °C

เวลา 2.50 น. อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าต่ำที่สุดประมาณ 24 °C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam (สูงกว่าประมาณ 0.1 °C - 0.3 °C) และสูงกว่าอุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาโลหะประมาณ 1.5 °C แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1.3 °C เมื่อโมเดลจำลองเริ่มได้รับอิทธิพลความร้อนจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานก็ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 12.10 น. ของวันถัดไปที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานเริ่มมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก (ดูภาพที่ 4-5)



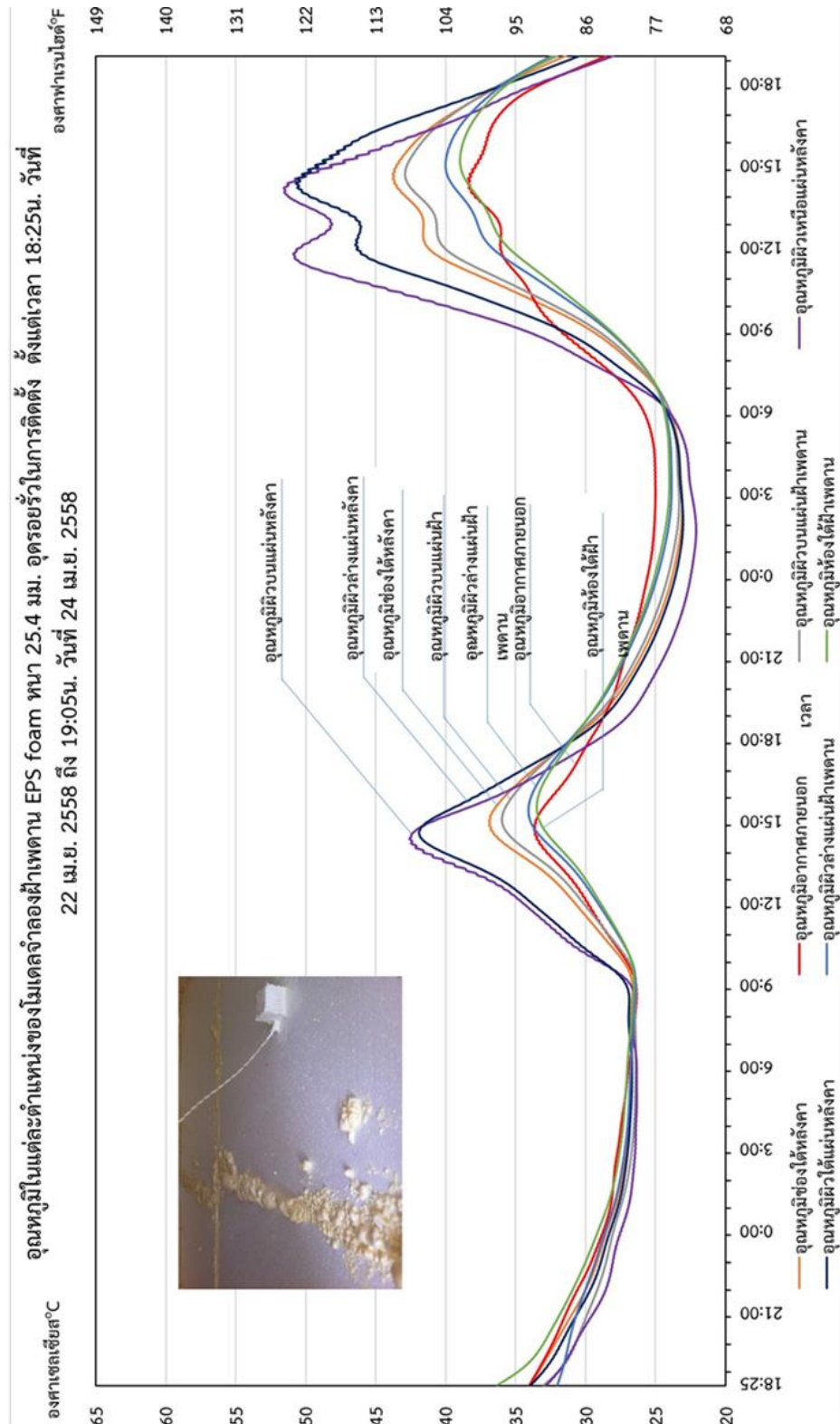


ภาพที่ 4-5 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวน EPS foam ทหนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-bar ตั้งแต่วันที่ 22 เมษายน 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558

4.2.2 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรอุตรอยรั้วในการติดตั้ง ตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึง เวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558

จากผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากโมเดลจำลองตลอด 48 ชั่วโมง พบว่าช่วงเวลา 14.00 - 15.00 น. แผ่นหลังคาโลหะของโมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์มากที่สุด ส่งผลให้มีอุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาสูงที่สุดประมาณ 57 °C การถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาสู่ภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ประมาณ 1 ชั่วโมง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานในช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดประมาณ 39 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam ประมาณ 1 °C และต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นหลังคาโลหะประมาณ 7.1 °C แต่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1.9 °C (ดูภาพที่ 4-6)

ในช่วงเวลากลางคืนเวลาประมาณ 21.00 - 6.30 น. อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิตำแหน่งอื่นๆ โดยที่อุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดเนื่องจากมีมวลสารน้อย ประกอบกับได้รับรังสีความเย็นจากท้องฟ้าจึงทำให้ผิวของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิต่ำกว่าตำแหน่งอื่นๆ และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมากที่สุดถึง 3 °C อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองค่อยๆ ลดลงและมีอุณหภูมิต่ำที่สุดในเวลาประมาณ 2.50 น. อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าต่ำที่สุดประมาณ 24 °C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam (สูงกว่าประมาณ 0.1 °C - 0.2 °C) และสูงกว่าอุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาโลหะ 1.6 °C แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1 °C เมื่อโมเดลจำลองเริ่มได้รับอิทธิพลความร้อนจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานก็ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 12.10 น. ของวันถัดไปที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานเริ่มมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก (ดูภาพที่ 4-6)



ภาพที่ 4-6 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร อุดรอยรั่วในการติดตั้ง ตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558

4.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนของโมเดลจำลองแต่ละกรณีศึกษาในการทดลองที่ 2

1) อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

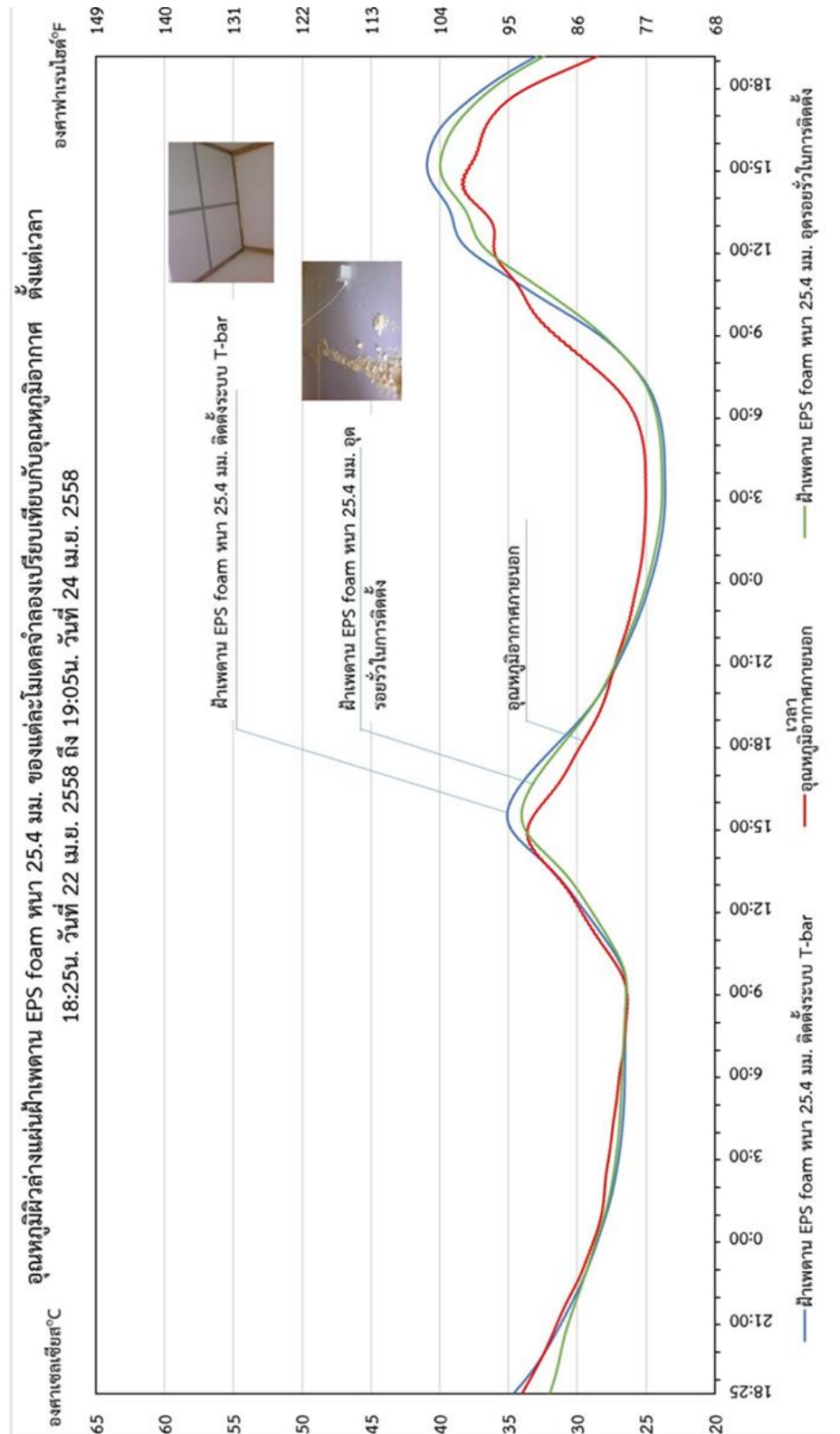
เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรของโมเดลจำลองทั้ง 2 ชุดมาเปรียบเทียบกันเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนสู่ห้องใต้ฝ้าเพดาน ได้ผลสรุปว่าในช่วงเวลากลางวันจนถึงหัวค่ำเวลาประมาณ 9.00 - 19.30 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) โดยที่ช่วงเวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของวันจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ฝ้าเพดานที่อุดรอยรั่วระหว่างการติดตั้งสามารถลดอุณหภูมิที่ผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนลงได้สูงสุดประมาณ $1 \text{ }^\circ\text{C}$ แต่ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $3.1 \text{ }^\circ\text{C}$ (ดูภาพที่ 4-7)

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 14.30 - 15.30 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558

วันที่	เวลา	อุณหภูมิผิวล่างแผ่นฝ้าเพดาน		อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^\circ\text{C}$)	ผลต่างอุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)	
		ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. ระบบ T-bar ($^\circ\text{C}$)	ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้ง ($^\circ\text{C}$)		ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้ง เทียบกับระบบ T-bar ($^\circ\text{C}$)	ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้ง เทียบกับอุณหภูมิอากาศ ($^\circ\text{C}$)
24/4/2015	14:30	41	40.1	39	-0.9	1.1
24/4/2015	14:35	41.1	40.3	39.5	-0.8	0.8
24/4/2015	14:40	41.3	40.5	40	-0.8	0.5
24/4/2015	14:45	41.5	40.6	39	-0.9	1.6
24/4/2015	14:50	41.5	40.6	39	-0.9	1.6
24/4/2015	14:55	41.5	40.5	38.5	-1	2
24/4/2015	15:00	41.4	40.4	37.5	-1	2.9
24/4/2015	15:05	41.2	40.3	36.5	-0.9	3.8
24/4/2015	15:10	41.1	40.1	37	-1	3.1
24/4/2015	15:15	40.9	39.9	37.5	-1	2.4
24/4/2015	15:20	40.7	39.8	37	-0.9	2.8
24/4/2015	15:25	40.7	39.9	36.5	-0.8	3.4
24/4/2015	15:30	40.8	39.9	36.5	-0.9	3.4

ในช่วงเวลาประมาณ 19.30 - 9.00 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดาน
ฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ที่อุตรอยรั้วในการติดตั้ง (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มี
อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่ใกล้เคียงกับโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดาน
ฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) โดยที่โมเดล
จำลองที่อุตรอยรั้วในการติดตั้งมีอุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อยประมาณ $0.1 \text{ }^\circ\text{C} - 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ และมีอุณหภูมิ
อากาศภายนอกตั้งแต่เวลาประมาณ 20.45 - 12.00 น. โดยอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุด 4°C ในเวลา
ประมาณ 9.25 น. ส่วนโมเดลจำลองที่ติดตั้งระบบ T-bar มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่
เวลา 20.35 - 10.40 น. โดยอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุด $3.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ในเวลาประมาณ 9.10 น. (ดูภาพที่
4-7)





ภาพที่ 4-7 อุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558

2) อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

ในช่วงเวลากลางวันจนถึงหัวค่ำเวลา 8.45 - 19.20 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) โดยที่ช่วงเวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของวันจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ฝ้าเพดานที่อุดรอยรั่วระหว่างการติดตั้งสามารถลดอุณหภูมิที่ห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนลงได้สูงสุดประมาณ $1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ แต่ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $2.1 \text{ }^\circ\text{C}$ (ดูภาพที่ 4-8)

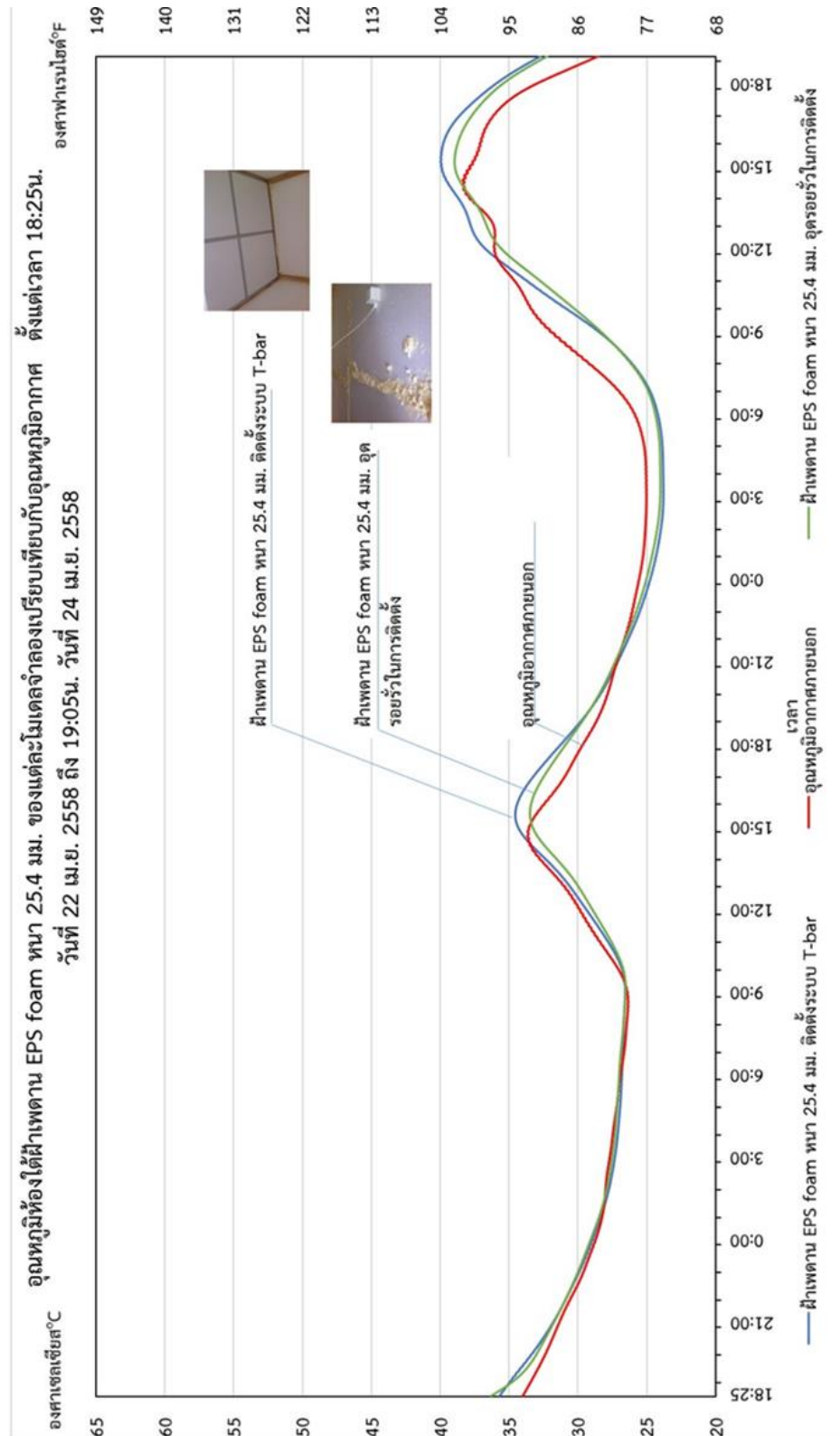
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 14.30 - 15.30 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558

วันที่	เวลา	อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดาน		อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^\circ\text{C}$)	ผลต่างอุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)	
		ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. ระบบ T-bar ($^\circ\text{C}$)	ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้ง ($^\circ\text{C}$)		ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้งเทียบกับระบบ T-bar ($^\circ\text{C}$)	ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. อุดรอยรั่วในการติดตั้งเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ($^\circ\text{C}$)
24/4/2015	14:30	39.9	38.9	39	-1	-0.1
24/4/2015	14:35	39.9	39	39.5	-0.9	-0.5
24/4/2015	14:40	40.3	39.2	40	-1.1	-0.8
24/4/2015	14:45	40.3	39.3	39	-1	0.3
24/4/2015	14:50	40.4	39.3	39	-1.1	0.3
24/4/2015	14:55	40.2	39.3	38.5	-0.9	0.8
24/4/2015	15:00	40.3	39.4	37.5	-0.9	1.9
24/4/2015	15:05	40.3	39.3	36.5	-1	2.8
24/4/2015	15:10	40.2	39.1	37	-1.1	2.1
24/4/2015	15:15	39.9	38.9	37.5	-1	1.4
24/4/2015	15:20	40	39	37	-1	2
24/4/2015	15:25	40	39.1	36.5	-0.9	2.6
24/4/2015	15:30	40	39	36.5	-1	2.5

ในช่วงเวลาประมาณ 19.25 - 8.40 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่ใกล้เคียงกับโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) โดยที่โมเดลจำลองที่อุดรอยรั่วในระหว่างการติดตั้งมีอุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อยประมาณ $0.1 \text{ }^\circ\text{C} - 0.4 \text{ }^\circ\text{C}$ และมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลาประมาณ 21.35 - 12.10 น. โดยอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุด

4.1 °C ในเวลาประมาณ 9.10 น. ส่วนโมเดลจำลองที่ติดตั้งระบบ T-bar มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลาประมาณ 20.45 - 11.50 น. โดยอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุด 4 °C ในเวลาประมาณ 9.00 น. (ดูภาพที่ 4-8)





ภาพที่ 4-8 อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 18.25 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 24 เมษายน 2558

4.3 ผลการทดลองชุดที่ 3 การทดสอบการรั่วซึมความร้อนผ่านรอยต่อในการติดตั้งระบบฝ้าเพดานที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานโดยเปรียบเทียบกับระบบ T-bar

การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมความร้อนผ่านรอยต่อในการติดตั้งแผ่นฝ้าเพดาน โดยทดสอบจากระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดาน ในการทดลองนี้เลือกระบบฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) เป็นกรณีศึกษา โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองดังนี้

- อุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นหลังคาของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิผิวบนของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิอากาศภายนอกโมเดลจำลอง

4.3.1 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้วติดตั้งระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558

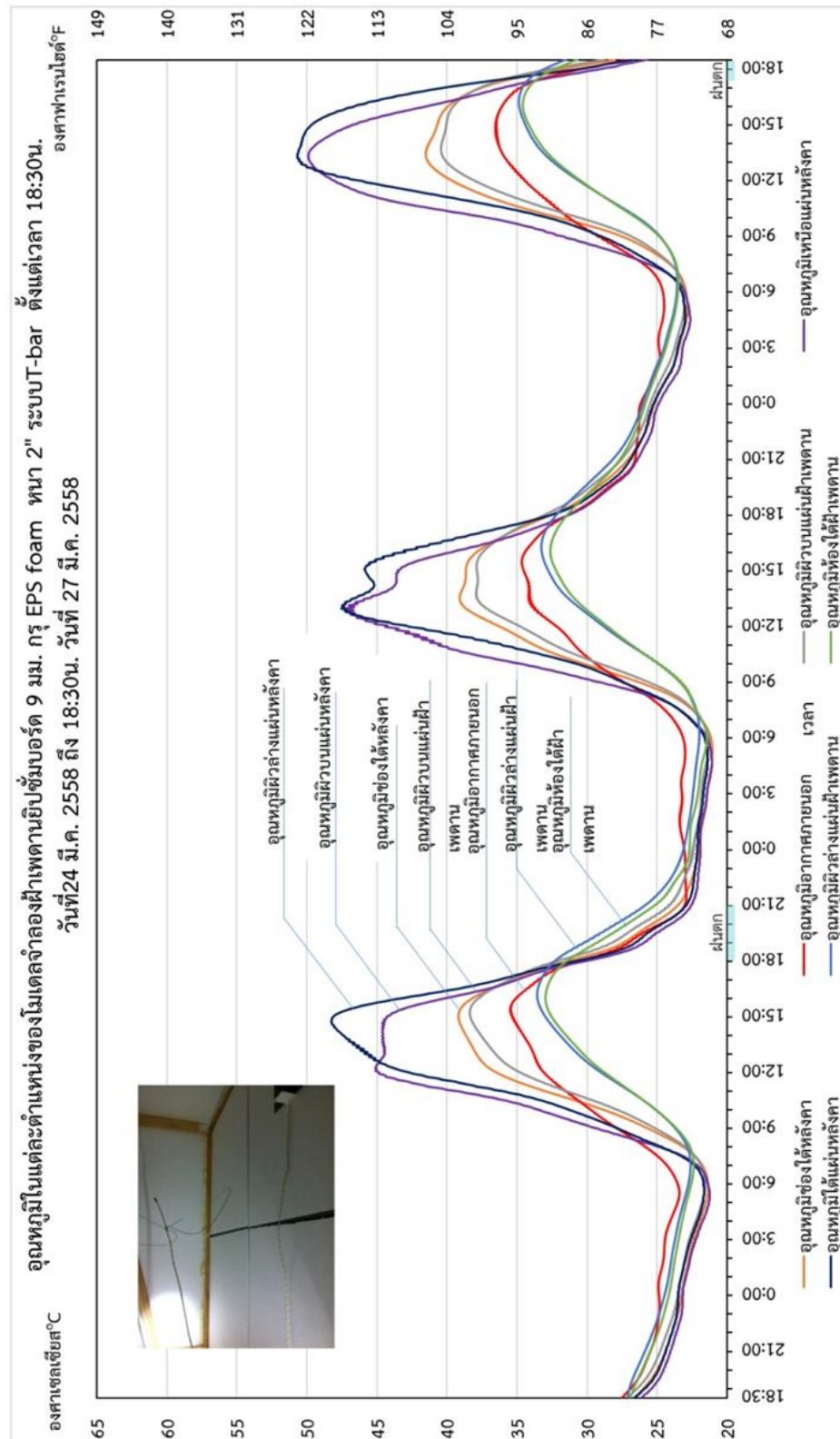
จากผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากโมเดลจำลองตลอด 72 ชั่วโมง พบว่าช่วงเวลา 13.00 - 14.00 น. แผ่นหลังคาโลหะของโมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์มากที่สุด ส่งผลให้มีอุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาสูงที่สุดประมาณ $51 \text{ }^\circ\text{C}$ การถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาสู่ภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ประมาณ 3 ชั่วโมง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานในช่วงเวลาประมาณ 16.00 น. มีค่าสูงที่สุดประมาณ $34.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนประมาณ $0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นหลังคาโลหะประมาณ $13 \text{ }^\circ\text{C}$ และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $1.2 \text{ }^\circ\text{C}$ (ดูภาพที่ 4-9)

ในช่วงเวลา 23.15 - 17.45 น. อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดาน อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิตำแหน่งอื่นๆ ตั้งแต่ช่วงเวลาประมาณ 18.35 - 6.45 น. โดยในช่วงเวลานี้ อุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดเนื่องจากมีมวลสาร

น้อย ประกอบกับได้รับรังสีความเย็นจากท้องฟ้าจึงทำให้ผิวของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าตำแหน่งอื่นๆ

เวลาประมาณ 6.15 น. อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าต่ำที่สุดประมาณ $23.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว (ต่ำกว่าประมาณ $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$) และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ หลังจากโมเดลจำลองเริ่มได้รับอิทธิพลความร้อนจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้เพดานก็ค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 17.45 น. ของวันถัดไปที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานเริ่มมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก (ดูภาพที่ 4-9)





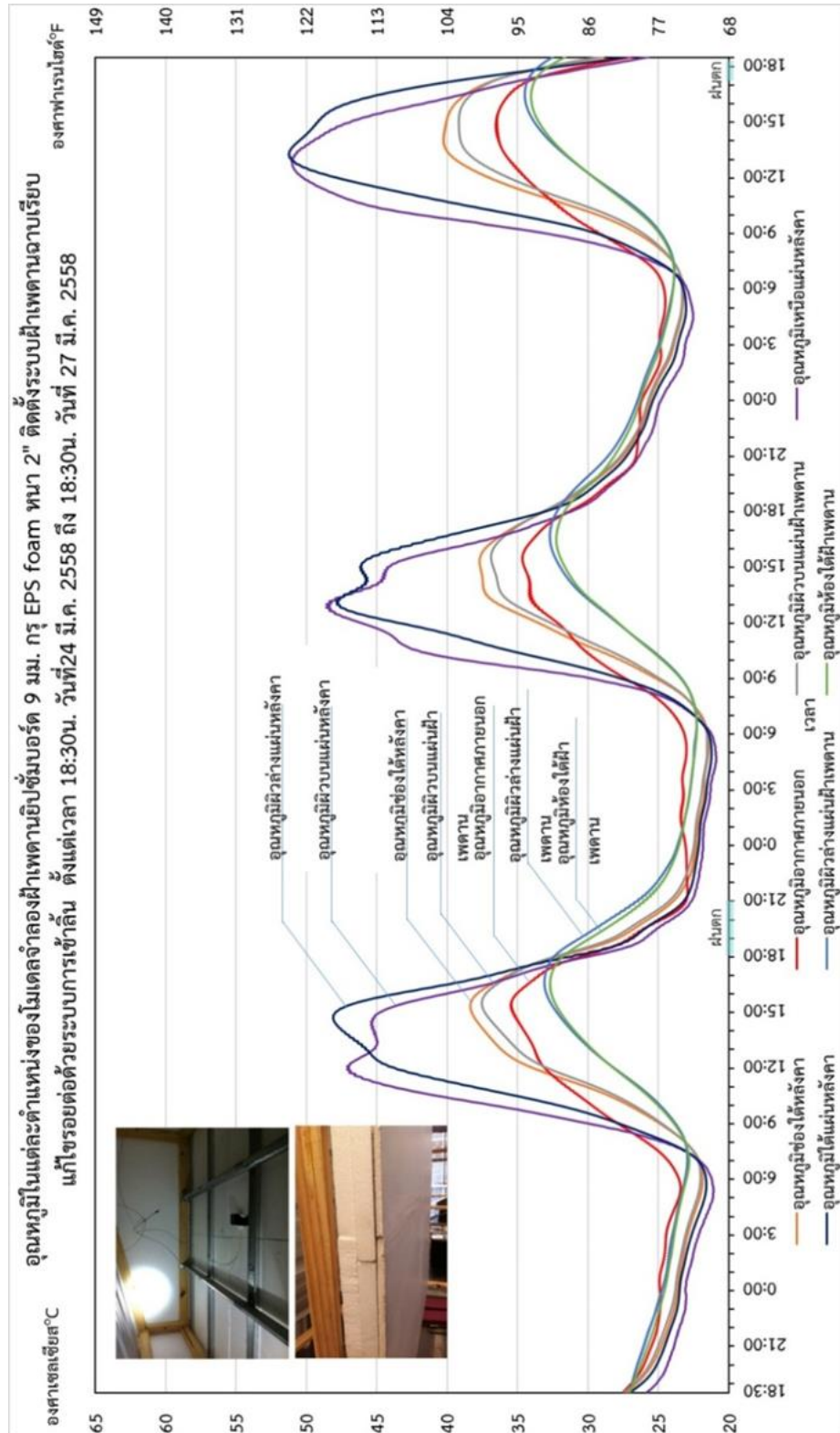
ภาพที่ 4-9 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หน้า 9 มิลลิเมตรกรูด้วย EPS foam หน้า 2 นิ้วระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 18.30 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558

4.3.2 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้นตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 19.05 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558

จากผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากโมเดลจำลองตลอด 72 ชั่วโมง พบว่าช่วงเวลา 13.00 - 14.00 น. แผ่นหลังคาโลหะของโมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์มากที่สุด ส่งผลให้มีอุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาสูงที่สุดประมาณ 52 °C การถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาสู่ภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ประมาณ 3 ชั่วโมง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานในช่วงเวลาประมาณ 16.00 น. มีค่าสูงที่สุดประมาณ 34.2 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนประมาณ 0.4 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นหลังคาโลหะประมาณ 10.1 °C และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1.3 °C (ดูภาพที่ 4-10)

ในช่วงเวลาประมาณ 2.40 - 17.45 น. อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดาน แต่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิตำแหน่งอื่นๆ ในช่วงเวลาประมาณ 17.50 - 7.10 น. ซึ่งในช่วงเวลานี้ อุณหภูมิผิวบนของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดเนื่องจากมีมวลสารน้อย ประกอบกับได้รับรังสีความเย็นจากท้องฟ้าจึงทำให้ผิวของแผ่นหลังคาโลหะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าตำแหน่งอื่นๆ

เวลาประมาณ 7.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าต่ำที่สุดประมาณ 23.8 °C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตรกรูด้วย EPS foam ความหนา 2 นิ้ว และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1.2 °C หลังจากโมเดลจำลองเริ่มได้รับอิทธิพลความร้อนจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานก็ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 17.45 น. ของวันถัดไปที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานเริ่มมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก (ดูภาพที่ 4-10)



ภาพที่ 4-10 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉาบเรียบแก้ไขรอยต่อด้วยระบบการเข้าลิ้น ตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 18.30 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558

4.3.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนของโมเดลจำลองแต่ละกรณีศึกษาในการทดลองที่ 3

1) อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

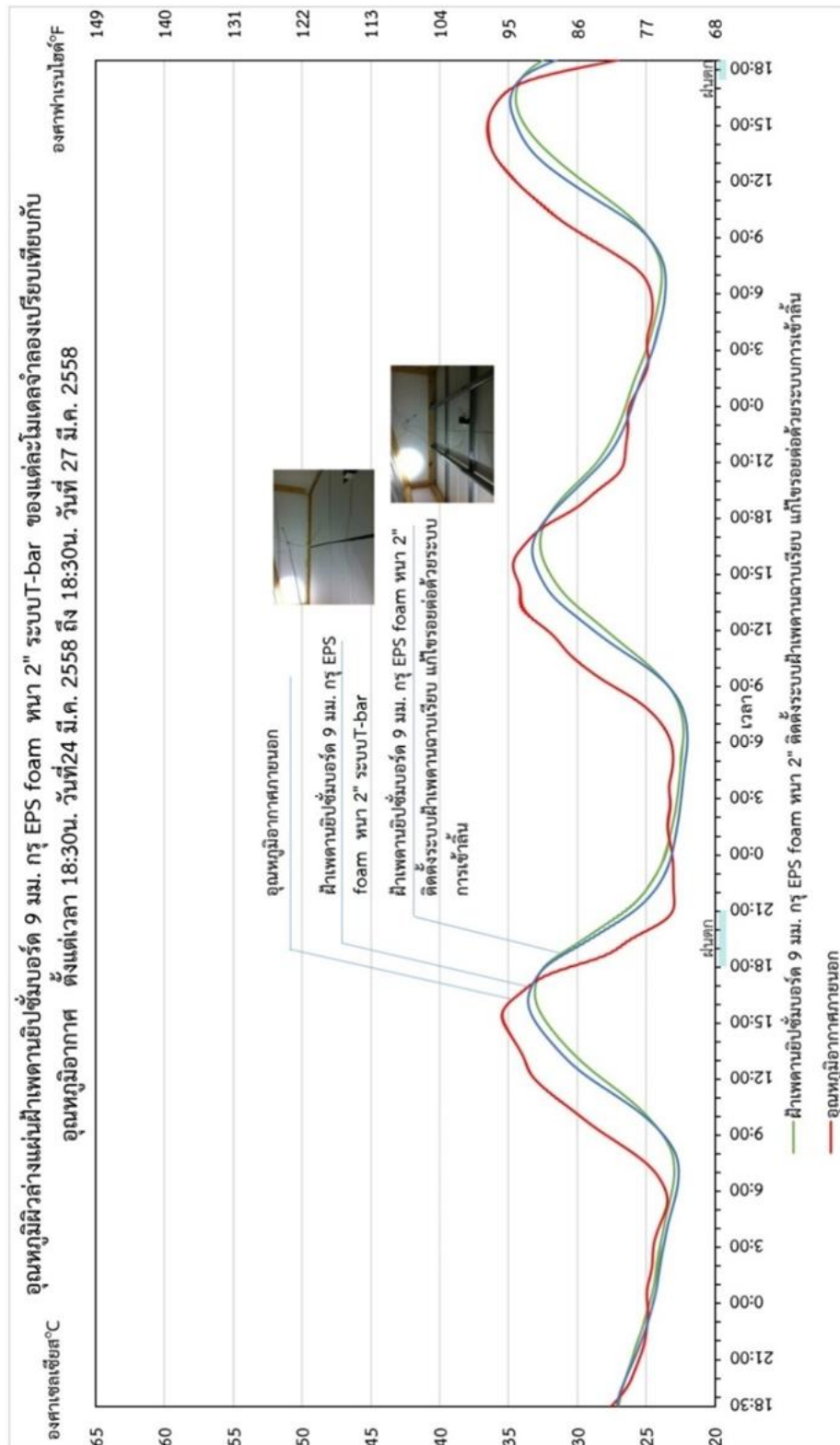
เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ของโมเดลจำลองทั้ง 2 ชุดมาเปรียบเทียบกันเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนสู่ห้องใต้ฝ้าเพดาน ได้ผลสรุปว่าในช่วงเวลากลางวันเวลาประมาณ 9.00 - 17.20 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่อุดรอยรั่วในการติดตั้ง (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วระบบ T-bar (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) โดยในช่วงเวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของวันจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ฝ้าเพดานที่อุดรอยรั่วระหว่างการติดตั้งสามารถลดอุณหภูมิที่ผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนลงได้สูงสุดประมาณ $0.8 \text{ }^\circ\text{C}$ และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $2.6 \text{ }^\circ\text{C}$ (ดูภาพที่ 4-11)

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 15.30 - 16.30 น. ของวันที่ 26 มีนาคม 2558

วันที่	เวลา	อุณหภูมิผิวล่างแผ่นฝ้าเพดาน		อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^\circ\text{C}$)	ผลต่างอุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)	
		ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" ระบบ T-bar ($^\circ\text{C}$)	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" อุดรอยรั่วในการติดตั้ง ($^\circ\text{C}$)		ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" อุดรอยรั่วในการติดตั้งเทียบกับระบบ T-bar ($^\circ\text{C}$)	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" อุดรอยรั่วในการติดตั้งเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ($^\circ\text{C}$)
26/3/2015	15:30	33.1	32.4	35	-0.7	-2.6
26/3/2015	15:35	33.2	32.4	35	-0.8	-2.6
26/3/2015	15:40	33.2	32.4	35	-0.8	-2.6
26/3/2015	15:45	33.3	32.6	35	-0.7	-2.4
26/3/2015	15:50	33.2	32.6	35	-0.6	-2.4
26/3/2015	15:55	33.3	32.7	35	-0.6	-2.3
26/3/2015	16:00	33.3	32.7	34.5	-0.6	-1.8
26/3/2015	16:05	33.5	32.7	34.5	-0.8	-1.8
26/3/2015	16:10	33.4	32.7	34.5	-0.7	-1.8
26/3/2015	16:15	33.4	32.8	34	-0.6	-1.2
26/3/2015	16:20	33.3	32.7	34	-0.6	-1.3
26/3/2015	16:25	33.3	32.8	34	-0.5	-1.2
26/3/2015	16:30	33.3	32.8	34	-0.5	-1.2

ในช่วงเวลาประมาณ 18.00 - 10.00 น. โหมดจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่อุตรอยรั้วในการติดตั้ง (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่ใกล้เคียงกับโหมดจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วระบบ T-bar (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) โดยที่โหมดจำลองที่อุตรอยรั้วในการติดตั้งมีอุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อยประมาณ $0.1 \text{ }^\circ\text{C} - 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ และมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลาประมาณ 3.00 - 17.40 น. โดยอุณหภูมิแตกต่างมากที่สุด $5.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ในเวลาประมาณ 10.00 น. ส่วนโหมดจำลองที่ติดตั้งระบบ T-bar มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลา 23.15 - 17.45 น. โดยอุณหภูมิแตกต่างมากที่สุด $5.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ในเวลาประมาณ 10.00 น. (ดูภาพที่ 4-11)





ภาพที่ 4-11 อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วของแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 18.30 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558

2) อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วของโมเดลทั้ง 2 ชุด มาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนที่ห้องใต้ฝ้าเพดาน ผลสรุปได้ว่าในช่วงเวลากลางวันเวลาประมาณ 9.25 - 17.35 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่อุตรอยรั่วในการติดตั้ง (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วระบบ T-bar (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F} / \text{Btu}$) และในช่วงเวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของวันจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ฝ้าเพดานที่อุตรอยรั่วระหว่างการติดตั้งสามารถลดอุณหภูมิที่ห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนลงได้สูงสุดประมาณ $0.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (ดูภาพที่ 4-12)

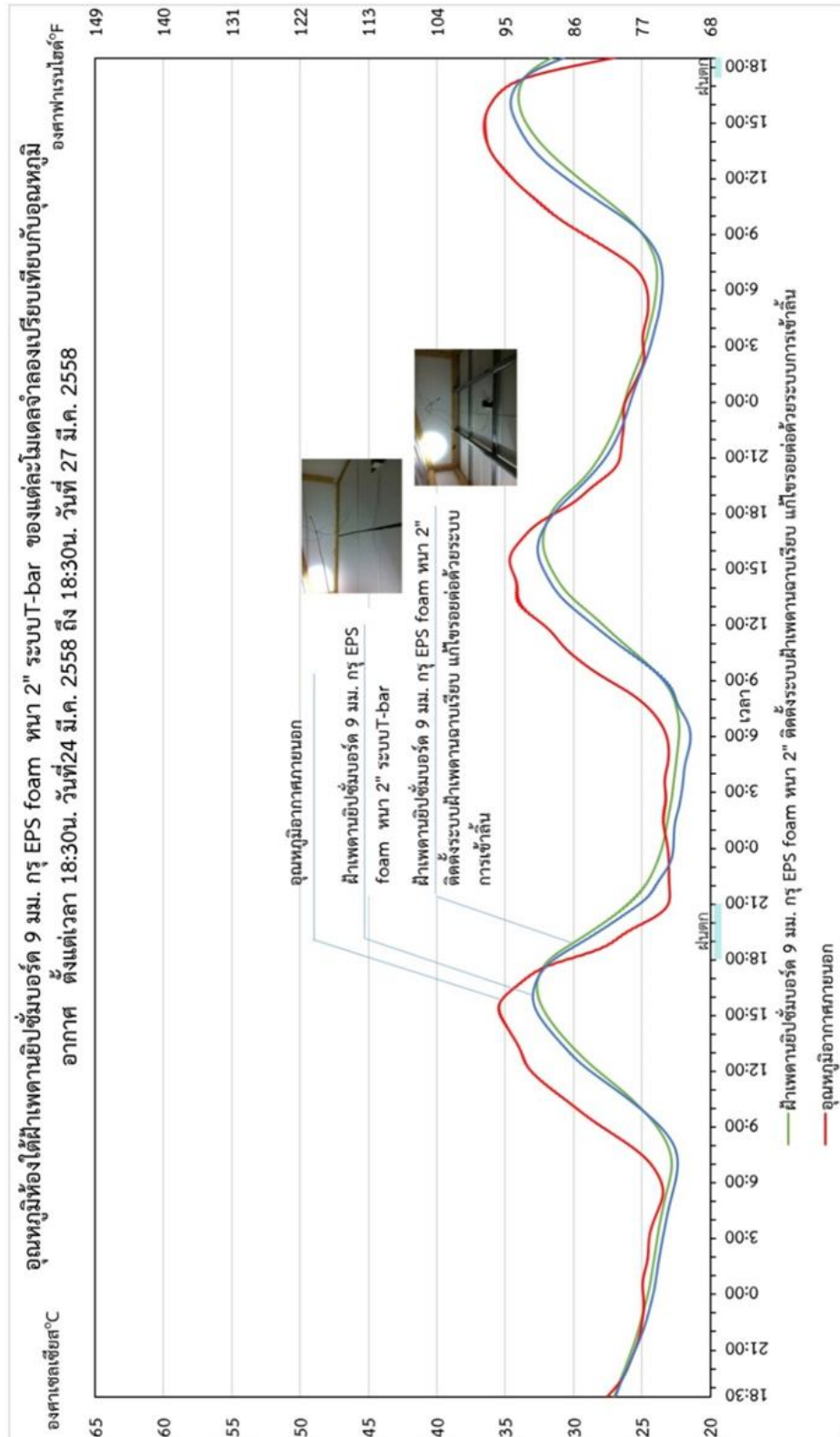
ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 15.30 - 16.30 น. ของวันที่ 26 มีนาคม 2558

วันที่	เวลา	อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดาน			ผลต่างอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	
		ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" ระบบ T-bar ($^{\circ}\text{C}$)	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" อุตรอยรั่วในการติดตั้ง ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^{\circ}\text{C}$)	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" อุตรอยรั่วในการติดตั้งเทียบกับระบบ T-bar ($^{\circ}\text{C}$)	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" อุตรอยรั่วในการติดตั้งเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)
26/3/2015	15:30	32.6	32	35	-0.6	-3
26/3/2015	15:35	32.7	32	35	-0.7	-3
26/3/2015	15:40	32.7	32.1	35	-0.6	-2.9
26/3/2015	15:45	32.7	32.2	35	-0.5	-2.8
26/3/2015	15:50	32.8	32.2	35	-0.6	-2.8
26/3/2015	15:55	32.8	32.2	35	-0.6	-2.8
26/3/2015	16:00	32.8	32.3	34.5	-0.5	-2.2
26/3/2015	16:05	32.8	32.3	34.5	-0.5	-2.2
26/3/2015	16:10	32.7	32.3	34.5	-0.4	-2.2
26/3/2015	16:15	32.7	32.3	34	-0.4	-1.7
26/3/2015	16:20	32.7	32.3	34	-0.4	-1.7
26/3/2015	16:25	32.7	32.4	34	-0.3	-1.6
26/3/2015	16:30	32.7	32.3	34	-0.4	-1.7

ในช่วงเวลาประมาณ 17.40 - 9.20 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่อุตรอยรั่วในการติดตั้ง (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F} /$

Btu) มีอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่ใกล้เคียงกับโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วระบบ T-bar (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) โดยที่โมเดลจำลองที่อุดรอยรั่วในการติดตั้งมีอุณหภูมิสูงกว่าประมาณ $0.1 \text{ }^\circ\text{C} - 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ และมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลา 2.40 - 17.40 น. โดยอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุด 5.5°C ในเวลาประมาณ 9.55 น. ส่วนโมเดลจำลองที่ติดตั้งระบบ T-bar มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลา 23.15 - 17.40 น. โดยอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุด $5.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ในเวลาประมาณ 9.55 น. (ดูภาพที่ 4-12)





ภาพที่ 4-12 อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ของแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 18.30 น. ของวันที่ 24 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 18.30 น. ของวันที่ 27 มีนาคม 2558

4.4 ผลการทดลองชุดที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาดกับระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น

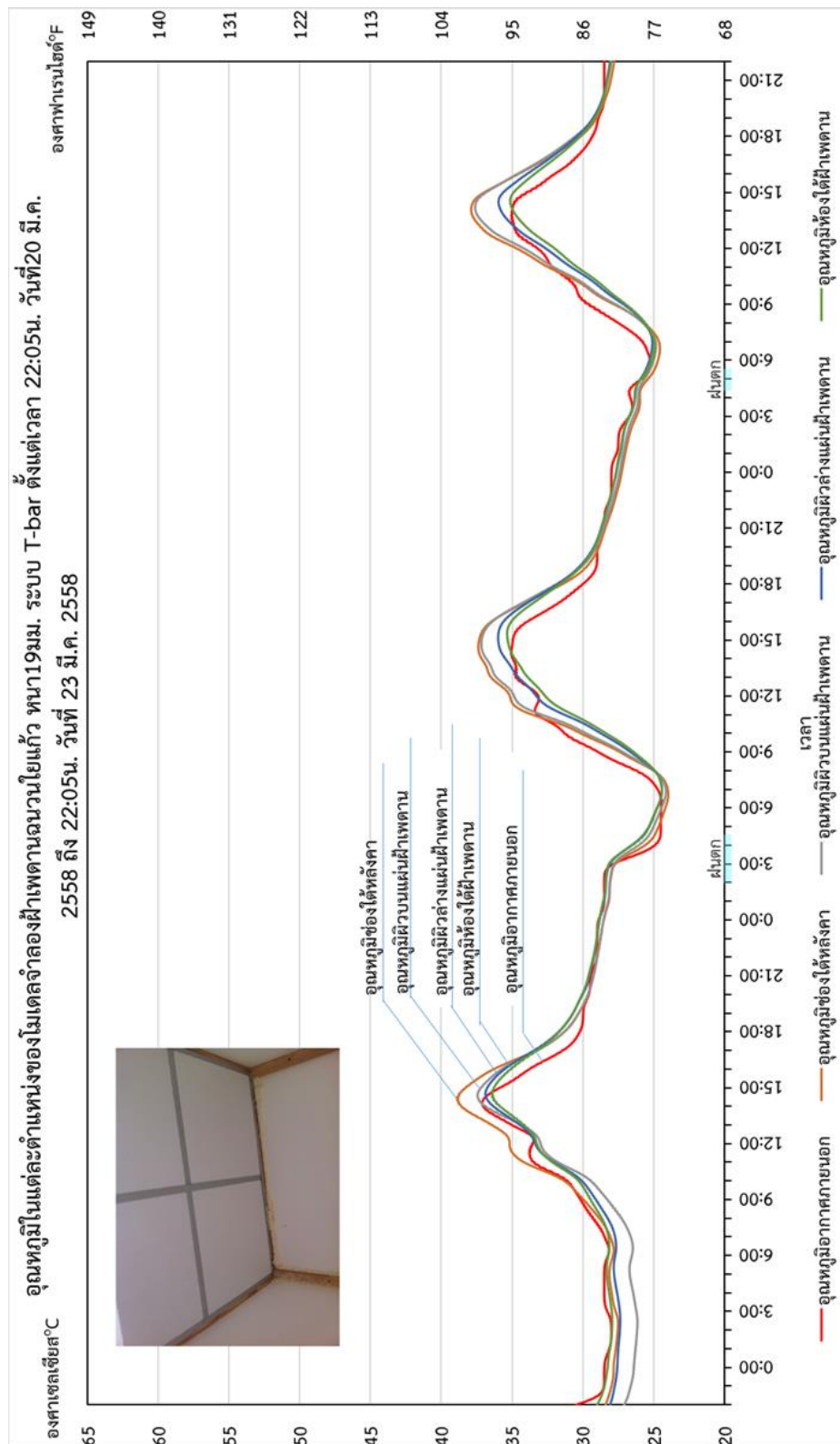
การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมความร้อนผ่านรอยต่อในการติดตั้งแผ่นฝ้าเพดาน โดยทดสอบจากระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในท้องตลาดซึ่งได้แก่ ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร (ค่า $R = 3.33 \text{ h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ระบบ T-bar และฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ระบบ T-bar กับฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเป็นกรณีศึกษา โดยผู้วิจัย ได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองดังนี้

- อุณหภูมิอากาศในช่องใต้หลังคาของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิผิวบนของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา
- อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานของโมเดลจำลอง
- อุณหภูมิอากาศภายนอกโมเดลจำลอง

4.4.1 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตร ติดตั้งระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558

จากผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ติดตั้งระบบ T-bar ตลอด 72 ชั่วโมง พบว่าการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาสู่ภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ประมาณ 1 ชั่วโมง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานในช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดประมาณ $35.4 \text{ } ^\circ\text{C}$ ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว ประมาณ $0.7 \text{ } ^\circ\text{C}$ แต่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $0.4 \text{ } ^\circ\text{C}$ แต่หลังจากเวลาดังกล่าวการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ส่งผลให้อุณหภูมิในทุกตำแหน่งภายในโมเดลจำลองมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลา 14.35 - 19.50 น. (ดูภาพที่ 4-13)

ในช่วงเวลาประมาณ 20.30 - 14.15 น. อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานมีอุณหภูมิ ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และในเวลาประมาณ 7.10 น. อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าต่ำที่สุดประมาณ $24.9 \text{ } ^\circ\text{C}$ ใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว (ต่ำกว่า $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$) และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $1.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ (ดูภาพที่ 4-13)

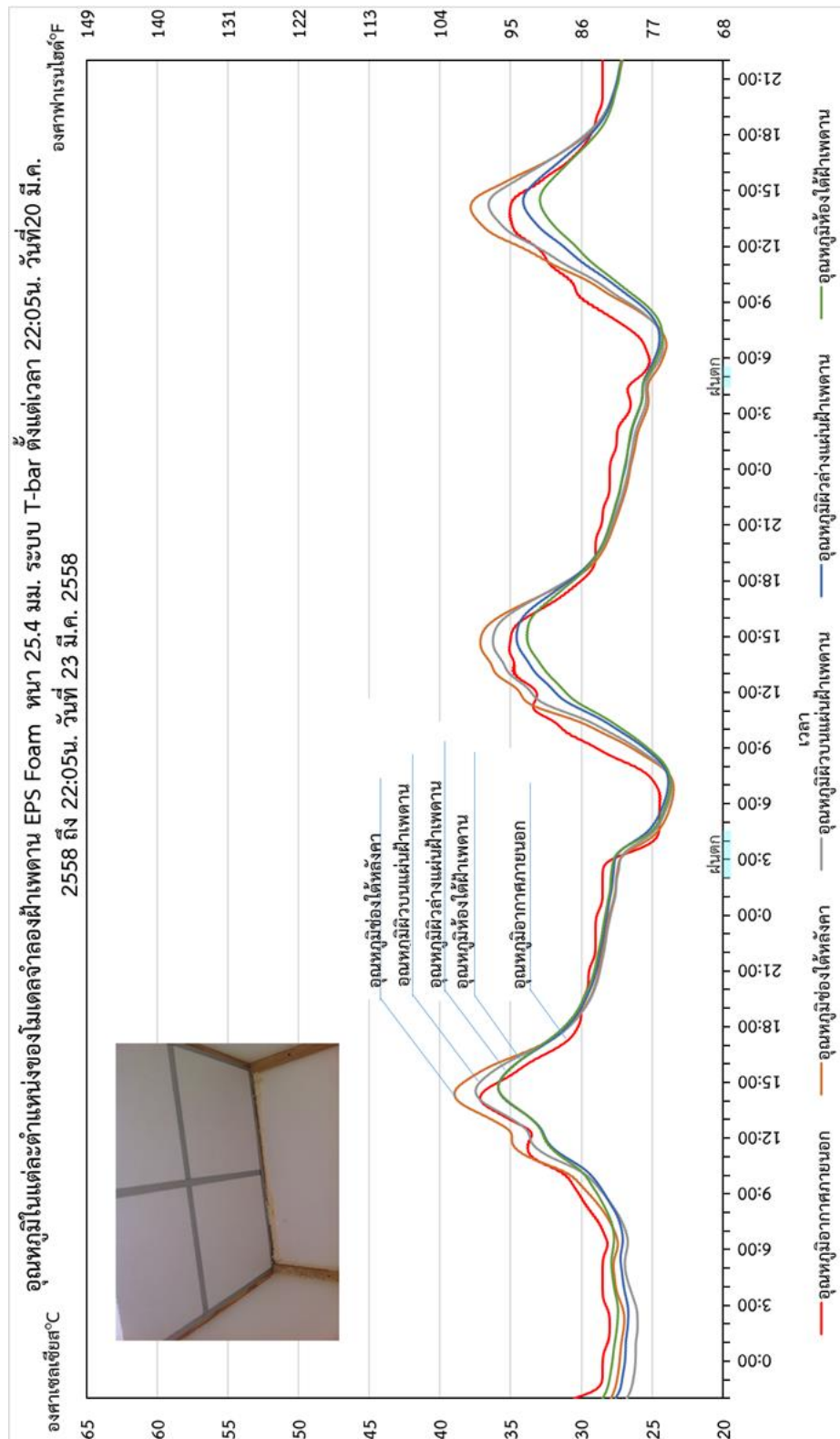


ภาพที่ 4-13 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว ทหนา 19 มิลลิเมตรระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 22:05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22:05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558

4.4.2 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558

จากผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบ T-bar ตลอด 72 ชั่วโมง พบว่าการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาสู่ภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ประมาณ 1 ชั่วโมง อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานในช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดประมาณ 34 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานประมาณ 0.7 °C และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1 °C แต่หลังจากเวลาดังกล่าวการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ได้ส่งผลให้อุณหภูมิในทุกตำแหน่งภายในโมเดลจำลองมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เวลาประมาณ 16.25 - 19.30 น. (ดูภาพที่ 4-14)

ในช่วงเวลาประมาณ 19.30 - 22.05 น. (เวลาสิ้นสุดการเก็บข้อมูล) อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยที่ช่วงเวลาประมาณ 16.20 - 18.00 น. อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (ต่ำกว่าประมาณ 0.1 °C - 0.4 °C) และในเวลาประมาณ 7.10 น. อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าต่ำที่สุดประมาณ 24.2 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานประมาณ 0.3 °C และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1.8 °C (ดูภาพที่ 4-14)

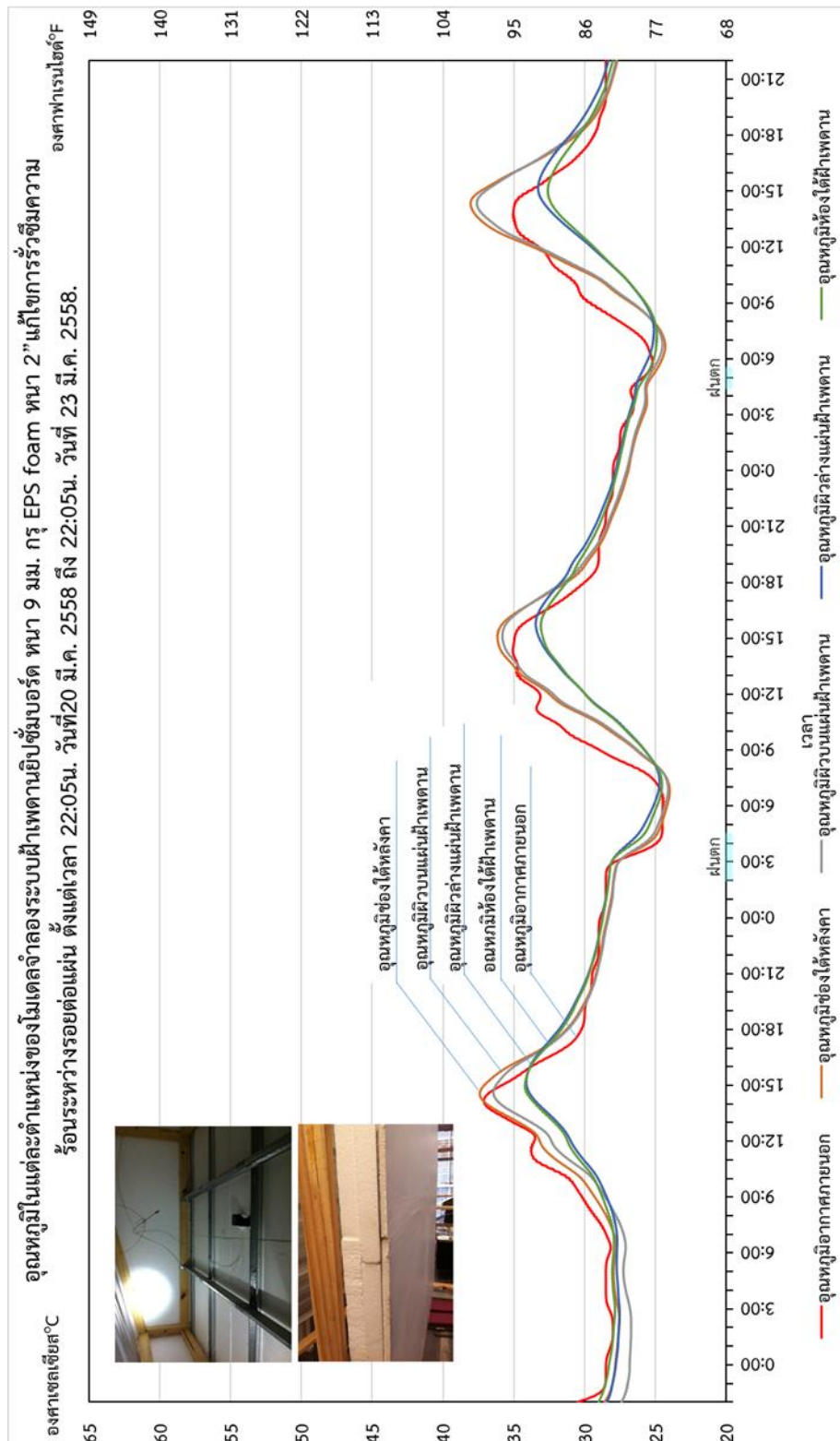


ภาพที่ 4-14 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar ตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558

4.4.3 ผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หน้า 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หน้า 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้นตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558

จากผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หน้า 9 มิลลิเมตรกรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หน้า 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าตลอด 72 ชั่วโมง พบว่าการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาสู่ภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ประมาณ 2 ชั่วโมง ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานในช่วงเวลา 15.55 น. มีค่าสูงที่สุดประมาณ 33 °C ใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดาน (ต่ำกว่าประมาณ 0.2 °C) และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 2 °C แต่หลังจากเวลาดังกล่าวการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ส่งผลให้อุณหภูมิในทุกตำแหน่งภายในโมเดลจำลองมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่วเวลาประมาณ 16.40 -20.05 น. (ดูภาพที่ 4-15)

ในช่วงเวลาประมาณ 22.10 - 16.10 น. อุณหภูมิอากาศห้องใต้ฝ้าเพดานมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยในช่วงเวลาประมาณ 16.20 - 6.10 น. อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอก และในเวลาประมาณ 7.10 น. อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้ฝ้าเพดานมีค่าต่ำที่สุดประมาณ 24.8 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานประมาณ 0.4 °C และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1.2 °C (ดูภาพที่ 4-15)



ภาพที่ 4-15 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรูด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า ตั้งแต่เวลา 22:05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22:05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558

4.4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนของโมเดลจำลองแต่ละกรณีศึกษาในการทดลองที่ 4

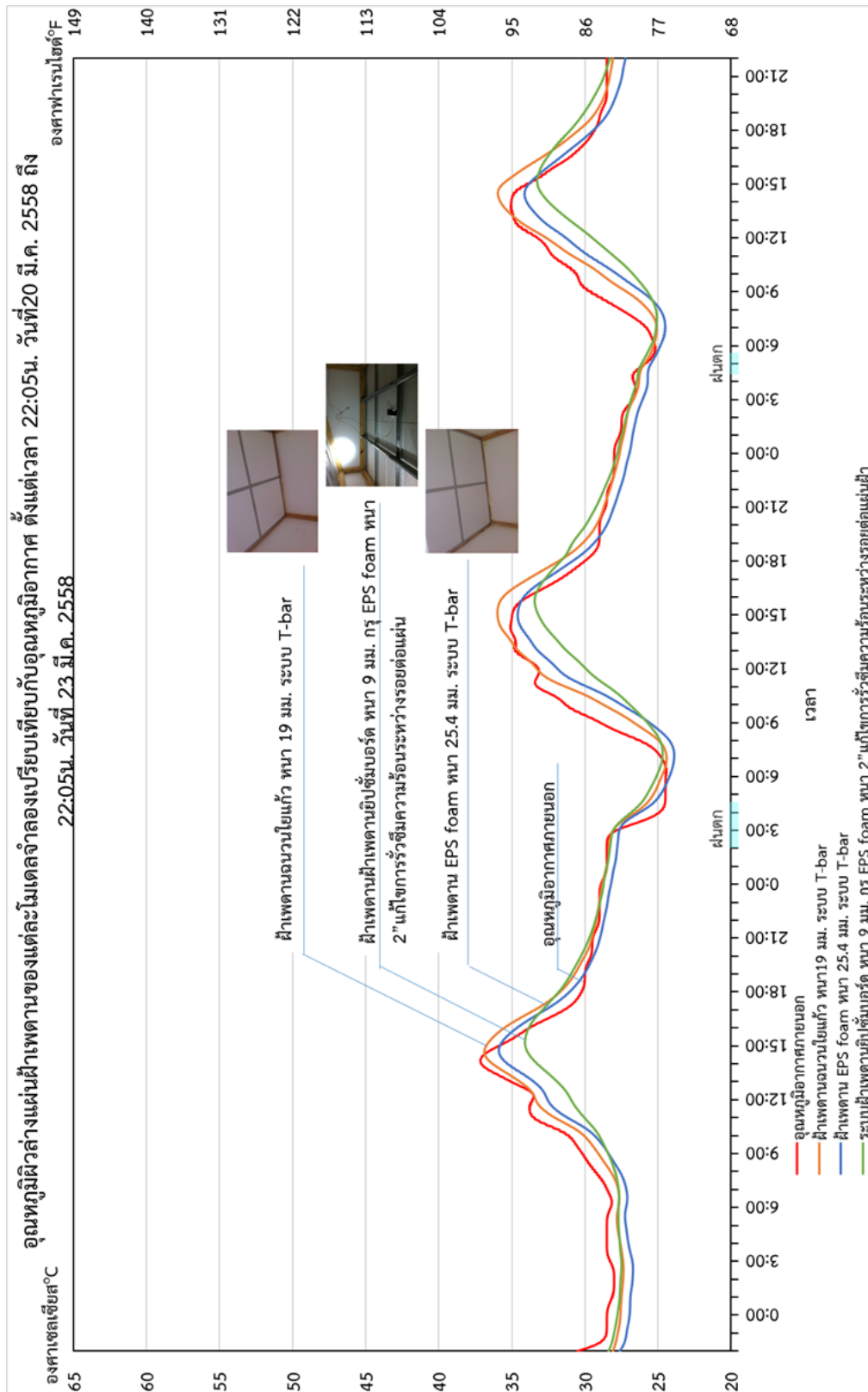
1) อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนของโมเดลจำลองทั้ง 3 ชุดมาเปรียบเทียบกันเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนสู่ห้องใต้ฝ้าเพดาน ได้ผลสรุปว่าในช่วงเวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) มากที่สุดในช่วงเวลาประมาณ 15.00 - 16.00 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ประมาณ $2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ และต่ำกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ประมาณ $1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ (ดูภาพที่ 4-16)

ในช่วงเวลาประมาณ 18.20 - 7.30 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนสูงกว่าโมเดลจำลองอื่นๆ

ในเวลา 6.50 น. ที่อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานของทุกโมเดลจำลองมีค่าต่ำที่สุด โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานประมาณ $25.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อยประมาณ $0.4 \text{ }^\circ\text{C}$ แต่สูงกว่าอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) อยู่เล็กน้อยประมาณ $0.6 \text{ }^\circ\text{C}$

หลังจากเวลาประมาณ 8.50 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานต่ำกว่าอุณหภูมิของโมเดลจำลองอื่นๆ จนถึงเวลาประมาณ 15.30 น. ที่อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดจึงเริ่มสูงกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) (ดูภาพที่ 4-16)



ภาพที่ 4-16 อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานของแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558

2) อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน

เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนของโมเดลจำลอง ทั้ง 3 ชุดมาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการป้องกันการรั่วซึมความร้อนสู่ห้องใต้ฝ้าเพดาน ผลสรุปได้ว่าในช่วงเวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) มากที่สุดในช่วงเวลาประมาณ 15.00 - 16.00 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดาน ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่น (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิในห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.33 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F} / \text{Btu}$) ประมาณ $2.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่ำกว่าโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F} / \text{Btu}$) ประมาณ $0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (ดูภาพที่ 4-17)

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนและอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาของแต่ละโมเดลจำลองในช่วงเวลา 15.00 - 16.00 น. ของวันที่ 22 มีนาคม 2558

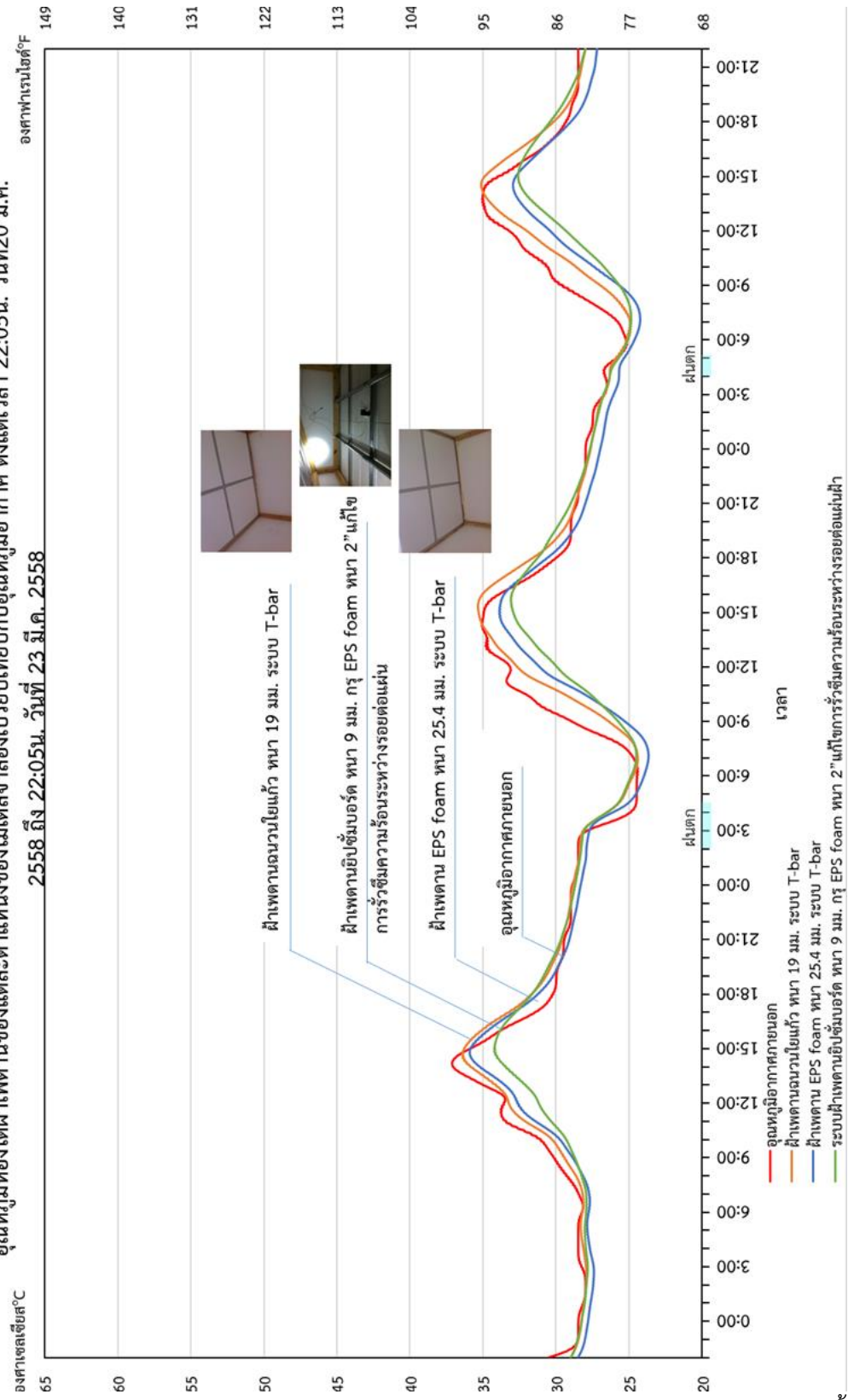
วัน / เวลา	อุณหภูมิผิวล่างฝ้าเพดาน ($^{\circ}\text{C}$)			อุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดาน ($^{\circ}\text{C}$)		
	ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. ระบบ T-bar	ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. ระบบ T-bar	ฝ้าเพดาน ยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" ติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น		ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. ระบบ T-bar	ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. ระบบ T-bar	ฝ้าเพดาน ยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" ติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น
วันที่ 22 มี.ค. 2558							
15:00	36.1	34.7	33.2	35	35.4	34	33
15:05	36.1	34.7	33.2	35.5	35.3	33.8	32.9
15:10	36.1	34.7	33.3	35.5	35.4	33.9	33
15:15	36	34.5	33.3	35	35.3	33.8	33
15:20	35.9	34.5	33.4	34.5	35.3	33.9	33
15:25	36	34.6	33.3	34.5	35.4	33.8	33
15:30	36	34.5	33.4	35	35.4	33.8	33
15:35	36	34.5	33.4	35	35.4	33.8	33.1
15:40	36	34.5	33.4	35	35.4	33.8	33.1
15:45	35.9	34.5	33.5	34.5	35.4	33.8	33.2
15:50	35.9	34.4	33.5	34.5	35.3	33.8	33
15:55	35.9	34.4	33.6	34.5	35.3	33.7	33.2
16:00	35.8	34.4	33.5	34.5	35.2	33.7	33.2

ในช่วงเวลาประมาณ 18.40 - 7.30 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่าง

รอยต่อของแผ่น (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนสูงกว่าโมเดลจำลองอื่นๆ และในเวลาประมาณ 7.00 อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานของทุกโมเดลจำลองมีค่าต่ำที่สุด โดยโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่น (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานประมาณ $24.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตรระบบ T-bar (ค่า $R = 3.33 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$ (ต่ำกว่าประมาณ $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$) และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ $0.7 \text{ }^\circ\text{C}$ แต่สูงกว่าอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-bar (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ประมาณ $0.6 \text{ }^\circ\text{C}$

หลังจากเวลา 8.50 น. โมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่น (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) มีอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าอุณหภูมิของโมเดลอื่นๆ จนถึงเวลาประมาณ 15.25 น. อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้วที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่น (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) จึงเริ่มสูงกว่าอุณหภูมิของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-bar (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) (ดูภาพที่ 4-17)

อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานของแต่ละตำแหน่งของโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ตั้งแต่เวลา 22:05 น. วันที่ 20 มี.ค. 2558 ถึง 22:05 น. วันที่ 23 มี.ค. 2558



ภาพที่ 4-17 อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานของแต่ละโมเดลจำลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เวลา 22.05 น. ของวันที่ 20 มีนาคม 2558 ถึงเวลา 22.05 น. ของวันที่ 23 มีนาคม 2558

4.5 สรุปผลจากการทดลองทั้ง 4 ชุด

4.5.1 ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนและอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษาด้วยการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดาน

การติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนโดยการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานสามารถป้องกันการรั่วซึมความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานได้ ส่งผลให้อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนและอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนภายในโมเดลจำลองในช่วงเวลาที่ได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของวันจากการห่อหุ้มเหนียวความร้อน (Time lag) มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานของโมเดลจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนเดียวกันที่ไม่ได้อุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดาน

4.5.2 ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนและอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษา

จากผลการทดลองที่ได้จากโมเดลจำลองการติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาซึ่งประกอบด้วย ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตรระบบ T-bar ฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร และฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตรกรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว สามารถสรุปเป็นตารางเปรียบเทียบต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานและอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษา

ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ	วันที่	เวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดของวันจากการห่อหุ้มเหนียวความร้อน	อุณหภูมิ (°C)		
			ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. ระบบ T-bar (R = 3.33 h ft ² °F / Btu.)	ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มม. ระบบ T-bar (R = 3.85 h ft ² °F / Btu.)	ฝ้าเพดาน ยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" ติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น (R = 8.02 h ft ² °F / Btu.)
อุณหภูมิผิวล่างแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน	22/3/2015	15:00 - 16:00	36.1	34.7	33.6
อุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน	22/3/2015	15:00 - 16:00	35.4	34	33.2

จากตารางที่ 4.8 ในช่วงเวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดของวันจากการห่อหุ้มเหนียวความร้อน (Time lag) ระบบฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9

มิลลิเมตรกรูด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ที่แก้ไขการรั่วซึมความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดาน มีอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานต่ำกว่าอุณหภูมิของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ระบบ T-bar อยู่ 2.5 °C และต่ำกว่าอุณหภูมิของฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบ T-bar อยู่ 1.1 °C นอกจากนี้ยังมีอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานต่ำกว่าอุณหภูมิของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ระบบ T-bar อยู่ 2.2 °C และต่ำกว่าฝ้าเพดาน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-bar อยู่ 0.8 °C

จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่า ระบบฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตรกรูด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ที่แก้ไขการรั่วซึมความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดาน มีประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนสู่ห้องใต้ฝ้าเพดานสูงกว่าฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในห้องตลาดที่นำมาเป็นกรณีศึกษาได้แก่ ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ระบบ T-bar และฝ้าเพดานฉนวน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-bar



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 ประเมินผลงานวิจัย

การเก็บข้อมูลจากโมเดลจำลองที่ติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในแต่ละการทดลอง (แผ่นฉนวนใยแก้ว และแผ่นฉนวน EPS foam หนา 1 นิ้ว) และการแก้ไขการรั่วซึมความร้อนของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนจากท้องตลาดและระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่นำเสนอใหม่นี้ (แผ่นฝ้ายิปซัมบอร์ดกรุด้วยแผ่นฉนวน EPS foam หนา 2 นิ้ว) พบว่าวิธีหลังนี้สามารถลดอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานและอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานภายในโมเดลจำลองลงได้ตั้งแต่ช่วงเวลาที่โมเดลจำลองเริ่มได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จนถึงเวลาที่โมเดลจำลองได้รับอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของวัน จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อนำเสนอประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ของการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษา โดยแบ่งหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

- 5.1.1 ประสิทธิภาพในการลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าและค่าก่อสร้าง
- 5.1.2 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature, MRT)
- 5.1.3 สรุปผลอิทธิพลของโครงเคร่า T-bar ต่อการใช้พลังงานและความรู้สึกร้อนหนาวของผู้ใช้อาคาร

5.1.1 ประสิทธิภาพในการลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าและค่าก่อสร้าง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าและค่าก่อสร้างโดยนำข้อมูลที่เก็บจากการทดลองที่ 1-3 การศึกษาอิทธิพลของการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ต่อการถ่ายเทความร้อนสู่ห้องภายในโมเดลจำลอง มาคำนวณหาปริมาณพลังงานในการปรับอากาศให้อุณหภูมิภายในห้องขนาด 16 ตารางเมตร โดยคำนวณพลังงานทุกชั่วโมงติดต่อกันเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณค่าไฟฟ้ากับราคาค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาในแต่ละระบบ

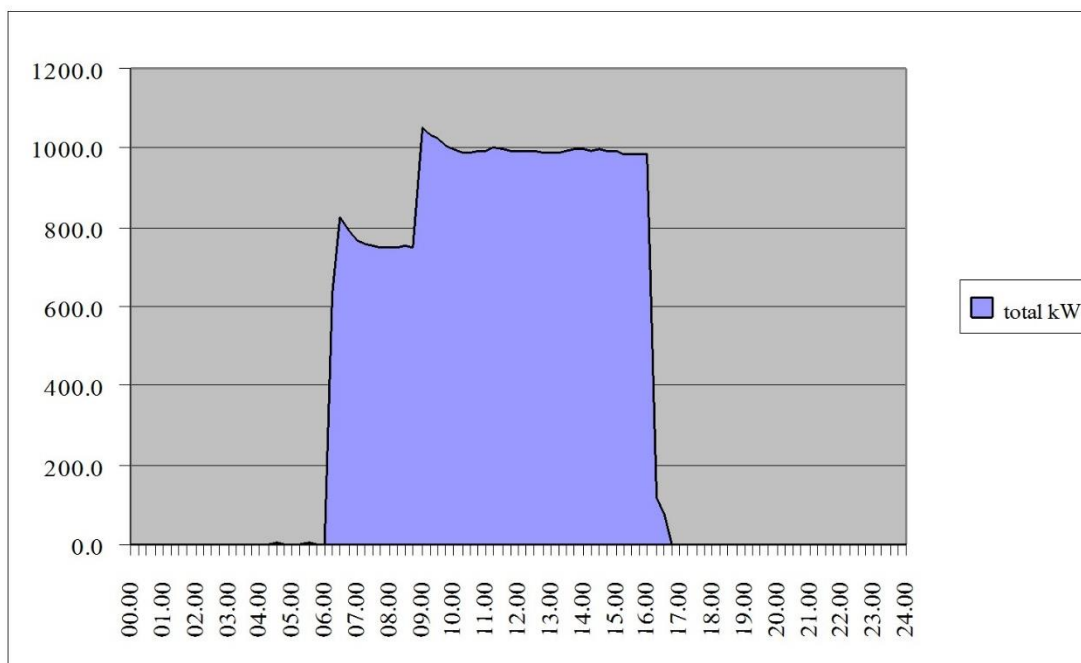
กรณีศึกษาที่ 1 : เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อน เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าระหว่างฝ้าเพดานแบบแผ่นฉนวนใยแก้ว ความหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร (ค่า $R = 3.3 \text{ hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/Btu}$) ระบบ T-bar และระบบ อุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า

กรณีศึกษาที่ 2 : เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อน เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าระหว่างฝ้าเพดานแบบแผ่นฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร (ค่า $R = 3.85 \text{ hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/Btu}$) ระบบ T-bar และระบบ อุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า

กรณีศึกษาที่ 3 : เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อน เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าระหว่างฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่ใช้ แผ่นยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว (ค่า $R = 8.02 \text{ hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/Btu}$) ระบบ T-bar ที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อน ระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้งลักษณะการเข้า ลึน

จากข้อมูลงานวิจัย “การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ ของระบบสะสม ความเย็นด้วยน้ำเย็นสำหรับการปรับอากาศในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก” [12] การเก็บ ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 15 ชั้น ที่มีพื้นที่ปรับ อากาศ 35,500 ตารางเมตร โดยทำการเก็บข้อมูลการใช้งานระบบปรับอากาศตั้งแต่ช่วงเวลา 6:00น. – 16:30 น. สามารถสรุปผลการเก็บข้อมูลได้ดังภาพที่ 5-1

การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางแบบเดิม



ภาพที่ 5-1 การใช้งานพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางแบบเดิมของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นที่ปรับอากาศ 35,500 ตารางเมตร เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศตั้งแต่เวลา 6:00น. – 16:30น. โดยควบคุมอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศที่ 25°C [12]

จากภาพที่ 5-1 เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบปรับอากาศในแต่ละชม.ต่อพื้นที่อาคาร 35,500 ตารางเมตร มาคำนวณหาค่าพลังงานพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ 16 ตารางเมตร สำหรับใช้คำนวณปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงจากการอุดรยรั้วฝ้าเพดานกรณีศึกษาที่ 1-3 ในช่วงเวลา 9:00น. - 16:00น.(เครื่องปรับอากาศทำงานต่อเนื่อง 8ชม.) โดยคำนวณจากสมการที่ 1

การคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงพื้นที่ปรับอากาศ 16 ตร.ม.

พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมง = (พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในชั่วโมงที่ต้องการศึกษา x 16)/35,500

จากการคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงบนพื้นที่ปรับอากาศขนาด 16 ตารางเมตร สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25°C ในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น. เปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ปรับอากาศ 35,500 ตารางเมตร กับ 16 ตารางเมตร

รายละเอียด	เวลา							
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ 35,500 ตร.ม. (kWh)	1056	990	1000	1006	992	1005	1000	990
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ 16 ตร.ม. (kWh)	0.47594	0.4462	0.4507	0.45341	0.4471	0.45296	0.4507	0.4462

จากตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในการทำงานของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น. ต่อพื้นที่ปรับอากาศ 16 ตารางเมตร โดยจะนำผลการคำนวณนี้ไปคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศภายในห้องเมื่อทำการอุดรอยรั่วระบบฝ้าเพดานจนวนกันความร้อนในแต่ละกรณีศึกษา

1) กรณีศึกษาที่ 1 : เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบค่าไฟฟ้า ระหว่างฝ้าเพดานแบบแผ่นฉนวนใยแก้วความหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร (ค่า $R = 3.3 \text{ hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{Btu}$) ระบบ T-bar และระบบอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า

ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย “การปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 26 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า ทุกๆอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศา จะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 10” [13] นำมาคำนวณกับข้อมูลจากตารางที่ 5.1 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในการทำงานของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น. ต่อพื้นที่ปรับอากาศ 16 ตารางเมตรและข้อมูลอุณหภูมิห้องที่ลดลงเมื่ออุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว 19 มิลลิเมตรระบบ T-bar เพื่อคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศที่ลดลงสรุปผลการคำนวณได้ตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั้วฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตร ระบบ T-bar ติดตั้งในห้องพื้นที่ 16 ตารางเมตร เปิดระบบปรับอากาศเวลา 9:00น. – 16:00น.

เวลา	ระบบฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม. ติดตั้งในห้องขนาด 16 ตร.ม.					
	ระบบ T-bar (°C)	ระบบอุดรอยรั้ว (°C)	ΔT (°C)	แทนค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยระบบ T-bar (kWh)	แทนค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเมื่อทำการอุดรอยรั้วฝ้าเพดาน (kWh)	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั้วฝ้าเพดาน (kWh)
9:00	29.7	29.8	-0.1	0.475943662	0.480703099	-0.004759437
10:00	32.6	31.2	1.4	0.446197183	0.385514366	0.060682817
11:00	36.6	34.3	2.3	0.450704225	0.35411831	0.096585915
12:00	39.4	37.4	2	0.453408451	0.367260845	0.086147606
13:00	41.9	40.3	1.6	0.447098592	0.378245408	0.068853183
14:00	43.7	42.1	1.6	0.452957746	0.383202254	0.069755493
15:00	44.8	43.2	1.6	0.450704225	0.381295775	0.069408451
16:00	44.1	42.2	1.9	0.446197183	0.365435493	0.08076169
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมต่อวัน (kWh)				3.623211268	3.095775549	0.527435718
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมต่อเดือน (kWh)				108.696338	92.87326648	15.82307155

จากข้อมูลในตารางที่ 5.2 เมื่อทำการอุดรอยรั้วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ในห้องขนาด 16 ตารางเมตรที่เปิดระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น. สามารถลดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมต่อวันได้ประมาณ 0.53 kWh. ต่อวัน คิดเป็น 15.83 kWh. ต่อเดือน

จากข้อมูลพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั้วฝ้าเพดานระบบ T-bar เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงโดยคิดค่าไฟฟ้าที่ 3.99 บาทต่อหน่วย [14] การอุดรอยรั้วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ในห้องขนาด 16 ตารางเมตรที่เปิดระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น. สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ $15.83 \times 3.99 = 63.16$ บาทต่อเดือน

2) กรณีศึกษาที่ 2 : เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าและค่าก่อสร้าง ระหว่างฝ้าเพดานแบบแผ่นฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร (ค่า $R = 3.85 \text{ hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/Btu}$) ระบบ T-bar และระบบอุดรอยรั้วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า

ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย “การปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 26 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า ทุกๆอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศา จะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 10” [13] นำมาคำนวณกับข้อมูลจากตารางที่ 5.1 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในการทำงานของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น.ต่อพื้นที่ปรับอากาศ 16 ตารางเมตรและข้อมูลอุณหภูมิห้องที่ลดลงเมื่ออุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-bar เพื่อคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศที่ลดลง สรุปผลการคำนวณได้ตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดานกันความร้อน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบT-bar ที่ติดตั้งในห้องพื้นที่ 16 ตารางเมตร เปิดระบบปรับอากาศเวลา 9:00น. – 16:00น.

เวลา	ระบบฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1" ติดตั้งในห้องขนาด 16 ตร.ม.					
	ระบบ T-bar (°C)	ระบบอุดรอยรั่ว (°C)	ΔT (°C)	แทนค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยระบบ T-bar (kWh)	แทนค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดาน (kWh)	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดาน (kWh)
9:00	28	28	0	0.475943662	0.475943662	0
10:00	31.3	30.6	0.7	0.446197183	0.41496338	0.031233803
11:00	33.8	32.8	1	0.450704225	0.405633803	0.045070423
12:00	37.1	35.9	1.2	0.453408451	0.399906254	0.053502197
13:00	37.9	36.7	1.2	0.447098592	0.394340958	0.052757634
14:00	38.6	37.7	0.9	0.452957746	0.412191549	0.040766197
15:00	40.3	39.4	0.9	0.450704225	0.410140845	0.04056338
16:00	39.9	38.7	1.2	0.446197183	0.393545915	0.052651268
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมต่อวัน (kWh)				3.623211268	3.306666366	0.316544901
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมต่อเดือน (kWh)				108.696338	99.19999099	9.496347042

จากข้อมูลในตารางที่ 5.3 เมื่อทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-bar ในห้องขนาด 16 ตารางเมตรที่เปิดระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น. สามารถลดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมต่อวันได้ประมาณ 0.32 kWh. ต่อวัน คิดเป็น 9.50 kWh. ต่อเดือน

จากข้อมูลพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดานระบบ T-bar เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงโดยคิดค่าไฟฟ้าที่ 3.99 บาทต่อหน่วย [14] การอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบ T-

bar ในห้องขนาด 16 ตารางเมตรที่เปิดระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น. สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ $9.50 \times 3.99 = 37.91$ บาทต่อเดือน

3) กรณีศึกษาที่ 3 : เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบค่าไฟฟ้า ระหว่างฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว (ค่า $R = 8.02 \text{ hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/Btu}$) ระบบ T-bar ที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้งลักษณะการเข้าลิ้น

ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย “การปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 26 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า ทุกๆอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศา จะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 10” [13] นำมาคำนวณกับข้อมูลจากตารางที่ 5.1 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในการทำงานของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น.ต่อพื้นที่ปรับอากาศ 16 ตารางเมตรและข้อมูลอุณหภูมิห้องที่ลดลงเมื่ออุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ระบบ T-bar เพื่อคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศที่ลดลง สรุปผลการคำนวณได้ตามตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ระบบ T-bar ที่ติดตั้งในห้องพื้นที่ 16 ตารางเมตร เปิดระบบปรับอากาศเวลา 9:00น. – 16:00น.

เวลา	ระบบฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" ติดตั้งในห้องขนาด 16 ตร.ม.					
	ระบบ T-bar ($^{\circ}\text{C}$)	ระบบอุดรอยรั่ว ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	แทนค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยระบบ T-bar (kWh)	แทนค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดาน (kWh)	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดาน (kWh)
9:00	23.7	23.3	0.4	0.475943662	0.456905915	0.019037746
10:00	25.1	24.6	0.5	0.446197183	0.423887324	0.022309859
11:00	26.8	26.4	0.4	0.450704225	0.432676056	0.018028169
12:00	28.5	27.8	0.7	0.453408451	0.421669859	0.031738592
13:00	30.2	29.3	0.9	0.447098592	0.406859718	0.040238873
14:00	31.5	30.9	0.6	0.452957746	0.425780282	0.027177465
15:00	32.3	31.7	0.6	0.450704225	0.423661972	0.027042254
16:00	32.8	32.3	0.5	0.446197183	0.423887324	0.022309859
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมต่อวัน (kWh)				3.623211268	3.415328451	0.207882817
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมต่อเดือน (kWh)				108.696338	102.4598535	6.236484507

จากข้อมูลในตารางที่ 5.4 เมื่อทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ระบบ T-bar ในห้องขนาด 16 ตารางเมตรที่เปิดระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น. สามารถลดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมต่อวันได้ประมาณ 0.21 kWh. ต่อวัน คิดเป็น 6.24 kWh. ต่อเดือน

จากข้อมูลพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วฝ้าเพดานระบบ T-bar เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงโดยคิดค่าไฟฟ้าที่ 3.99 บาทต่อหน่วย [14] การอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ระบบ T-bar ในห้องขนาด 16 ตารางเมตรที่เปิดระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00 น. – 16:00น. สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ $6.24 \times 3.99 = 24.90$ บาทต่อเดือน

จากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี แสดงให้เห็นว่า ในช่วงกลางวัน เวลา 9:00น. - 16:00น. การอุดรอยรั่วบริเวณรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษาที่ติดตั้งในห้องขนาด 16 ตารางเมตร สามารถลดพลังงานไฟฟ้าในการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้มากกว่า ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนชนิดเดียวกันที่ติดตั้งในระบบ T-bar

ปริมาณค่าไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่าก่อสร้างของฝ้าเพดานกรณีศึกษาแต่ละกรณี

เมื่อนำปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงของการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในแต่ละกรณีศึกษา เปรียบเทียบค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในระบบอุดรอยรั่ว (ดูค่าก่อสร้างฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในแต่ละระบบได้ในตารางที่ 5.5)

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าก่อสร้างฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาในแต่ละระบบ

ระบบการติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน	ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว ขนาดแผ่น 60 x 60 ซม. หนา 19 มม. R = 3.3 h ft ² °F (บาท/ตร.ม.)	ฝ้าเพดาน EPS foam ขนาดแผ่น 60 x 60 ซม. หนา 1" R = 3.85 h ft ² °F (บาท/ตร.ม.)	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 9 มม. กรุ EPS foam หนา 2" R = 8.02 h ft ² °F (บาท/ตร.ม.)
T-bar	361	386	431
ระบบอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า	396	421	476

จากตารางที่ 5.5 สามารถสรุปค่าก่อสร้างฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาในแต่ละระบบได้ดังนี้

- ค่าก่อสร้างการติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้วหนา 19 มิลลิเมตร ระบบอุดรอยรั่วแพงกว่าระบบ T-bar 35 บาทต่อตารางเมตร

- ค่าก่อสร้างการติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 25.4 มิลลิเมตร ระบบอุตรอยรั้วแพงบกว่าระบบ T-bar 35 บาทต่อตารางเมตร
- ค่าก่อสร้างการติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนอิพซั่มบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ระบบอุตรอยรั้วแพงบกว่าระบบ T-bar 45 บาทต่อตารางเมตร

เมื่อนำข้อมูลค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อเดือนเมื่อทำการอุตรอยรั้วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษา ระบบ T-bar ในห้องขนาด 16 ตารางเมตรที่เปิดระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 9:00น. – 16:00น. มาเปรียบเทียบกับค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นของการติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษาในระบบอุตรอยรั้ว สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นและปริมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงจากการติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษาในระบบอุตรอยรั้วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานในห้องพื้นที่ 16 ตร.ม. ที่เปิดระบบปรับอากาศช่วงเวลา 9:00น.- 16:00น.

รายการ	ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา19 มม. ระบบอุตรอยรั้ว $R = 3.3 \text{ h ft}^2\text{°F}$	ฝ้าเพดาน EPS foam ระบบอุตรอยรั้ว หนา1" $R = 3.85 \text{ h ft}^2\text{°F}$	ฝ้าเพดานอิพซั่มบอร์ด 9 มม. กรู EPS foam หนา 2" ระบบอุตรอยรั้ว $R = 8.02 \text{ h ft}^2\text{°F}$
ค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น (บาทต่อ 16 ตร.ม.)	560	560	720
ค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อเดือน (บาทต่อ 16 ตร.ม.)	63.16	37.91	24.90

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 5.6 มาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนเมื่อติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบอุตรอยรั้วในแต่ละกรณีศึกษา สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- การติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตรระบบอุตรอยรั้วในห้องขนาด 16 ตร.ม. ที่เปิดระบบปรับอากาศช่วงเวลา 9:00น.- 16:00น. สามารถคืนทุนส่วนต่างค่าก่อสร้างเทียบกับระบบ T-bar ได้ในระยะ 9 เดือน ($560 / 63.16 = 8.87$)
- การติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อน EPS Foam หนา 25.4 มิลลิเมตรระบบอุตรอยรั้วในห้องขนาด 16 ตร.ม. ที่เปิดระบบปรับอากาศช่วงเวลา 9:00น.- 16:00น. สามารถคืนทุนส่วนต่างค่าก่อสร้างเทียบกับระบบ T-bar ได้ในระยะ 15 เดือน ($560 / 37.91 = 14.77$)

- การติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนอีพซิมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam หนา 2 นิ้ว ระบบอุดรอยรั่วในท้องขนาด 16 ตร.ม. ที่เปิดระบบปรับอากาศช่วงเวลา 9:00น.- 16:00น. สามารถคืนทุนส่วนต่างค่าก่อสร้างเทียบกับระบบ T-bar ได้ในระยะ 23 เดือน ($560 / 24.90 = 22.49$)

5.1.2 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature, MRT)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษา กำหนดให้ขนาดพื้นที่ฝ้าเพดานและพื้นที่ห้องเท่ากับ 16 ตารางเมตร ผนังทั้ง 4 ด้านเป็นผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบเรียบหนา 4 นิ้ว ใช้อุณหภูมิผิวล่างแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในช่วงเวลา 15.00 - 16.00 น. ในการคำนวณ เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิผิวล่างแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษามีอุณหภูมิสูงที่สุดจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

จากงานวิจัย "ผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยวที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนชื้น" [15] ได้เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวด้านในของผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบเรียบหนา 4 นิ้วในทิศต่างๆ ในเวลา 15.00 - 16.00 น. ช่วงเดือนเมษายน ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

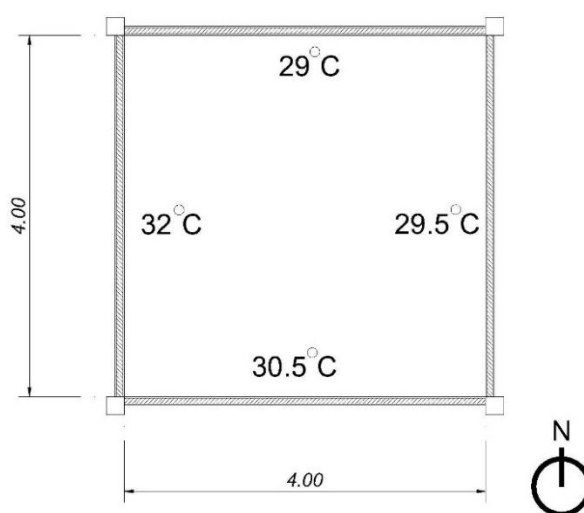
- ผนังด้านทิศเหนือ มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านใน 29°C
- ผนังด้านทิศใต้ มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านใน 30.5°C
- ผนังด้านทิศตะวันออก มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านใน 29.5°C
- ผนังด้านทิศตะวันตก มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านใน 32°C

การคำนวณหาอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษา มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนชนิดเดียวกันระหว่างระบบ T-bar และระบบอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า โดยกำหนดกรณีศึกษาในการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

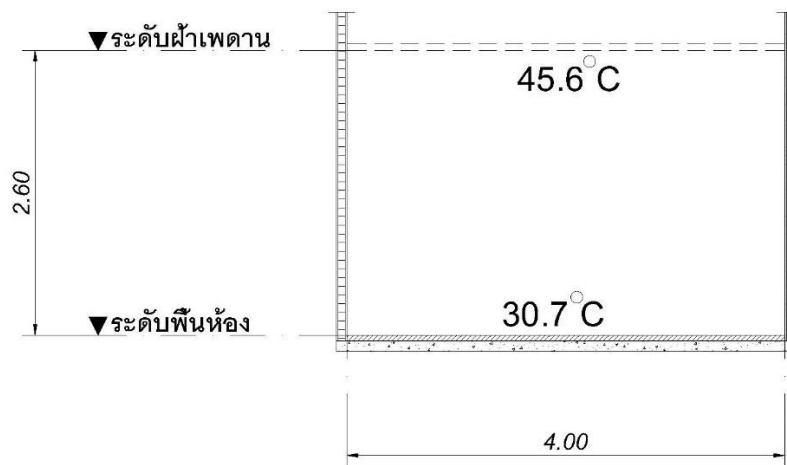
- **กรณีศึกษาที่ 1** : เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบของฝ้าเพดานแผ่นฉนวนใยแก้วความหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F} / \text{Btu}$) ระบบ T-bar และระบบอุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้า

- **กรณีศึกษาที่ 2** : เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบของฝ้าเพดานแผ่นฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร (ค่า $R = 3.85 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ระบบ T-bar และระบบอูตรอยรั้วระหว่างแผ่นฝ้า
- **กรณีศึกษาที่ 3** : เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้นและระบบ T-bar

1) กรณีศึกษาที่ 1 : เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบของฝ้าเพดานแผ่นฉนวนใยแก้วความหนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร (ค่า $R = 3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ระบบ T-bar และระบบอูตรอยรั้วระหว่างแผ่นฝ้า (เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานวันที่ 21 เมษายน 2558)



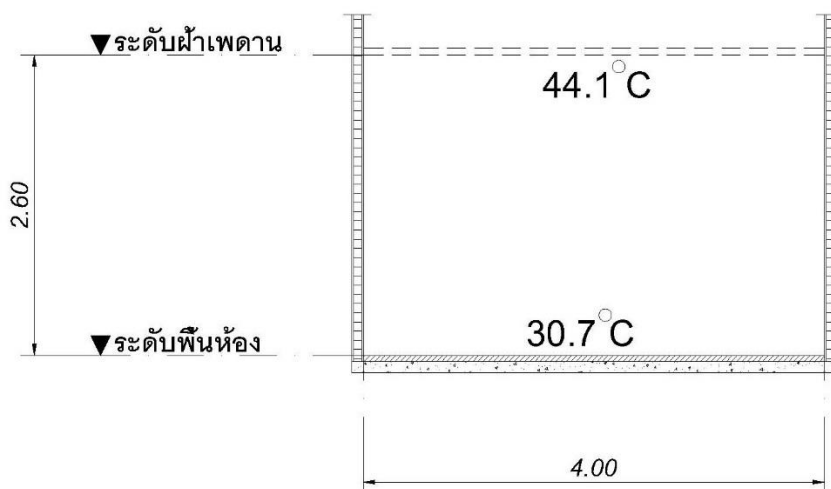
ภาพที่ 5-2 อุณหภูมิผิวด้านในผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบเรียบ ห้องจำลองขนาด 16 ตารางเมตร ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร



ภาพที่ 5-3 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบ T-bar

การคำนวณหาค่า MRT ภายในห้องจำลอง

$$\begin{aligned}
 MRT &= T_{\text{พื้น}}A_{\text{พื้น}} + T_{\text{ฝ้า}}A_{\text{ฝ้า}} + T_{\text{ผนังN}}A_{\text{ผนังN}} + T_{\text{ผนังS}}A_{\text{ผนังS}} + T_{\text{ผนังE}}A_{\text{ผนังE}} \\
 &\quad + T_{\text{ผนังW}}A_{\text{ผนังW}} / (A_{\text{พื้น}} + A_{\text{ฝ้า}} + A_{\text{ผนังN}} + A_{\text{ผนังS}} + A_{\text{ผนังE}} + A_{\text{ผนังW}}) \\
 MRT &= ((30.7 \times 16) + (45.6 \times 16) + (29 \times 10.4) + (30.5 \times 10.4) + \\
 &\quad (29.5 \times 10.4) + (32 \times 10.4)) / (16 + 16 + 10.4 + 10.4 + 10.4 + 10.4) \\
 MRT &= (491.2 + 729.6 + 301.6 + 317.2 + 306.8 + 332.8) / 73.6 \\
 MRT &= 33.68
 \end{aligned}$$

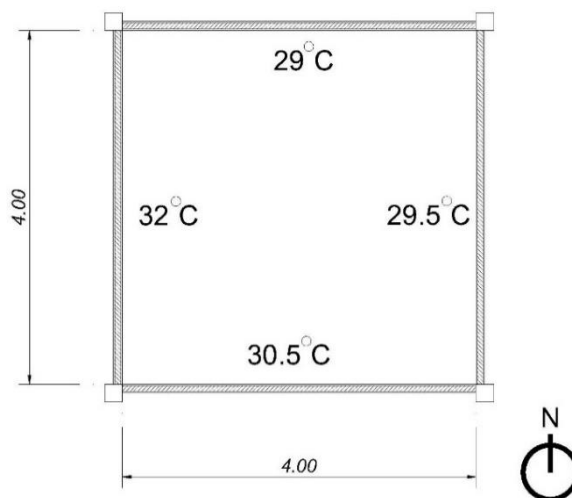


ภาพที่ 5-4 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มิลลิเมตร ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบอูตรอยรั้วระหว่างแผ่นฝ้า

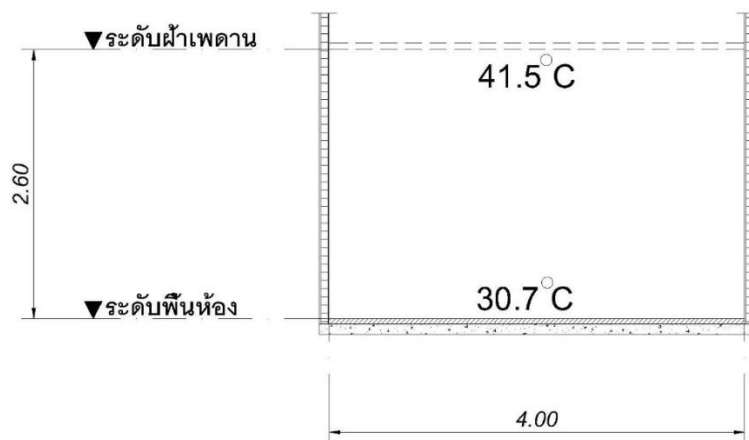
การคำนวณหาค่า MRT ภายในห้องจำลอง

$$\begin{aligned} \text{MRT} &= T_{\text{พื้น}}A_{\text{พื้น}} + T_{\text{ฝ้า}}A_{\text{ฝ้า}} + T_{\text{ผนังN}}A_{\text{ผนังN}} + T_{\text{ผนังS}}A_{\text{ผนังS}} + T_{\text{ผนังE}}A_{\text{ผนังE}} \\ &\quad + T_{\text{ผนังW}}A_{\text{ผนังW}} / (A_{\text{พื้น}} + A_{\text{ฝ้า}} + A_{\text{ผนังN}} + A_{\text{ผนังS}} + A_{\text{ผนังE}} + A_{\text{ผนังW}}) \\ \text{MRT} &= ((30.7 \times 16) + (44.1 \times 16) + (29 \times 10.4) + (30.5 \times 10.4) + \\ &\quad (29.5 \times 10.4) + (32 \times 10.4)) / (16 + 16 + 10.4 + 10.4 + 10.4 + 10.4) \\ \text{MRT} &= (491.2 + 705.6 + 301.6 + 317.2 + 306.8 + 332.8) / 73.6 \\ \text{MRT} &= 33.36 \end{aligned}$$

2) **กรณีศึกษาที่ 2** : เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบของฝ้าเพดาน แผ่นฉนวนกันความร้อน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร (ค่า R = 3.85 h ft² °F / Btu) ระบบ T-bar และระบบอุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้า (เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานวันที่ 24 เมษายน 2558)



ภาพที่ 5-5 อุณหภูมิผิวด้านล่างในผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบเรียบ ห้องจำลองขนาด 16 ตารางเมตร ติดตั้งฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร



ภาพที่ 5-6 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบ T-bar

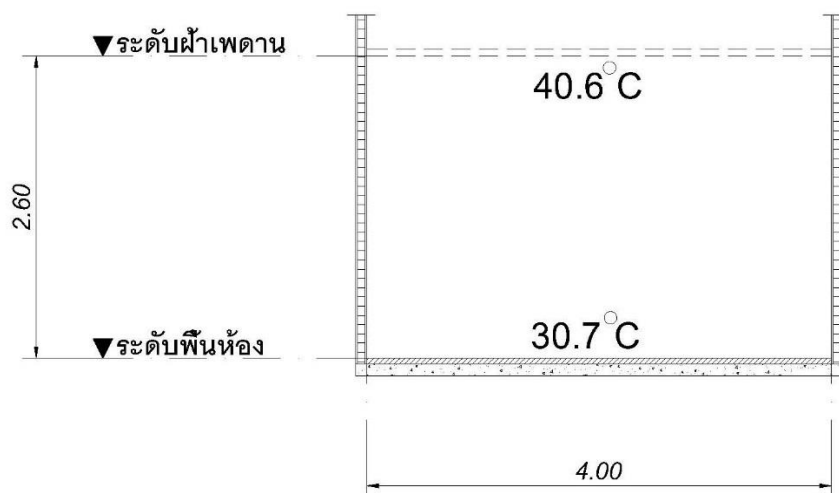
การคำนวณหาค่า MRT ภายในห้องจำลอง

$$\text{MRT} = \frac{T_{\text{พื้น}}A_{\text{พื้น}} + T_{\text{ฝ้า}}A_{\text{ฝ้า}} + T_{\text{ผนังN}}A_{\text{ผนังN}} + T_{\text{ผนังS}}A_{\text{ผนังS}} + T_{\text{ผนังE}}A_{\text{ผนังE}} + T_{\text{ผนังW}}A_{\text{ผนังW}}}{A_{\text{พื้น}} + A_{\text{ฝ้า}} + A_{\text{ผนังN}} + A_{\text{ผนังS}} + A_{\text{ผนังE}} + A_{\text{ผนังW}}}$$

$$\text{MRT} = \frac{(30.7 \times 16) + (41.5 \times 16) + (29 \times 10.4) + (30.5 \times 10.4) + (29.5 \times 10.4) + (32 \times 10.4)}{(16 + 16 + 10.4 + 10.4 + 10.4 + 10.4)}$$

$$\text{MRT} = \frac{(491.2 + 664 + 301.6 + 317.2 + 306.8 + 332.8)}{73.6}$$

$$\text{MRT} = 32.8$$

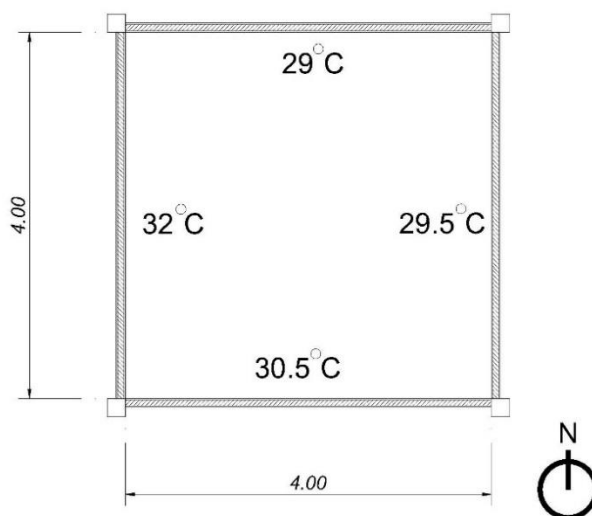


ภาพที่ 5-7 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1 นิ้ว ขนาดแผ่น 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ระบบอุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้า

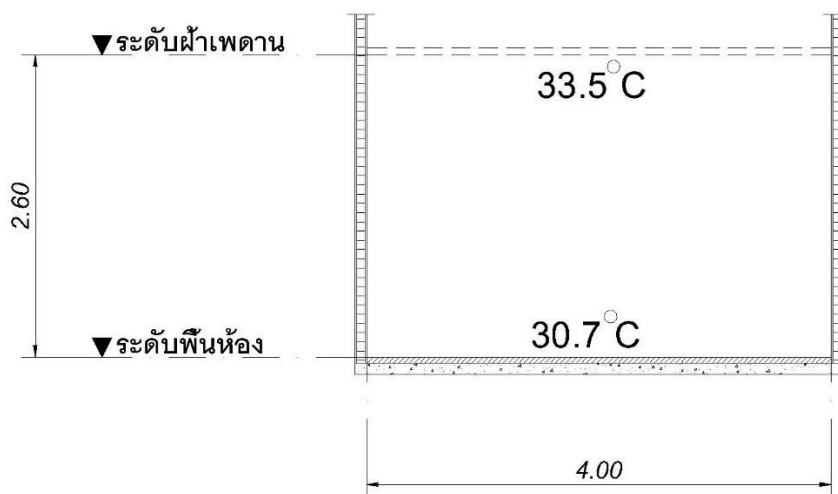
การคำนวณหาค่า MRT ภายในห้องจำลอง

$$\begin{aligned} \text{MRT} &= T_{\text{พื้น}}A_{\text{พื้น}} + T_{\text{ฝ้า}}A_{\text{ฝ้า}} + T_{\text{ผนังN}}A_{\text{ผนังN}} + T_{\text{ผนังS}}A_{\text{ผนังS}} + T_{\text{ผนังE}}A_{\text{ผนังE}} \\ &\quad + T_{\text{ผนังW}}A_{\text{ผนังW}} / (A_{\text{พื้น}} + A_{\text{ฝ้า}} + A_{\text{ผนังN}} + A_{\text{ผนังS}} + A_{\text{ผนังE}} + A_{\text{ผนังW}}) \\ \text{MRT} &= ((30.7 \times 16) + (40.6 \times 16) + (29 \times 10.4) + (30.5 \times 10.4) + \\ &\quad (29.5 \times 10.4) + (32 \times 10.4)) / (16 + 16 + 10.4 + 10.4 + 10.4 + 10.4) \\ \text{MRT} &= (491.2 + 649.6 + 301.6 + 317.2 + 306.8 + 332.8) / 73.6 \\ \text{MRT} &= 32.6 \end{aligned}$$

3) กรณีศึกษาที่ 3 : เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบของฝ้าเพดาน แผ่นฉนวนกันความร้อนอีพ็อกซีบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อน ระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้นและระบบ T-bar (เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานวันที่ 26 มีนาคม 2558)



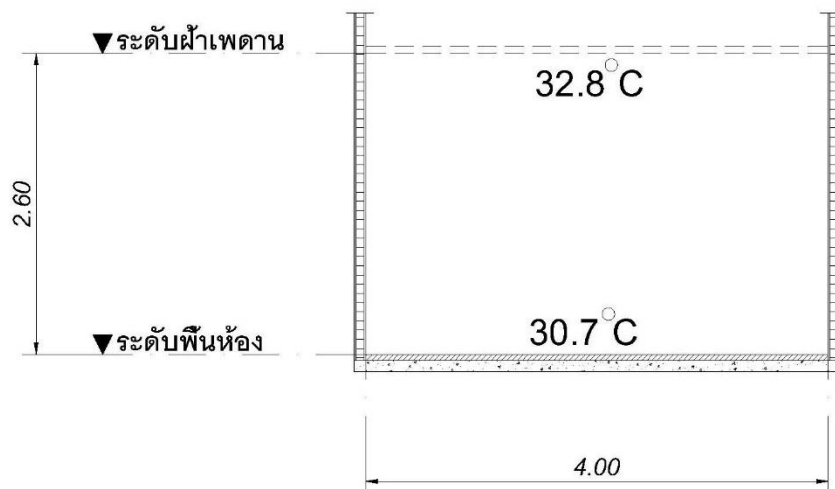
ภาพที่ 5-8 อุณหภูมิผิวด้านในผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบเรียบ ห้องจำลองขนาด 16 ตารางเมตร ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนอีพ็อกซีบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว



ภาพที่ 5-9 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนอีพ็อกซีบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว ระบบ T-bar

การคำนวณหาค่า MRT ภายในห้องจำลอง

$$\begin{aligned}
 MRT &= \frac{T_{\text{พื้น}}A_{\text{พื้น}} + T_{\text{ฝ้า}}A_{\text{ฝ้า}} + T_{\text{ผนังN}}A_{\text{ผนังN}} + T_{\text{ผนังS}}A_{\text{ผนังS}} + T_{\text{ผนังE}}A_{\text{ผนังE}} + T_{\text{ผนังW}}A_{\text{ผนังW}}}{(A_{\text{พื้น}} + A_{\text{ฝ้า}} + A_{\text{ผนังN}} + A_{\text{ผนังS}} + A_{\text{ผนังE}} + A_{\text{ผนังW}})} \\
 MRT &= \frac{(30.7 \times 16) + (33.5 \times 16) + (29 \times 10.4) + (30.5 \times 10.4) + (29.5 \times 10.4) + (32 \times 10.4)}{(16 + 16 + 10.4 + 10.4 + 10.4 + 10.4)} \\
 MRT &= \frac{491.2 + 536 + 301.6 + 317.2 + 306.8 + 332.8}{73.6} \\
 MRT &= 31.06
 \end{aligned}$$



ภาพที่ 5-10 อุณหภูมิพื้นห้องและอุณหภูมิผิวล่างของฝ้าเพดานคำนวณกันความร้อนร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรุด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว ระบบอุดรอยรั่วระหว่างแผ่นฝ้า

การคำนวณหาค่า MRT ภายในห้องจำลอง

$$\begin{aligned} \text{MRT} &= T_{\text{พื้น}}A_{\text{พื้น}} + T_{\text{ฝ้า}}A_{\text{ฝ้า}} + T_{\text{ผนังN}}A_{\text{ผนังN}} + T_{\text{ผนังS}}A_{\text{ผนังS}} + T_{\text{ผนังE}}A_{\text{ผนังE}} \\ &\quad + T_{\text{ผนังW}}A_{\text{ผนังW}} / (A_{\text{พื้น}} + A_{\text{ฝ้า}} + A_{\text{ผนังN}} + A_{\text{ผนังS}} + A_{\text{ผนังE}} + A_{\text{ผนังW}}) \\ \text{MRT} &= ((30.7 \times 16) + (32.8 \times 16) + (29 \times 10.4) + (30.5 \times 10.4) + \\ &\quad (29.5 \times 10.4) + (32 \times 10.4)) / (16 + 16 + 10.4 + 10.4 + 10.4 + 10.4) \\ \text{MRT} &= (491.2 + 524.8 + 301.6 + 317.2 + 306.8 + 332.8) / 73.6 \\ \text{MRT} &= 30.9 \end{aligned}$$

ตารางที่ 5.7 แสดงผลจากการคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบห้องจำลองขนาด 4 x4 ตารางเมตร ที่ติดตั้งฝ้าเพดานคำนวณกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษาที่ระดับความสูง 2.60 เมตร

ระบบฝ้าเพดานคำนวณกันความร้อนที่ติดตั้งในห้องจำลอง	MRT ภายในห้องจำลอง	
	ระบบ T-bar	ระบบอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้า
ฝ้าเพดานฉนวนใยแก้ว หนา 19 มม.ขนาดแผ่น 60 x 60 ซม. (ค่า R = 3.3 h ft ² oF / Btu.)	33.68	33.36
ฝ้าเพดาน EPS foam หนา 1"ขนาดแผ่น 60 x 60 ซม. (ค่า R = 3.85 h ft ² oF / Btu.)	32.8	32.6
ฝ้าเพดานคำนวณกันความร้อนยิปซัมบอร์ด หนา 9 มม. กรุ EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบ.ฟุต หนา 2" (ค่า R = 8.02 h ft ² oF / Btu.)	31.06	30.9

จากตารางที่ 5.7 การอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบภายในห้องลงได้ โดยที่ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่น้อยกว่าจะได้รับอิทธิพลจากการอุดรอยรั่วมากกว่าระบบฝ้าเพดานที่มีความต้านทานความร้อนที่สูงกว่า ส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิโดยรอบก่อนและหลังทำการอุดรอยรั่วมีค่ามากกว่า

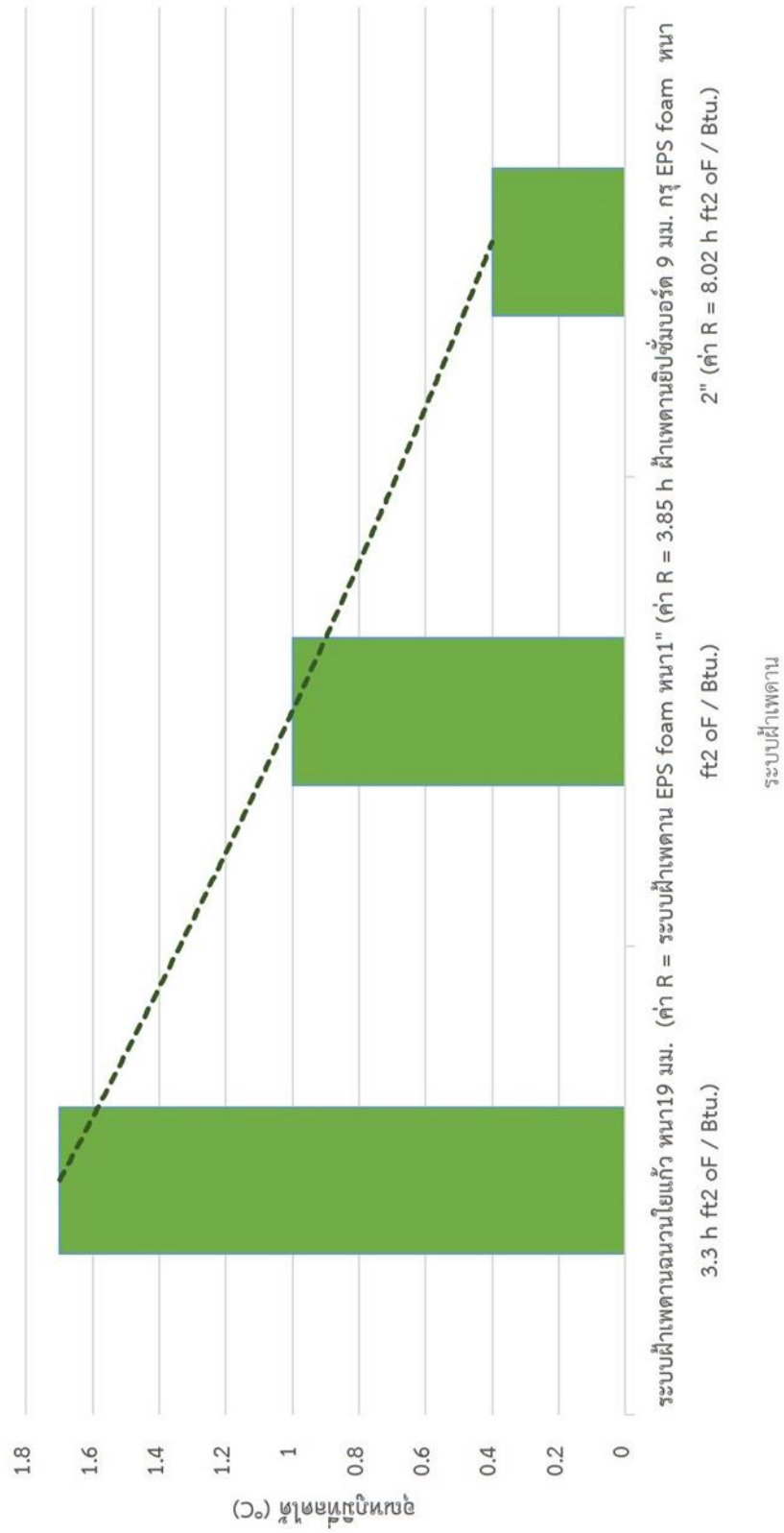
5.1.3 สรุปผลอิทธิพลของโครงเคร่า T-bar ต่อการใช้พลังงานและความรู้สึกร้อนหนาวของผู้ใช้อาคาร

ในด้านพลังงาน เมื่อพิจารณาอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษาที่นำมาทดสอบ ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่มีค่าความต้านทานความร้อน (Resistance, R) ที่น้อยกว่า เมื่อทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานแล้วสามารถลดอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานลงได้ในปริมาณที่มากกว่าระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงกว่า (ดูภาพที่ 5-11)



อุณหภูมิที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ในแต่ละ

กรณีศึกษา

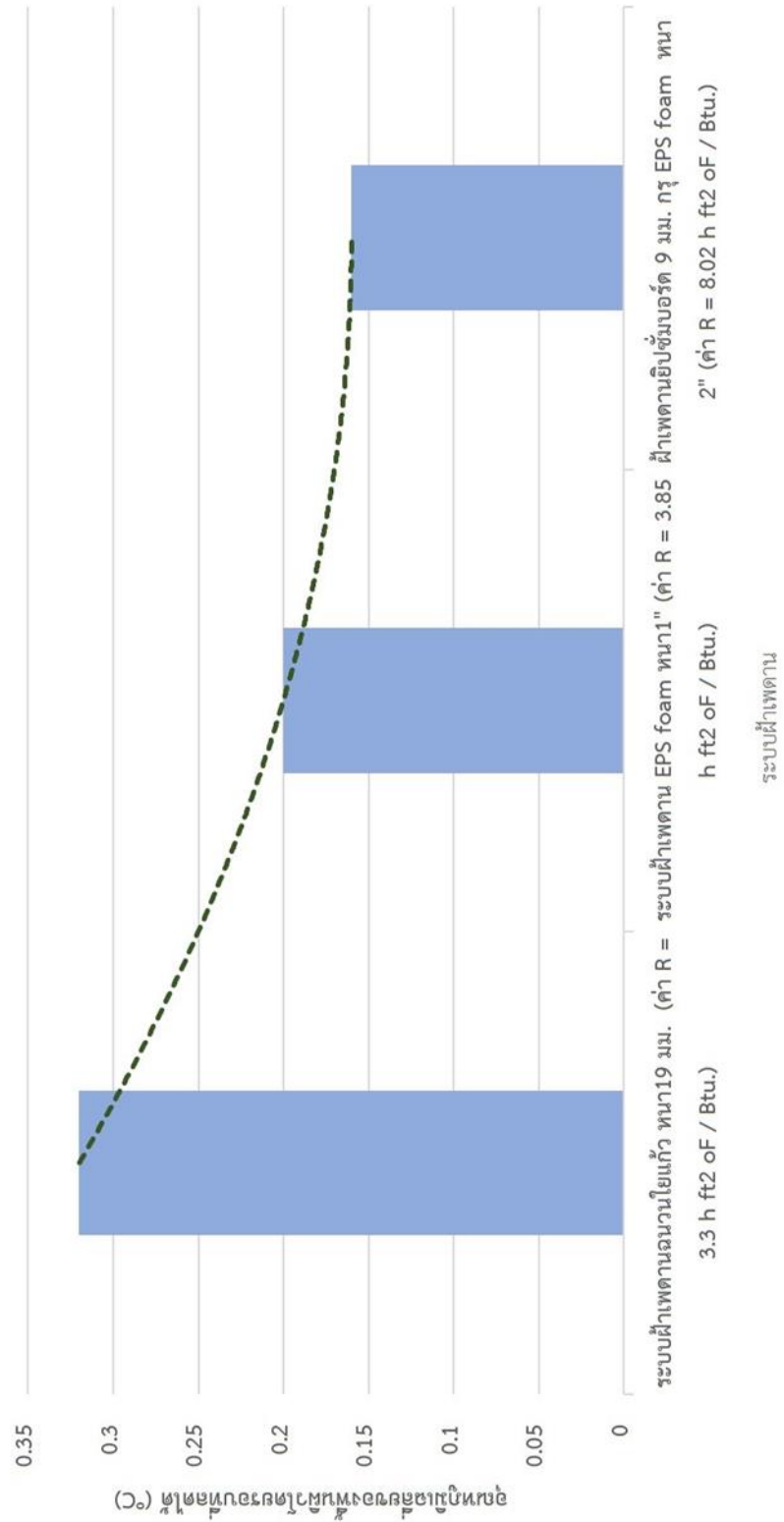


ภาพที่ 5-11 อุณหภูมิห้องใต้เพดานที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ในแต่ละกรณีศึกษา

ผลการทดลองที่แสดงในภาพที่ 5-11 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า แผ่นฝ้าเพดานที่มีค่าความต้านทานความร้อนน้อย ค่าผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ของห้องใต้ฝ้าเพดานหลังจากทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานมีค่ามากขึ้น ในขณะที่เดียวกันแผ่นฝ้าเพดานที่มีความต้านทานความร้อนสูง ค่าผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ของห้องใต้ฝ้าเพดานหลังจากทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานมีค่าน้อยลง

ในด้านความรู้สึกร้อนหนาวของผู้ใช้อาคาร จากผลการทดลองการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานในแต่ละกรณีศึกษา อุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนแต่ละกรณีศึกษามีค่าลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดาน เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานในแต่ละกรณีศึกษามาคำนวณหาอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องจำลองขนาด 16 ตารางเมตร ได้ผลสรุปว่า ห้องจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่อุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานมี MRT ที่ต่ำกว่าห้องจำลองที่ติดตั้งฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar (ดูภาพที่ 5-12)

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ในแต่ละกรณีศึกษา



ภาพที่ 5-12 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบที่ลดลงเมื่อทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ในแต่ละกรณีศึกษาที่ติดตั้งในห้องจำลองก่อผนังอิฐมวลเบา ฉาบเรียบหนา 4 นิ้วขนาดห้อง 16 ตารางเมตร

ผลการทดลองที่แสดงในภาพที่ 5-12 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนในห้องจำลองที่เหมือนกัน ระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่ค่าความต้านทานความร้อนน้อยกว่า เมื่อทำการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดาน สามารถลดค่า MRT ของห้องลงได้มากกว่าระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่มากกว่า

การอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานสามารถลดอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานลงได้ ส่งผลให้ภาระการทำความร้อนของเครื่องปรับอากาศลดลง ทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายในแต่ละเดือนลงได้ เมื่อนำฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนทุกกรณีศึกษามาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านพลังงานและความรู้สึกร้อนหนาว พบว่าห้องที่ติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร กรูด้วย EPS foam ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 2 นิ้ว (ค่า $R = 8.02 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$) ที่แก้ไขการรั่วซึมของความร้อนระหว่างรอยต่อของแผ่นฝ้าเพดานด้วยการติดตั้งลักษณะเข้าลิ้น ในช่วงที่ห้องจำลองได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของวันจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) พบว่ามีอุณหภูมิห้องใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นฝ้าเพดานต่ำกว่ากรณีศึกษาอื่นๆ ที่นำมาทดสอบ ในทางทฤษฎี เมื่ออุณหภูมิผิวล่างฝ้าเพดานมีค่าต่ำที่สุด ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องจำลองมีค่าต่ำกว่าห้องจำลองเดียวกันที่ติดตั้งระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนกรณีศึกษาอื่นๆ ผู้ใช้อาคารจึงรู้สึกเย็นกว่าเมื่ออยู่ในห้อง แต่เมื่อวิเคราะห์ในด้านความรู้ของผู้ใช้อาคารในสถานะจริง มนุษย์สามารถรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิมียิ่งมากหรือเท่ากับ 2 องศาเซลเซียส [16] ดังนั้นการอุดรอยรั่วของระบบฝ้าเพดานระบบ T-bar ผู้ใช้อาคารจะรับรู้ถึงความแตกต่างของอุณหภูมิได้เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิมียิ่งมากหรือเท่ากับ 2 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการอุดรอยรั่วระหว่างรอยต่อของฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนระบบ T-bar ที่มีค่าความต้านทานความร้อนตั้งแต่ $3.3 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} / \text{Btu}$ ขึ้นไปสามารถลดการการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้แต่ผู้ใช้อาคารไม่สามารถรับรู้ถึงอุณหภูมิภายในห้องที่ลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ มีข้อจำกัดในเรื่องเวลา อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดและบันทึกข้อมูล ทำให้ยังไม่สามารถควบคุมได้ทุกตัวแปรในขอบเขตงานวิจัย จึงเสนอแนะแนวทางการวิจัยในอนาคตดังนี้

5.2.1 ศึกษาและทำการทดลองให้ครอบคลุมในทุกฤดู เนื่องจากสภาพอากาศมีผลต่อการรับและคายความร้อน รวมไปถึงมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันในแต่ละฤดู จึงสมควรที่จะขยายผลการทดลองให้ครอบคลุมปัจจัยต่างๆ เหล่านี้

5.2.2 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิของระบบฝ้าเพดานฉนวนกันความร้อนจากห้องจำลองในสถานที่ที่ใช้งานจริง จะสามารถศึกษาอิทธิพลการรั่วซึมความร้อนบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นฝ้าเพดานต่ออุณหภูมิอากาศภายในห้องที่มีขนาดใหญ่



รายการอ้างอิง

1. สุนทร บุญญาธิการและธนิต จินดาวณิก, การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย. 2536: กรุงเทพมหานคร
2. ตัวอย่างฉนวนกันความร้อนใยแก้วชนิดปูเหนือฝ้าเพดาน
<http://www.microglassinsulation.com/images/product-staycool.jpg>.
3. สุนทร บุญญาธิการ, นวัตกรรมการใช้กระจกสำหรับเมืองร้อนชื้น. 2551, นนทบุรี: ห้างหุ้นส่วนจำกัด คุณพริ้นท์.
4. *Heat flow*.
<http://oeydms.weebly.com/uploads/8/9/5/5/8955843/5325370.jpg?135836036>
- 4.
5. American society of heating refrigerating and air-conditioning engineers., *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. SI ed. 1989: Atlanta, Ga. 1 bd. (flere pagineringer).
6. จุไรพร ตุมพสุวรรณ, พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยเขตร้อนชื้น. 2540, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
7. บริษัทไมโครไเบอร์อุตสาหกรรม จำกัดและบริษัทไมโครไฟเบอร์อุตสาหกรรม จำกัด, เอกสารข้อมูลการใช้ฉนวนใยแก้ว. 2551: กรุงเทพมหานคร.
8. *gypsum_board-500x500*. https://www.me-suk.com/image/cache/data/roof%20/gypsum_board-500x500.jpg.
9. *EPS foam*. <http://www.acts365.com/image/article/big/A20130127063237.jpg>.
10. *C-line*. <http://www.sealtex.co.th/upload/images/Image/Product/C-line.jpg>.
11. ปูนฉาบรอยต่อฝ้าเพดาน.
http://www.trachang.co.th/Resource/product_media/060503/prd-8852429307961-high1.jpg.
12. อนันต์ เงินประเสริฐ, การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสะสมความเย็นด้วยน้ำเย็นสำหรับปรับอากาศในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก. 2547: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน.

13. คนไทยรวมใจ สู้วิกฤตไฟฟ้า. 2556;
http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=356&Itemid=217.
14. ประกาศโครงสร้างอัตราปี 58 เฉลี่ยที่ 3.99 บาทต่อหน่วย ค่าไฟใหม่ลดราคา 10 บาทต่อบิล. 2557; <http://thairath.co.th/content/460104>.
15. น้ำผึ้ง ปัตตวงษ์, ผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยวที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนชื้น. 2556, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
16. Stein, B., J.S. Reynolds, and W.J. McGuinness, *MECHANICAL AND ELECTRICAL EQUIPMENT FOR BUILDINGS Seventh Edition*. 1986, United States of America.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก. ตารางแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมโพรไฟล์ (Profile Angle) มุมอะซิมูท (Azimuth Angle)

วันที่ 21 ของทุกเดือน ณ เวลาต่างๆ สำหรับพื้นที่ 14 องศาเหนือ

Date	Solar time	Solar Position		Profile (Shadow Line) Angles																Solar Position			Solar time		
		ALT	AZ	N	NNW	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Dir	AZ	ALT			
DEC	7	8	63			23	11	9	8	8	10	17	62								82	63	8	7	
	8	20	58			59	33	24	21	21	25	35	66								70	58	20	8	
	9	32	50			82	54	39	33	32	36	44	64								58	50	32	9	
	10	43	38			74	56	46	43	44	49	62	83								48	38	43	10	
	11	50	22																		40	22	50	11	
	12	53	0																		37	0	53	12	
	13	50	22																		40	22	50	13	
	14	43	38																		48	38	43	14	
	15	32	50																		58	50	32	15	
	16	20	58																		70	58	20	16	
	17	8	63																		82	63	8	17	
	JAN + NOV	7	9	67			23	12	10	9	10	12	21									81	67	9	7
		8	22	62			55	33	25	22	23	27	40	75								68	62	22	8
		9	34	53			78	53	40	35	34	39	49	70								56	53	34	9
		10	45	42																		46	42	45	10
		11	53	24																		37	24	53	11
		12	56	0																		32	0	56	12
13		53	24																		37	24	53	13	
14		45	42																		46	42	45	14	
15		34	53																		56	53	34	15	
16		22	62																		68	62	22	16	
17		9	67																		81	67	9	17	
FEB + OCT		7	12	76			36	22	15	12	12	14	19	40								79	76	12	7
		8	26	71			84	48	33	27	26	28	35	55								65	71	26	8
		9	39	64																		51	64	39	9
		10	51	52																		39	52	51	10
		11	61	32																		29	32	61	11
		12	65	0																		25	0	65	12
	13	61	32																		29	32	61	13	
	14	51	52																		39	52	51	14	
	15	39	64																		51	64	39	15	
	16	26	71																		65	71	26	16	
	17	12	76																		79	76	12	17	
	MAR + SEP	7	14	87			39	21	16	14	15	19	31	76								76	87	14	7
		8	29	82			66	43	33	29	30	35	47	76								61	82	29	8
		9	43	77			81	61	50	44	44	48	58	76								47	77	43	9
		10	57	67																		33	67	57	10
		11	69	49																		21	49	69	11
		12	76	0																		14	0	76	12
13		69	49																		31	49	69	13	
14		57	67																		33	67	57	14	
15		43	77																		47	77	43	15	
16		29	82																		61	82	29	16	
17		14	87																		76	87	14	17	
APR + AUG		6	3	101			14	5	4	3	3	4	5	14								87	101	3	6
		7	17	98			66	31	22	18	18	20	27	51								73	98	17	7
		8	32	95			82	53	39	32	32	35	44	64								58	95	32	8
		9	46	92			88	68	55	48	46	49	57	72								44	92	46	9
		10	61	89																		29	89	61	10
		11	75	83																		15	83	75	11
	12	86	0																		4	0	86	12	
	13	75	83																		15	83	75	13	
	14	61	89																		29	89	61	14	
	15	46	92																		44	92	46	15	
	16	32	95																		58	95	32	16	
	17	17	98																		73	98	17	17	
	18	3	101																		87	101	3	18	
	MAY + JUL	6	5	109			14	7	5	5	5	6	11	56								86	109	5	6
		7	19	107			49	28	21	19	20	24	36	73								72	107	19	7
		8	33	105			68	47	36	33	34	39	52	79								58	105	33	8
		9	47	104			77	61	51	47	48	53	64	83								44	104	47	9
10		61	106			81	71	64	61	62	67	75									30	106	61	10	
11		74	114			83	78	76	74	76	80	85									16	114	74	11	
12		84	180																		6	180	84	12	
13		74	114																		16	114	74	13	
14		61	106																		30	106	61	14	
15		47	104																		44	104	47	15	
16		33	105																		58	105	33	16	
17		19	107																		72	107	19	17	
18		5	109																		86	109	5	18	
JUN		6	5	113			8	6	5	6	6	8	14									85	113	5	6
		7	19	111			45	27	21	19	20	25	40	84								71	111	19	7
		8	33	109			63	45	36	33	35	41	56									58	109	33	8
		9	46	109			72	58	50	46	49	55	68									44	109	46	9
	10	60	113			77	68	62	60	62	68	78									30	113	60	10	
	11	73	125			80	76	74	73	76	81										17	125	73	11	
	12																								

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปยุณวัฒน์ อังสุโวทัย

วัน/เดือน/ปีเกิด : 14/01/2530

สถานที่เกิด : ขอนแก่น

ที่ทำงานปัจจุบัน : Strong Asset Co.,Ltd.

ตำแหน่ง : สถาปนิก

การศึกษา :

2553 ปริญญาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2548 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษา โรงเรียนสาธิต คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

