



การศึกษาเปรียบเทียบความร้อนผ่านฝ้าเพดานระหว่างฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศและฝ้าเพดาน
แบบฉนวน

A COMPARATIVE STUDY OF CEILING HEAT GAIN OF VENTILATED-DOUBLE CEILING
AND INSULATED-CEILING

องอาจ อุดมศิริ¹ และวิทยา พวงสมบัติ^{2,*}

¹นักศึกษานิพนธ์เอก, วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

*Corresponding author, E-mail: withaya.pua@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้เสนอการศึกษาเปรียบเทียบการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในบ้านทดสอบระหว่างบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานกับบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ หลังคาบ้านทดสอบเป็นหลังคาทรงเพิงหมาแหงน โดยมีมุมลาดเอียงของหลังคาประมาณ 25 องศา และมีปริมาตรห้องใต้หลังคาและห้องทดสอบอยู่ที่ 0.3 m^3 และ 1.2 m^3 ตามลำดับ ความต้านทานความร้อนรวมของบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานและบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศมีค่าเท่ากันเพื่อกำหนดค่าความต้านทานความร้อนเนื่องจากการระบายอากาศผ่านฝ้าเพดานสองชั้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศมีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่าบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน 1.5°C ภาพถ่ายความร้อนแสดงอุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดาน (ด้านห้อง) ของบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศมีค่าต่ำกว่าบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน โดยประมาณ 1.2°C กล่าวโดยสรุปหน้าที่ของฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ คือ ลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้ามาจากฝ้าเพดานและช่วยให้เกิดการระบายอากาศผ่านตัวบ้านทดสอบซึ่งจะทำให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิภายในบ้าน

คำสำคัญ: ฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ; ฉนวนกันความร้อน; ความร้อนที่ได้รับผ่านฝ้าเพดาน; ความสบายเชิงอุณหภูมิ

ABSTRACT

This paper proposes a comparative investigation of ceiling heat gain reduction of ventilated-double ceiling and insulated-ceiling. The roof of test houses is shed roof with 25° . The attic and room volumetrics are 0.3 m^3 and 1.2 m^3 , respectively. The total thermal resistance of the test house with insulated-ceiling and the test house with ventilated-double ceiling is equally valued to determine the thermal resistance due to ventilation through the double ceiling. Experimental results showed that the room temperature of the test house with ventilated-double ceiling is lower than the house with insulated-ceiling by maximum 1.5°C . The thermal image shown that the bottom surface (room side) of ceiling temperature of ventilated-double ceiling is lower than the house with insulated-

Ong-ard Udomsiri¹ and Withaya Puangsombut^{2,*}

¹Doctoral student, Doctor of Philosophy Program, Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin.

²Assistant Professor, Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin.

ceiling by about 1.2°C . Finally, the functions of ventilated-double ceiling are to decrease the ceiling heat gain, to induce the ventilation rate, which provides the indoor thermal comfort.

Keywords: Ventilated-double ceiling; Thermal insulation; Ceiling heat gain; Thermal comfort

1. บทนำ

การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารเข้าสู่ภายในพื้นที่อาศัยหรือพื้นที่ใช้งานนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารนั้นมีผลต่อความสบายเชิงอุณหภูมิของผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคารและมีผลทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารโดยใช้วัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ [1] การใช้สีทาผนังภายนอก [2] การใช้นวณกันความร้อนกับผนัง [3] และการใช้นวณกันความร้อนกับหลังคา [4] สามารถลดการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารเข้าสู่ภายในอาคารได้ แต่อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการดังที่กล่าวมานั้นสามารถลดได้เพียงความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารเข้ามาภายในอาคารแต่ไม่ลดความร้อนที่สะสมภายในเนื้อวัสดุซึ่งส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารด้วยเช่นกัน เพื่อให้มีแนวทางเลือกที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานของบ้านพักอาศัยและอาคารมากยิ่งขึ้น การระบายอากาศเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารและลดการสะสมความร้อนภายในอาคารเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจ และสามารถลดการใช้พลังงานได้ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมานักวิจัยได้มีการศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารโดยวิธีการระบายอากาศทั้งการระบายอากาศแบบธรรมชาติและแบบใช้พัดลมเพิ่มอัตราการระบายอากาศ หลังการรับรังสีเซลล์แสงอาทิตย์ [5] กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ [6] การระบายอากาศโดยใช้ระบบระบายอากาศเซลล์แสงอาทิตย์ [7] ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารและลดความร้อนสะสมภายในอาคารได้ ดังนั้นสภาวะอากาศภายในพื้นที่ที่มีการระบายอากาศจึงมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ลดลงเมื่อเทียบกับบ้านทดสอบที่ไม่มีการระบายอากาศ [8] และทำให้อยู่ในขอบเขตความสบายของการถ่ายเทอากาศสำหรับประเทศไทย [9] และมีอุณหภูมิเข้าใกล้ขอบเขตความสบายเชิงอุณหภูมิสำหรับคนไทย [10] มากยิ่งขึ้น เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่ที่มีการระบายอากาศ

บทความนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ภายในห้องระหว่างบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานและบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ โดยการทดสอบเปรียบเทียบนั้นเริ่มจากการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา ($U_{r,ins}$) ของบ้านทดสอบที่มีฉนวนกันความร้อน และออกแบบให้ค่า $U_{r,ins}$ ของบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานมีค่าเทียบเท่ากับบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ ($U_{r,double\text{ ceil.}}$) เพื่อประเมินค่าความต้านทานความร้อนที่เกิดจากการระบายอากาศผ่านฝ้าเพดานสองชั้นและทำการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านทดสอบต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา สำหรับหลังคาที่บิเพียงอย่างเดียวนั้นมีรายละเอียดการคำนวณตาม [11] และตัวแปรที่มีผลต่อการคำนวณ คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient, $U_{T,r}$) ซึ่งเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา (Total thermal resistance, $R_{T,r}$) โดยสามารถประเมินได้ดังนี้

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (U_r)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา สามารถประเมินได้จาก [11]

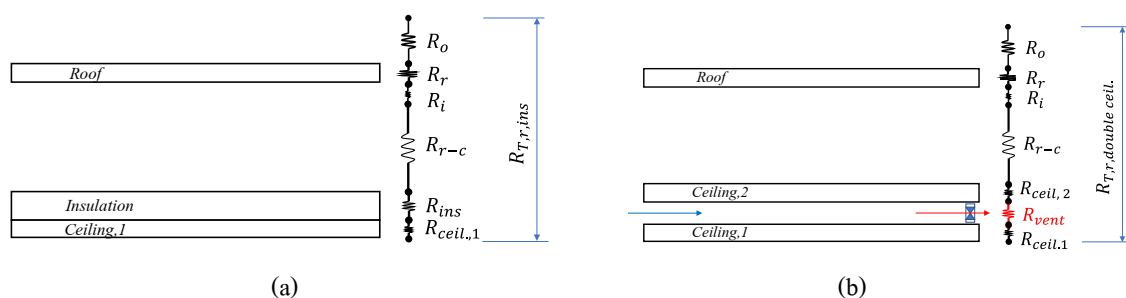
$$U_r = \frac{1}{R_{T,r}} \quad (1)$$

และ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา ($R_{T,r}$) สามารถประเมินได้จาก

$$R_{T,r} = R_o + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + R_{r-c} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + R_i \quad (2)$$

เมื่อ R_o คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวหลังคาด้านนอก ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$), R_i คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวหลังคาด้านใน ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$), R_{r-c} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาและเพดาน ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$), $x_1, x_2, \dots, x_n$ คือ ความหนาของวัสดุแต่ละชนิด (m) และ $k_1, k_2, \dots, k_n$ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)

สามารถเขียนค่าความต้านทานความร้อนของหลังคาดัดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน ($R_{T,r,ins}$) และค่าความต้านทานความร้อนของหลังคาดัดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ ($R_{T,r,double\,ceil.}$) ดังแสดงในรูปที่ 1 (a) และ (b)



รูปที่ 1 ค่าความต้านทานความร้อน (a) หลังคาดัดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน (b) หลังคาดัดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ

จากรูปที่ 1 (a) และ (b) ให้ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคาดัดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานเท่ากับค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคาดัดตั้งฝ้าสองชั้นที่มีการระบายอากาศ เขียนได้ดังสมการ (3)

$$R_{T,r,ins} = R_{T,r,double\,ceil.} \quad (3)$$

$$R_o + R_r + R_i + R_{r-c} + R_{ins} + R_{ceil,1} = R_o + R_r + R_i + R_{r-c} + R_{ceil,2} + R_{vent} + R_{ceil,1}$$

จัดเรียงสมการใหม่จะได้

$$R_{vent} = R_{ins} - R_{ceil,2} \quad (4)$$

เมื่อ R_{vent} คือ ค่าความต้านทานความร้อนเนื่องจากการระบายอากาศ ($m^2 \cdot ^\circ C/W$), R_{ins} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนกันความร้อน ($m^2 \cdot ^\circ C/W$), $R_{ceil,1}$ คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฝ้าเพดาน ($m^2 \cdot ^\circ C/W$), $R_{ceil,2}$ คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฝ้าเพดานชั้นที่สอง ($m^2 \cdot ^\circ C/W$), R_r คือ ค่าความต้านทานความร้อนของแผ่นมุงหลังคา ($m^2 \cdot ^\circ C/W$), และค่าความต้านทานความร้อนอื่นๆ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความต้านทานความร้อนของตำแหน่งต่างๆ ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) [11]

ค่าความต้านทานความร้อน	หลังคา	หลังคาติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน	หลังคาติดตั้งฝ้าสองชั้นที่มีการระบายอากาศ
R_o		0.055	0.055
$R_r = x_r/k_r = (0.0007/48.6)$		0.0000144	0.0000144
R_i		0.148	0.148
R_{r-c}		0.458	0.458
$R_{ins} = x_{ins}/k_{ins} = (0.05/0.033)$		1.5152	-
$R_{ceil,2} = x_{ceil,2}/k_{ceil,2} = (0.01/0.282)$		-	0.0355
R_{vent}		-	1.4797
$R_{ceil,1} = x_{ceil,1}/k_{ceil,1} = (0.01/0.282)$		0.0355	0.0355
R_t		2.2117	2.21167

2.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ (h_c)

เพื่อหาพลังงานในการขับพัดลมระบายอากาศผ่านฝ้าเพดานสองชั้น เมื่อได้ค่าความต้านทานความร้อนเนื่องจากการระบายอากาศแล้วจึงหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในฝ้าสองชั้นที่มีการระบายอากาศ ได้จาก

$$h_c = \frac{1}{R_{vent}} \quad (5)$$

จาก h_c สามารถคำนวณค่าตัวเลขนัสเซิลท์ (Nu) และคำนวณค่าตัวเลขเลย์โนลด์ส์ (Re) จาก [12]

$$Nu = \frac{h_c D_h}{k_f} \quad (6)$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (7)$$

เมื่อ D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกส์ (m), k_f คือ ค่าการนำความร้อนของอากาศที่ไหลผ่านฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ ($W/m \cdot ^\circ C$), Pr คือ ตัวเลขพริ้นด์เทิล

จากค่าตัวเลขเลขไรโนลด์ส์ (Re) สามารถคำนวณความเร็วเฉลี่ย (V_c) ผ่านฝ้าสองชั้นที่มีการระบายอากาศ (m/s) จาก [12]

$$Re = \frac{V_c D_h}{\nu} \quad (8)$$

เมื่อ ν คือ ความหนืดจลน์ของอากาศ (m^2/s)

จากความเร็วเฉลี่ย (V_c) ผ่านฝ้าสองชั้นที่มีการระบายอากาศ สามารถคำนวณอัตราการระบายอากาศผ่านฝ้าสองชั้นที่มีการระบายอากาศ ($\dot{Q}$) ได้จาก

$$\dot{Q} = V_c A_c \quad (9)$$

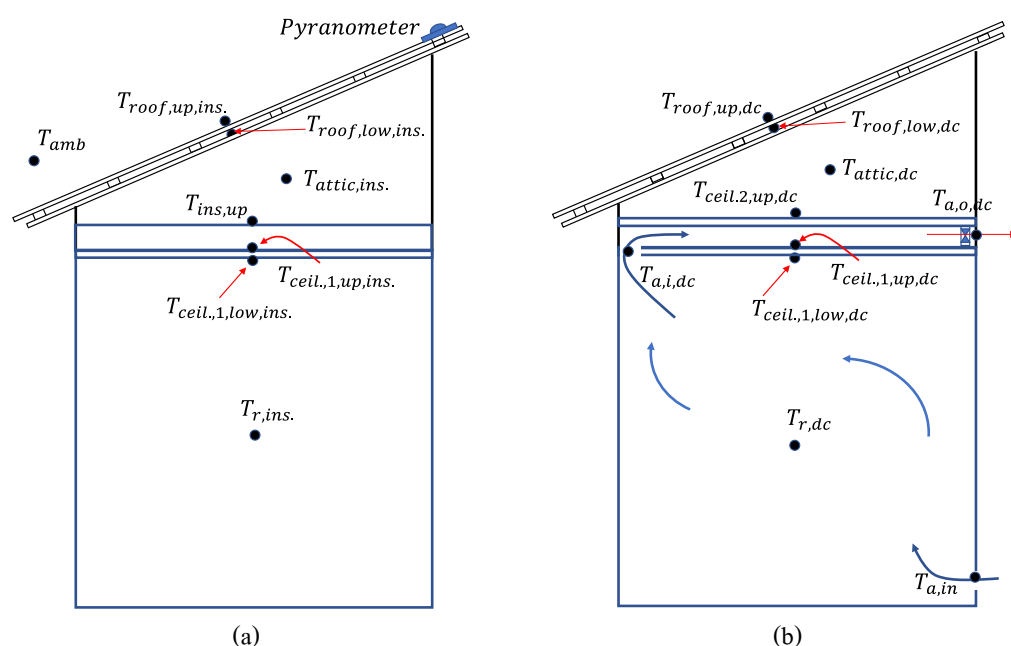
เมื่อ A_c คือ พื้นที่หน้าตัดการไหลของอากาศ (m^2) และสามารถคำนวณกำลังในการถ่ายเทอากาศ จาก

$$P = \gamma \dot{Q} h_T \quad (10)$$

เมื่อ h_T คือ เสดรวมของระบบ (m)

3. วิธีดำเนินการ

บทความนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานระหว่างบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนบนฝ้าเพดานกับบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ โดยบ้านทดสอบทั้ง 2 หลังมีขนาด กว้าง 1 m ยาว 1 m และสูง 1.2 m มีปริมาตรห้องได้หลังคา 0.3 m^3 หลังคาทรงเพิงหมาแหงนมีมุมลาดเอียงของหลังคาประมาณ 25 องศา



รูปที่ 3 ตำแหน่งวัด (a) บ้านติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน (b) บ้านติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ

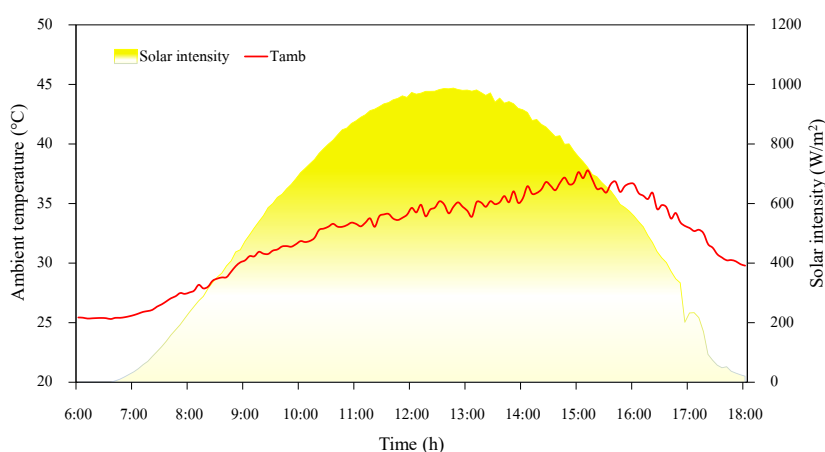
บ้านทดสอบหลังแรกเป็นบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนบนฝ้าเพดานและหลังที่สองเป็นบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศโดยใช้พัดลมระบายอากาศ จำนวน 1 ตัว (ได้จากการประเมินค่า R_{vent}) การตรวจวัดและบันทึกข้อมูลได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิห้องใต้หลังคา อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิผิวหลังคา อุณหภูมิผิวฉนวน อุณหภูมิผิวฝ้าเพดาน ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน ดังแสดงในรูปที่ 3 ในส่วนของเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดและบันทึกข้อมูลในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (มีช่วงการวัดอุณหภูมิ 0-1250°C มีค่าความแม่นยำ $\pm 0.5^\circ\text{C}$) โดยเทอร์โมคัปเปิลต่อตรงกับเครื่องบันทึกข้อมูล (Hioki Model: 8422-52 มีค่าความแม่นยำ $\pm 0.8\%$) อุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ (Kipp & Zonen: Model CMP11) อุปกรณ์วัดความเร็วลมของอากาศ (KIMO: Model VT 100) บันทึกข้อมูลทุก 5 นาที และกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke Ti200, range: -20°C to 650°C ; Thermal sensitivity: $\leq 0.075^\circ\text{C}$)

4. ผลการทดลอง

บทความนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนระหว่างบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานกับบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ โดยทดสอบในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม พ.ศ.2568) หลังจากการทดลองได้เลือกวันทดสอบที่มีประสิทธิภาพที่ดีมานำเสนอในบทความนี้

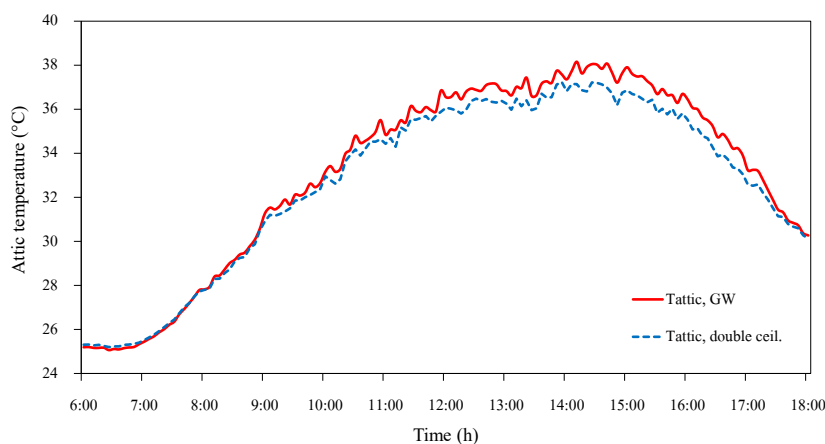
4.1 สภาวะอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิภายในบ้านทดสอบ

ในรูปที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการตรวจวัด จะเห็นได้ว่าจากช่วงเช้าถึงเย็น (06:00 - 18:00 น.) ไม่มีผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของเมฆ หรือเงาจากสภาวะแวดล้อมรอบข้างใด ๆ ตกกระทบหลังคาบ้านทดสอบ ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง 0-987 W/m^2 ค่าสูงสุดอยู่ที่เวลา 12:55 น. และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมอยู่ในช่วง 25.3-37.8°C ค่าสูงสุดอยู่ที่เวลา 15:10 น.

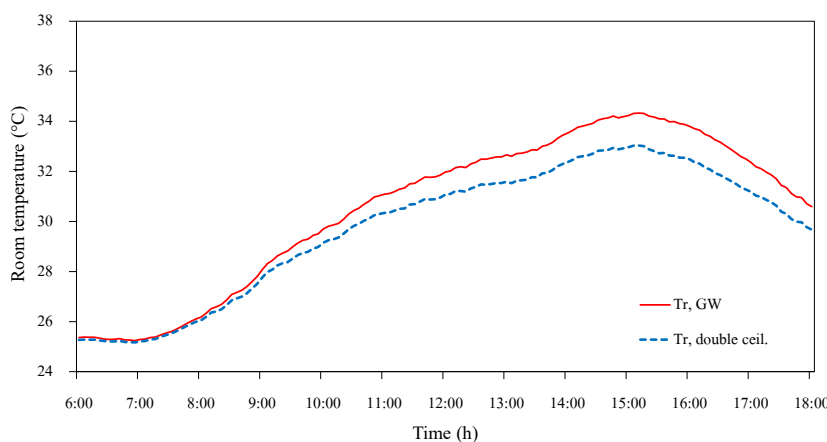


รูปที่ 4 อุณหภูมิอากาศแวดล้อมและค่ารังสีอาทิตย์

จากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ภายในห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบแสดงอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศมีค่าน้อยกว่าบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน อยู่ในช่วง $0.2 - 1.1^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 09:00-18:00 น. เป็นผลมาจากฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศนั้นถ่ายเทความร้อนจากส่วนห้องใต้หลังคาโดยการนำความร้อนผ่านผิวด้านบนสู่ผิวด้านล่างของเพดานชั้นที่สองและถูกถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนที่ผิวด้านล่างของฝ้าเพดานชั้นที่สองออกไปกับกระบายอากาศผ่านช่องระบายอากาศจึงทำให้ความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคามีน้อยลง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าในช่วงเช้า (06:00-09:00 น.) อุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบทั้งสองหลังมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าฉนวนกันความร้อนสามารถลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้ในช่วงเวลาดังกล่าวและหลังจากนั้นความร้อนสะสมภายในฉนวนกันความร้อนจึงถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในห้องทดสอบทำให้สอดคล้องกับอุณหภูมิภายในห้องของบ้านทดสอบที่แสดงในรูปที่ 6 และในรูปที่ 6 นี้จะเห็นได้ว่าผลของการระบายอากาศผ่านตัวบ้านก่อนที่จะผ่านฝ้าเพดานสองชั้นจึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องของบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นมีค่าต่ำกว่าบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานอยู่ในช่วง $0.3-1.5^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 09:00-18:00 น.



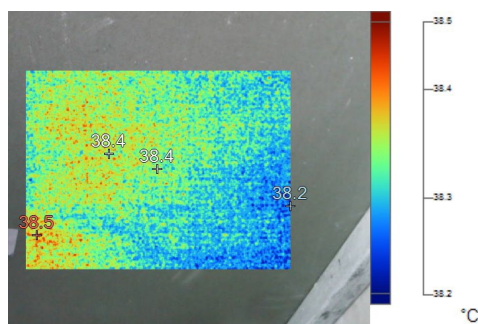
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบ



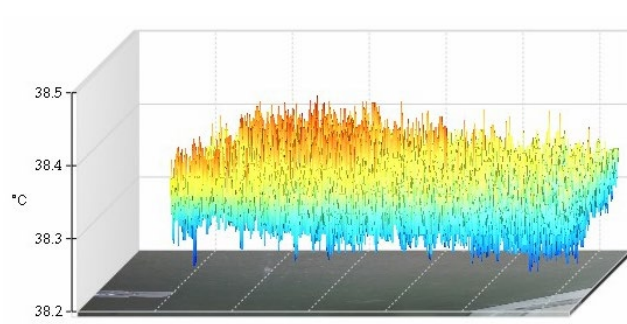
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องของบ้านทดสอบ

4.2 การถ่ายความร้อน

จากการทดสอบเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานและบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าสองชั้นที่มีการระบายอากาศ โดยการถ่ายภาพความร้อนที่ผิวด้านล่างของฝ้าเพดานชั้นที่หนึ่ง (ด้านห้องทดสอบ) ในรูปที่ 7 (a) แสดงภาพถ่ายความร้อนผิวด้านล่างฝ้าเพดานของบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน จะเห็นว่าการกระจายอุณหภูมิของพื้นผิวอยู่ในช่วง $38.2-38.5^{\circ}\text{C}$ และ (b) แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิบนกราฟ 3 มิติ ของผิวฝ้าเพดานจะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิบนพื้นผิวที่ถ่ายภาพเป็นไปตามรูปแบบการกระจายอุณหภูมิในรูป (a) ในส่วนรูปที่ 8 (a) แสดงภาพถ่ายความร้อนผิวด้านล่างฝ้าเพดานของบ้านติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ ซึ่งมีการกระจายอุณหภูมิของพื้นผิวอยู่ในช่วง $37.0-37.3^{\circ}\text{C}$ และ (b) เป็นไปตามรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิด้วยเช่นกัน บ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศมีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างของฝ้าเพดานมีค่าน้อยกว่าบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานประมาณ 1.2°C ซึ่งมีความสอดคล้องกับข้อมูลการวัดและบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ

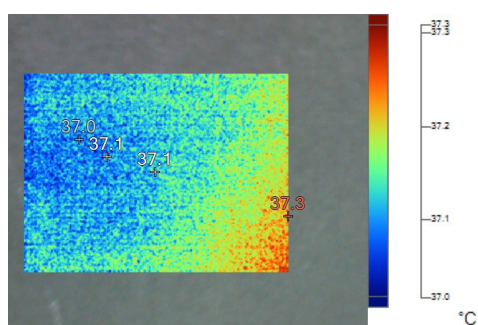


(a) ผิวด้านล่างฝ้าเพดาน

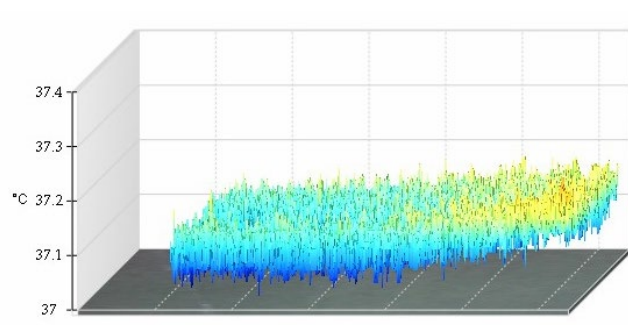


(b) การกระจายอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดาน

รูปที่ 7 ภาพถ่ายฝ้าเพดานและการกระจายอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน



(a) ผิวด้านล่างฝ้าเพดาน



(b) การกระจายอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดาน

รูปที่ 8 ภาพถ่ายฝ้าเพดานและการกระจายอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าสองชั้นที่มีการระบายอากาศ

4.3 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อน

จากการประเมินกำลังไฟฟ้าของพัดลมระบายอากาศ (ได้จากการประเมินค่า R_{vent} มีขนาดกำลังไฟฟ้าประมาณ 1 W) ในงานวิจัยนี้ได้ใช้พัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (DC fan) ขนาด 12 V --> 1.67 W ต่อผ่านหม้อแปลงขนาด 220-240 V (AC) และสมมุติให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพ 85% เมื่อประเมินกำลังไฟฟ้าสำหรับพัดลมระบายอากาศแล้วได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณค่า R_{vent} ได้กำลังไฟฟ้าของพัดลมประมาณ 1.0 W – DC 12 V

	Day	Month	Year
Power	0.028 kWh/day	0.847 kWh/month	10.306 kWh/year
Cost	0.141 ฿/day	4.235 ฿/month	51.53 ฿/year

ตารางที่ 3 กำลังไฟฟ้าจริงของพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งที่ฝ้าเพดานสองชั้น (ขนาดที่เลือกใช้ 1.67 W – DC 12 V)

	Day	Month	Year
Power	0.047 kWh/day	1.413 kWh/month	17.19 kWh/year
Cost	0.235 ฿/day	7.064 ฿/month	85.95 ฿/year

จากตารางที่ 2 แสดงค่าการใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับพัดลมระบายอากาศที่ได้จากการคำนวณ R_{vent} และ ตารางที่ 3 แสดงค่าการใช้กำลังไฟฟ้าจริงของพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งที่ฝ้าเพดานสองชั้น (เลือกขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่ได้จากการคำนวณ) จะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าจริงของพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งที่ฝ้าเพดานสองชั้น และค่าการใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับพัดลมระบายอากาศที่ได้จากการคำนวณ R_{vent} ต่อวัน ต่อเดือน และต่อปี อยู่ที่ 0.019 kWh/day, 0.566 kWh/day และ 6.884 kWh/day ตามลำดับ และในส่วนต้นทุนกำลังไฟฟ้า (คิดค่าไฟฟ้าที่ 5 ฿/kWh) ค่าความแตกต่างของต้นทุนกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมระบายอากาศ ต่อวัน ต่อเดือน และต่อปี อยู่ที่ 0.094 ฿/day, 2.829 ฿/day และ 34.42 ฿/day ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปติดตั้งกับบ้านพักอาศัยจริงนั้นพื้นที่ฝ้าเพดานจะมีขนาดใหญ่ทำให้ขนาดของพัดลมระบายอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นและอาจต้องคำนวณต้นทุนส่วนประกอบอื่นๆ ของระบบระบายอากาศด้วย

5. สรุปผล

การทดลองเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาระหว่างบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานและบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ โดยเริ่มจากกำหนดให้ค่าความต้านทานความร้อนรวมของบ้านทดสอบติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน (คำนวณตาม [11]) ให้มีค่าเท่ากับบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ เพื่อประเมินค่าความต้านทานความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนผ่านฝ้าเพดานสองชั้น และประเมินอัตราการไหลของอากาศผ่านฝ้าเพดานสองชั้น ซึ่งสามารถประเมินกำลังในการขับเคลื่อนดูดอากาศได้ประมาณ 1.0 W และทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของบ้านทดสอบทั้ง 2 หลัง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ช่วงเช้าเวลาประมาณ 06:00-09:00 น. จนวนกันความร้อนมีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้ใกล้เคียงกันมากกับฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ
2. ฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศช่วยให้อุณหภูมิห้องมีค่าลดลงเนื่องจากการถ่ายเทอากาศผ่านตัวบ้าน
3. ฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศทำให้อุณหภูมิอากาศในห้องได้หลังคาลดลงเนื่องจากการระบายอากาศผ่านฝ้าเพดานสองชั้นทำให้ความร้อนภายในห้องได้หลังคาถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานชั้นที่สองและออกไปพร้อมกับการระบายอากาศ
4. ผลของการระบายอากาศทำให้อุณหภูมิผิวของฝ้าเพดานด้านที่ติดกับห้องทดสอบของบ้านติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศมีค่าน้อยกว่าบ้านติดตั้งจนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน

จากการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในห้องของบ้านทดสอบติดตั้งจนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานมีค่ามากกว่าบ้านติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศ เนื่องจากบ้านทดสอบติดตั้งฝ้าเพดานสองชั้นที่มีการระบายอากาศนั้นสามารถถ่ายเทความร้อนออกจากบ้านทดสอบผ่านทางฝ้าเพดานสองชั้น ในขณะที่บ้านทดสอบติดตั้งจนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานนั้นสะสมความร้อนภายในตัวจนวนและเมื่ออุณหภูมิของจนวนมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ความร้อนที่สะสมภายในเนื้อจนวนถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในห้องทดสอบได้

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตน โกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตน โกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กานต์ สุขสงญา, อธิพงษ์ ชัยสาขันธ์, อำนาจ จันทน์กะพ้อ, ปรีดา จันทวงษ์, วิชาญ วิมานจันทร์ และ พิรัช นามประกาย. การศึกษาเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างบ้านที่ใช้ผนังอิฐมวลเบากับผนังมวลเบาในการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติทางความร้อน. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550. หน้า 34-42.
- [2] ปรีดา จันทวงษ์, วิชาญ วิมานจันทร์, ชนากรค์ อาสาสุจิตร, จงจิตร หิรัญลาภ, โจเซฟ เกลารี, อติสร ออฤติ, อรรถกร พ่วงจิน และ เลอสรร์ ใจกระจำ. การศึกษาทดสอบเปรียบเทียบของสภาวะอากาศภายในบ้านจำลองระหว่างลิทาอ้อนกับลิทิมที่ใช้ทาผนังภายนอกภายในคฤหาสน์อากาศแบบร้อนชื้นของกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2550. หน้า 11-20.
- [3] จิราภา เดชจิระกุล และ ธนิต จินดาฉนิค. ประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนในระบบผนังด้วยจนวนใยแก้ว. *สารศาสตร์*. ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2563. หน้า 81-92.
- [4] วลี อมาตยกุล, จิระศักดิ์ พุกคำ, คิชฐา นนทิวรวงษ์ และ วิทยา พวงสมบัติ. สมรรถนะเชิงความร้อนของจนวนกันความร้อน: การติดตั้งจนวนกันความร้อนใต้หลังคาหลังคา. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*. ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2566. หน้า 63-72.
- [5] Phiraphat, S. Prommas, R. and Puangsombut, W. Experimental study of natural convection in PV roof solar collector. *International Communication in Heat and Mass Transfer*, 2017, Vol. 89, pp. 31-38.
- [6] คงฤทธิ์ จิงพิมลยานนท์, คิชฐา นนทิวรวงษ์ และ ธนา อนันต์อาษา. การลดความร้อนผ่านห้องใต้หลังคาโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*. ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2563. หน้า 58-69.

-
- [7] จิระศักดิ์ พุกคำ, สมชาย ทิพย์อ้าย และ ดิณณภพ แพงผม. การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานด้วยระบบระบายอากาศเซลล์แสงอาทิตย์. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*. ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2563. หน้า 39-47.
- [8] Ratchatha, W. Pukdum, J. Phengpom, T. and Puangsombut, W. Development of a concrete vent tile assisted with PV-powered fan for reducing heat gain and providing comfort. *The International Conference on Multidisciplinary Research Trends in the Greater Mekong Subregion 2024 (ICGMS 2024)*, Nongkhai Thailand, 24-26 July 2024, pp. 71-78, <https://is.kku.ac.th/ICGMS/public/>.
- [9] Khedari, J. Yamtraipat, N. Pratintong, N. and Hirunlabh, J. Thailand ventilation comfort chart. *Energy and Buildings*. 2000, Vol. 32, pp. 245-249.
- [10] Taweekun, J. and Tantiwichien, Ar-U-Wat. Thermal comfort zone for Thai people. *Engineering*. 2013, Vol. 5, pp. 525-529.
- [11] ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552
- [12] Çengel, Y. A. and Ghajar, A. Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2015.