

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การประเมินอุณหภูมิใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Assessment the temperature under the roof solar collector by mathematical model

นิรันดร์ วัชรโรตม¹ และ วิทยา พวงสมบัติ^{2,*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา
60 หมู่ 3 ต.หันตรา อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000

^{2,*} สาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน
วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 02-889-4585-7 ต่อ 2630, โทรสาร: 02-889-4585-7

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

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคารับรังสีอาทิตย์ โดยหลังคารับรังสีอาทิตย์ประกอบด้วยหลังคาชั้นบนเป็นกระเบื้องคอนกรีต ด้านล่างเป็นแผ่นยิปซัมและมีช่องว่างอากาศเท่ากับ 10 เซนติเมตร มุมหลังคารับรังสีอาทิตย์ที่กระทำกับแนวระดับเท่ากับ 30 องศา

การประเมินจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการเปลี่ยนค่าความเร็วลมผ่านผิวด้านบนของหลังคารับรังสีอาทิตย์ ตั้งแต่ 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s ทำให้อุณหภูมิใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์มีค่าลดลงประมาณ 3.0°C และ อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องว่างมีค่าลดลงประมาณ 5 m³/hr ในขณะที่เดียวกันทำให้ค่าความร้อนรับเข้าสู่ตัวบ้านมีค่าลดลงด้วย

คำสำคัญ: หลังคารับรังสีอาทิตย์/ กระเบื้องคอนกรีต/ แผ่นยิปซัม/ ความร้อนรับ

Abstract

This paper studies the mathematical model of roof solar collector (RSC). The RSC composed of the upper and the lower plates. The upper plat is concrete tile and the lower plate is gypsum board. The air gap space is 10 cm. The angle inclination was fixed at 30° from the horizontal plane.

Assessment of the mathematical model by varied the air velocity (1.0, 1.5 and 2.0 m/s) on the top surface of the RSC. The under roof temperature and airflow rate were decreased about 3.0°C and 5 m³/hr, respectively. In the meantime, the heat gain into the space room was decreased.

Keywords: Roof solar collector/ Concrete tile/ Gypsum board/ Heat gain

1. บทนำ

หลังคาบ้านเป็นส่วนประกอบของบ้านที่สำคัญและ เป็นส่วนที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการรับความร้อนที่ ถ่ายเทผ่านหลังคาได้ จากปัญหาการรับความร้อนผ่าน หลังคาบ้านนั้นจะมีวิธีการป้องกันความร้อน หลากหลายรูปแบบ ทั้งการติดตั้งฉนวน เปิดช่อง ระบายอากาศ ฯลฯ ซึ่งจากวิธีการดังกล่าวสามารถลด ความร้อนผ่านหลังคาบ้านลงมาได้ส่วนหนึ่ง Puangsombut et al. [1, 2] ได้ทำการศึกษถึงการ ถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์โดยสร้าง แบบจำลองของหลังคารับรังสีอาทิตย์ ซึ่งหลังคารับ รังสีอาทิตย์ประกอบด้วยแผ่นด้านบนเป็นแผ่นเพลท ร้อนโดยป้อนความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ แผ่น ด้านล่างเป็นแผ่นสะท้อนความร้อน และมีช่องว่าง อากาศระหว่างแผ่นเพลททั้งสองซึ่งสามารถปรับค่าได้ ตั้งแต่ 3 – 15 cm มุมของหลังคารับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 15° และ 30° ในการทดสอบทำการป้อนฟลักซ์ความร้อนเท่ากับ 190.5, 285.7, 380.9 และ 476.2 W/m² และเปลี่ยนแผ่นเพลทด้านล่างจากแผ่นสะท้อนความร้อนเป็นแผ่นยิปซัม จากการทดสอบในกรณีที่ใช้แผ่น สะท้อนความร้อนสามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศ แบบธรรมชาติได้ประมาณ 40-50% และสามารถลด ความร้อนได้ประมาณ 50% ต่อมา เอกศักดิ์ ชื้อสกุล ไพศาล และ วิทยา พวงสมบัติ [3] ได้ทำการประเมิน อัตราการไหลผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์โดย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ประกอบด้วยหลังคาด้านบนเป็นกระเบื้อง ซีแพคโมเนียหลังคาด้านล่างเป็นแผ่นยิปซัม และ ช่องว่างระหว่างอากาศมีขนาด 3, 7 และ 11 cm และ มุมหลังคารับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 25° และ 30° จาก การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้ทราบว่าที่ มุม 30° และช่องว่างอากาศขนาด 11 cm มีอัตราการ ไหลผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์มากกว่า ซึ่งส่งผลให้ อุณหภูมิห้องใต้หลังคามีค่าลดลงและลดการสะสม ความร้อนภายในห้องใต้หลังคาได้ ต่อมา Kumar and Mullick [4] ได้ศึกษาการพาความร้อนเนื่องจากลมที่

ผิวด้านนอกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบจาก การทดสอบจะได้สมการสำหรับการพาความร้อน เนื่องจากลมซึ่งทำให้สามารถนำสมการไปใช้ประโยชน์ ในการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อลดความร้อน สูญเสียเนื่องจากลม อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการ ออกแบบหลังคารับรังสีอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการลดความร้อนผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์เข้าสู่ตัว บ้านได้

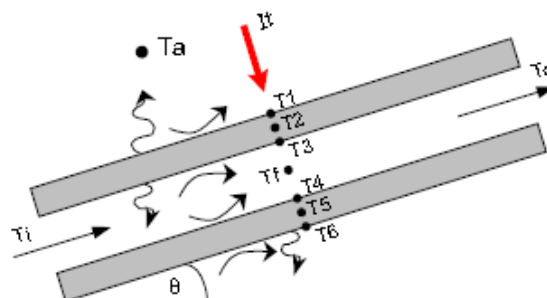
รายงานการวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ของหลังคารับรังสีอาทิตย์เพื่อทำการ ประเมินอุณหภูมิใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์โดยการ เปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่พัดผ่านผิวด้านบนของ หลังคารับรังสีอาทิตย์

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ

หลังคารับรังสีอาทิตย์

แบบจำลองหลังคารับรังสีอาทิตย์ประกอบด้วย หลังคาชั้นบนเป็นหลังคากระเบื้องคอนกรีตและหลังคา ชั้นล่างเป็นแผ่นยิปซัม ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมี สมมติฐานในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

- หลังคารับรังสีอาทิตย์ดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เท่ากันทั้งแผ่น
- ลมพัดผ่านตลอดหลังคารับรังสีอาทิตย์
- การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบไม่คงที่
- ไม่คิดถึงฝุ่นละอองที่ติดบนหลังคา



รูปที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคา รับรังสีอาทิตย์

จากสมมติฐานสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

2.1 กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและแผ่นยิปซัม

$$\alpha_m I_t + h_w (T_a - T_1) + \varepsilon_m \sigma (T_s^4 - T_1^4) +$$

$$k_m \frac{\partial T}{\partial x_m} = \rho_m c_m \frac{\Delta x_m}{2} \frac{\partial T_1}{\partial t} \quad (1)$$

เมื่อ

I_t คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหลังคา W/m^2 [5]

α_m คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของกระเบื้องคอนกรีต

h_w คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม $W/m^2 \cdot K$

ε_m คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของกระเบื้องคอนกรีต

σ คือ ค่าคงที่สเตฟาน-โบลท์ซมันน์ $5.669 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$

k_m คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน $W/m \cdot K$

ρ_m คือ ความหนาแน่นของกระเบื้องคอนกรีต kg/m^3

c_m คือ ค่าความร้อนจำเพาะของกระเบื้องคอนกรีต $J/kg \cdot K$

Δx_m คือ ความหนา m

T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม K

T_{sky} คือ อุณหภูมิท้องฟ้า K

T_1 คือ อุณหภูมิผิวด้านนอกของกระเบื้องคอนกรีต K

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลมที่พื้นผิวของกระเบื้องคอนกรีต สามารถคำนวณได้จาก [5]

$$h_w = 2.8 + 3.0 \times V_w \quad (2)$$

เมื่อ

V_w คือ ความเร็วลม m/s

สำหรับการถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อกระเบื้องคอนกรีต

$$\frac{1}{\alpha_m} \frac{\partial T_m}{\partial t} = \frac{\partial^2 T_m}{\partial x_m^2} \quad (3)$$

เมื่อ

T_m คือ อุณหภูมิในเนื้อคอนกรีต K

t คือ เวลา s

และในส่วนการถ่ายเทความร้อนในเนื้อแผ่นยิปซัม

$$\frac{1}{\alpha_g} \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial^2 T_g}{\partial x_g^2} \quad (4)$$

เมื่อ

T_m คือ อุณหภูมิในเนื้อคอนกรีต K

α_m คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแผ่นยิปซัม

2.2 อากาศที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างอากาศ

อากาศที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างอากาศสามารถสมดุลสมการพลังงาน ดังนี้

$$h_{c,3} (T_3 - T_f) + h_{c,4} (T_4 - T_f) = \frac{\dot{m}_f c_p}{A_c} (T_o - T_i) \quad (5)$$

เมื่อ

$h_{c,3}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวด้านในของหลังคาคอนกรีต $W/m^2 \cdot K$

$h_{c,4}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวด้านในของแผ่นยิปซัม $W/m^2 \cdot K$

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล kg/s

c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ $J/kg \cdot K$

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดที่อากาศไหลผ่าน m^2

T_i คือ อุณหภูมิอากาศที่เข้าหลังคา K

T_o คือ อุณหภูมิอากาศที่ออกหลังคา K

T_f คือ อุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่านหลังคา K

T_3 คือ อุณหภูมิที่ผิวด้านในของกระเบื้องคอนกรีต K

T_4 คือ อุณหภูมิที่ผิวด้านในของแผ่นยิปซัม K

อัตราการไหลของอากาศผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จาก [5]

$$Q = C_d A_c \sqrt{\frac{2g \cdot \sin \theta \cdot H \left(\frac{T_o - T_i}{T_o} \right)}{(1 + A_r^2)}} \quad (6)$$

เมื่อ

Q คือ อัตราการไหลของอากาศ m^3/hr

C_d คือ สัมประสิทธิ์การไหลผ่าน

g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก m/s^2

H คือ ความยาวของหลังคารับรังสีอาทิตย์ m

A_r คือ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของหลังคารับรังสีอาทิตย์

ความร้อนที่ถ่ายเทออกโดยการระบายอากาศผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จาก

$$q_u = \frac{\dot{m} c_p}{A_c} (T_o - T_i) \quad (7)$$

เมื่อ

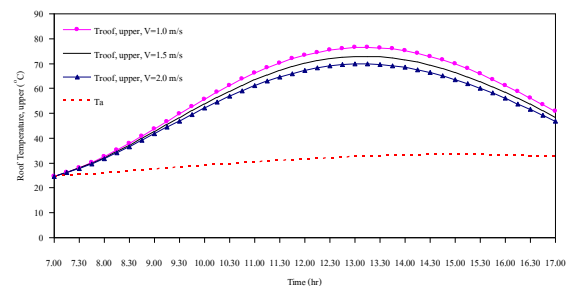
q_u คือ ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกโดยการระบายอากาศผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์ W/m^2

3. ผลและวิจารณ์

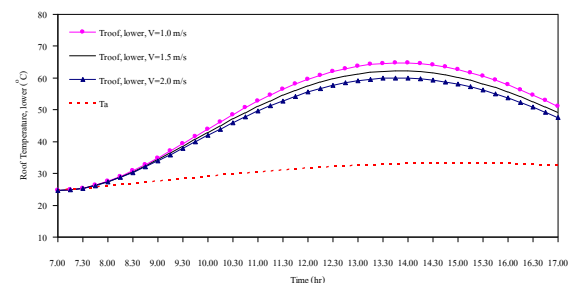
การประเมินอุณหภูมิใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่ไหลผ่านผิวด้านบนของหลังคารับรังสีอาทิตย์ โดยจะเปลี่ยนแปลงความเร็วลมตั้งแต่ 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s มุมของหลังคารับรังสีอาทิตย์ 30° และช่องว่างอากาศเท่ากับ 10 cm

3.1 อุณหภูมิกระเบื้องคอนกรีต

จากการประเมินด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมดังกล่าวข้างต้นนั้น จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่ไหลผ่านผิวด้านบนของกระเบื้องคอนกรีต อุณหภูมิที่ผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีตมีค่าลดลงเมื่อความเร็วลมที่ไหลผ่านผิวด้านบนของกระเบื้องคอนกรีตเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิลดลงประมาณ $3^\circ C$ ในแต่ละช่วงความเร็วลม



a) อุณหภูมิผิวด้านบนของกระเบื้องคอนกรีต

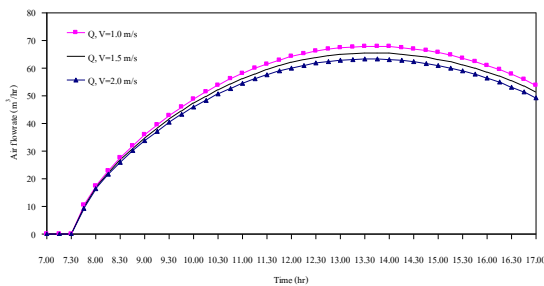


b) อุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีต

รูปที่ 2 อุณหภูมิกระเบื้องคอนกรีต

3.2 อัตราการไหลของอากาศ

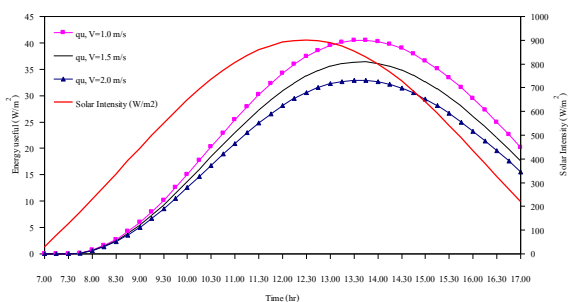
เมื่อได้เปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่ไหลผ่านผิวด้านบนของกระเบื้องคอนกรีต จะทำให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์มีค่าลดลง จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วลม 1.5 และ 2.0 m/s มีอัตราการไหลเชิงปริมาตรลดลงในแต่ละช่วงประมาณ $5 m^3/hr$



รูปที่ 3 อัตราการไหลเชิงปริมาตรผ่าน
หลังคารับรังสีอาทิตย์

3.3 ความร้อนที่ถ่ายเทออกโดยการระบายอากาศ

จากการระบายอากาศผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์ จะเห็นได้จากรูปที่ 4 ความร้อนที่ถ่ายเทออกหรือพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ในแต่ละช่วงความเร็วลมที่ไหลผ่านผิวด้านบนของกระเบื้องคอนกรีตจะมีค่าลดลงประมาณ 5 W/m^2 และจะเห็นได้ว่าความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่ไหลผ่านผิวด้านบนของกระเบื้องคอนกรีต

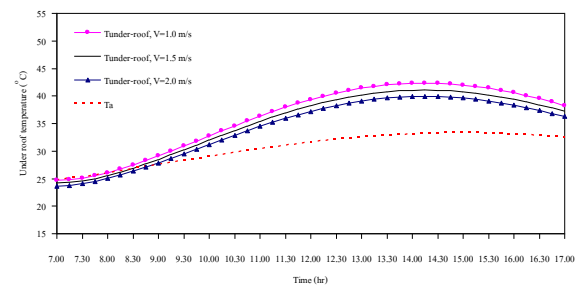


รูปที่ 4 ความร้อนที่ถ่ายเทออกโดยการระบายอากาศ

3.4 อุณหภูมิใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์

จากการแสดงผลของการประเมินแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคารับรังสีอาทิตย์ในเบื้องต้น จะเห็นว่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งผิวด้านบนและด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีตมีค่าลดลง จึงส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์มีค่าลดลงดังแสดง

ในรูปที่ 5 จากรูปจะเห็นได้ว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่ความเร็วลม 2 m/s จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6°C จะเห็นว่ามีผลทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่หลังคาได้รับสู่สิ่งแวดล้อมได้มาก



รูปที่ 5 อุณหภูมิใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์

4. สรุปผล

จากการประเมินอุณหภูมิใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่ผ่านผิวด้านบนของกระเบื้องคอนกรีตนั้น จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วลมที่ไหลผ่านผิวด้านบนของกระเบื้องเพิ่มมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวด้านบนและด้านล่างของกระเบื้องมีค่าลดลงเนื่องจากเกิดการถ่ายเทความร้อนออกสู่บรรยากาศ และในขณะเดียวกันทำให้เกิดการระบายอากาศและการถ่ายเทความร้อนโดยการระบายอากาศผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์ และทำให้อุณหภูมิใต้หลังคารับรังสีอาทิตย์มีค่าลดลง ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวทำให้ความร้อนที่ผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวบ้านมีค่าลดลงด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Puangsombut, W., Hirunlabh, J., Khedari, J. and Zeghmami, B. (2007). An experimental study of free convection in an inclined rectangular channel using radiant barrier, Experimental heat transfer, Vol. 20, pp. 171-184.

- [2] Puangsombut, W., Hirunlabh, J., Khedari, J., Zeghmali, B. and Win, M. M. (2007). Enhancement of natural ventilation rate and attic heat gain reduction of roof solar collector using radiant barrier, *Building and Environment*, Vol. 42, pp. 2218-2226.
- [3] เอกศักดิ์ ชื้อสกุลไพศาล และ วิทยา พวงสมบัติ (2549). การประเมินอัตราการระบายอากาศแบบธรรมชาติผ่านหลังคาบั้งสี่เหลี่ยม, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, Mandarin Golden Valley Hotel & Resort เขาใหญ่, นครราชสีมา จัดโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [4] Kumar, S. and Mullick, S. C. (2010). Wind heat transfer coefficient in solar collectors in outdoor conditions. *Solar Energy*, Vol. 84, pp. 956-963.
- [5] Jongjit Hirunlabh, Sopin Wachirapuwadon, Naris Pratinthong and Joseph Khedari. (2001). New configurations of a roof solar collector maximizing natural ventilation. *Building and Environment*, Vol. 36, pp. 383-391.