



การประเมินอุณหภูมิใต้แผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Assesment the temperature under the concrete roof tile by mathematical model

จิระศักดิ์ พุกดำ¹, วิทยา พวงสมบัติ¹

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

E-mail: Jirasak_tee@windowslive.com, Withaya.pua@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อประเมินอุณหภูมิใต้แผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต โดยหลังคาคอนกรีตที่ใช้ในการประเมินนั้นเป็นหลังคากระเบื้องคอนกรีต 2 แบบ คือ หลังคากระเบื้องคอนกรีตแบบเรียบ และหลังคากระเบื้องคอนกรีตแบบลอน การประเมินแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการเปลี่ยนแปลงมุมหลังคา 4 มุม คือ 10, 20, 30 และ 40 องศา ตามแนวระดับ อุณหภูมิใต้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตมีค่าสูงสุดประมาณ 75°C ที่มุม 10 องศา และมีค่าต่ำสุดประมาณ 70°C ที่มุม 40 องศา จากผลการประเมินโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะเห็นว่าอุณหภูมิใต้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

คำสำคัญ: “หลังคาคอนกรีต”; “อุณหภูมิใต้แผ่นกระเบื้อง”; “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์”

1. ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีค่อนข้างสูง รังสีอาทิตย์เหล่านั้นที่ส่องมายังโลกเมื่อตกลงมากระทบลงบนผิววัตถุชนิดต่างๆก็มักจะเกิดการสะสมความร้อน มองย้อนกลับมายังที่อยู่อาศัยของเรานั้น หลังคาจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาคารบ้านเรือน เพราะได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยตรงและส่งผ่านความร้อนนั้นเข้ามายังผิวกระเบื้องหลังคา จึงทำให้เกิดการสะสมความร้อน และถ่ายเทความร้อนเหล่านั้นเข้าไปสู่อาคาร บ้านเรือนนิรันดร์วัชโรดมและวิทยาพวงสมบัติ[1] ได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคารับรังสีอาทิตย์ ซึ่งหลังคาชั้นบนเป็นคอนกรีตด้านล่างเป็นแผ่นยิปซัม มีช่องว่างอากาศ 10 เซนติเมตร และทำมุมรับรังสีอาทิตย์ที่ระดับ 30 องศา โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมผ่านผิวด้านบนของหลังคาดังแต่ 1.0,1.5และ2.0m/s ทำให้อุณหภูมิใต้หลังคาลดลง 3°C อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องว่างมีค่าลดลงประมาณ 5 m³/hrทำให้ค่าความร้อนเข้าสู่ตัวบ้านลดลงด้วย ต่อมา ปัญญัตติ พงษ์พิริยะเดช และ สักการ ราชสุทธิ[2] ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็วลมผ่านช่องว่างใต้แผ่นของหลังคาเหล็กเคลือบโลหะเทียบกับหลังคาเหล็กกรีตแบบธรรมดาและแบบที่ติดตั้งฉนวนความร้อนด้วยหุ้มฉนวนหนา 0.80 xยาว2.00 xสูง0.70 m.หลังคาเหล็กกรีตมีทั้งหมด5 แบบติดตั้งที่มุมเอียง10องศาแบบที่หนึ่งเป็นหลังคาเหล็กกรีตธรรมดาแผ่นเดียวแบบที่สองเป็นหลังคาเหล็กกรีตติดตั้งฉนวน PE COOL แบบลอนหลังคาแบบที่สามเป็นหลังคาเหล็กกรีตติดตั้งฉนวนอะลูมิเนียมพอยล์สะท้อนรังสีความร้อนด้านล่างแบบที่สี่เป็นหลังคาเหล็กกรีตติดตั้งฉนวนกันสองชั้นให้เกิดช่องว่างระบายอากาศแบบที่ทำเป็นหลังคาเหล็กกรีตติดตั้งฉนวนกันช่องว่างอากาศสูงขึ้นโดยเพิ่มฉนวนโฟมโพลีสไตรีน หนา50 mm.ระหว่างแผ่นผลการทดลองพบว่าหลังคาเหล็กกรีตแบบที่ 5 เป็นแบบที่ลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีในช่วงเวลากลางวันเมื่อเทียบกับหลังคาเหล็กกรีตแบบที่ 1หลังคาเหล็กกรีตแบบที่ 5สามารถลดอุณหภูมิใต้หลังคาได้มากที่สุดร้อยละ 77.33 ปริศา จันทวงษ์ และคณะ [3]ศึกษาการระบายอากาศตามธรรมชาติของบ้านด้วยปล่องหลังคาคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำระบายอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้าน จำลองภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นของกรุงเทพมหานครโดยทำการทดสอบกับที่ติดตั้งหลังคาทั่วไปและบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคา RCSC จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยบนหลังคา อุณหภูมิอากาศภายในบ้าน และห้องใต้หลังคาของบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป จะมีค่าที่สูงกว่าบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคา RCSC และปล่องหลังคา RCSC ช่วยระบายอากาศจากในบ้านเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้นต่อมา ปริศา จันทวงษ์ และบุญชอบ โสตประวัตติ[4]ศึกษาทดสอบการลดภาวะความร้อนและเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงความร้อนระหว่างหลังคาคอนกรีตทั่วไปกับหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาพร้อมกับพัดลมไฟฟ้าการะแสดงทั้งสองแบบเพื่อศึกษาการป้องกันและลดภาวะความร้อนและมวลความร้อนเข้าสู่ภายในตัวบ้านระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไปSRC และบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาพร้อมกับพัดลมไฟฟ้าการะแสดงRSCAV1-2 โดยพัดลมไฟฟ้าการะแสดงของบ้านจำลองทั้งสองแบบได้รับพลังงานมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิอากาศและมวลความร้อนที่สะสมภายในห้องใต้หลังคาของบ้านSRC มีค่าสูงกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV1-2อีกทั้งหลังคาRSCAV1-2ยังช่วยลดความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวบ้านได้ดีกว่าหลังคาSRC ประมาณร้อยละ38.4,56.45

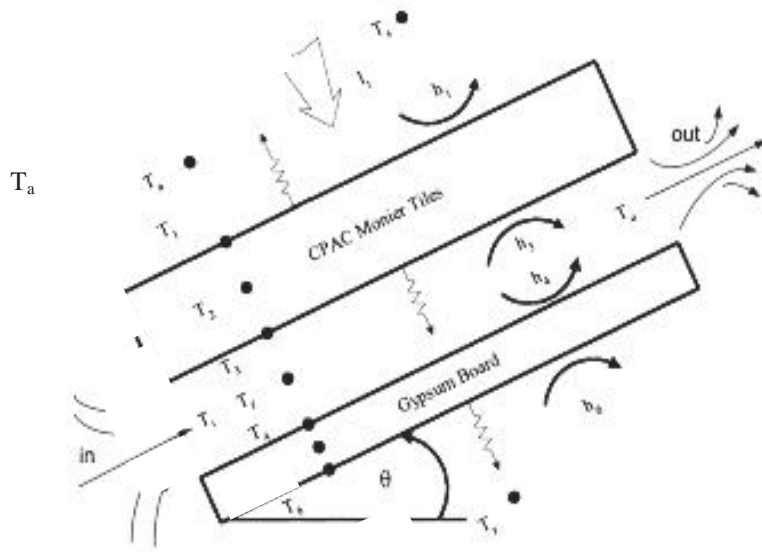
บทความนี้ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิใต้แผ่นกระเบื้องมุงหลังคา โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของหลังคารับรังสีอาทิตย์โดยการปรับเปลี่ยนมุมเอียงของหลังคาที่ 10, 20, 30 และ 40 องศา ที่ทำมุมกับแนวระดับ

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1.แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคารับรังสีอาทิตย์

แบบจำลองสำหรับหลังคารับรังสีอาทิตย์ประกอบด้วย หลังคาชั้นบนเป็นหลังคากระเบื้องคอนกรีตและหลังคาชั้นล่างเป็นแผ่นยิปซัม ดังแสดงใน”รูปที่ 1” ซึ่งมีสมมติฐานในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

- หลังคารับรังสีดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากันทั้งแผ่น
- ลมพัดผ่านตลอดหลังคารับรังสี
- การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบไม่คงที่
- ไม่คิดถึงฝุ่นละอองที่ติดบนหลังคา
- สมมติฐานการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบ 1 มิติ



รูปที่ 1: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลังคารับรังสีอาทิตย์

จากสมมติฐานสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ ของการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

2.2.กระเบื้องหลังคาคอนกรีต

$$\alpha_n I_t + h_w(T_a - T_1) + \epsilon_n \sigma(T_s^4 - T_1^4) + k_m \frac{\partial T}{\partial x_n} = \rho_n c_n \frac{\Delta x_n}{2} \frac{\partial T_1}{\partial t} \quad (1)$$

เมื่อ I_t คือ ค่ำรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหลังคา W/m^2

α_m คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของกระเบื้องคอนกรีต

h_w คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม $W/m^2 K$

ϵ_m คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของกระเบื้องคอนกรีต

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

k_m คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน W/mK

ρ_m คือ ค่าความหนาแน่นของกระเบื้องคอนกรีต kg/m^3

c_m คือ ค่าความร้อนจำเพาะของกระเบื้องคอนกรีต J/kgK

Δx_m คือ ความหนา m

T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม K

T_s คือ อุณหภูมิท้องฟ้า K

T_1 คือ อุณหภูมิด้านบนของกระเบื้องคอนกรีต K

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลมที่ผิว ของการระเหยของคอนกรีตสามารถคำนวณได้จาก [5]

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

เมื่อ V_w คือ ความเร็วลม m/s ²
สำหรับการถ่ายเทความร้อนในเนื้อกระเบื้องคอนกรีต

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

เมื่อ T_m คือ อุณหภูมิในเนื้อคอนกรีต K
 t คือ เวลา s

ที่ด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีต

$$k_n \frac{\partial T}{\partial x_n} + h_{c,3}(T_f - T_3) + \sigma \frac{(T_3^4 - T_4^4)}{\frac{1}{\epsilon_m} + \frac{1}{\epsilon_g} + 1} = \rho_n c_n \frac{\Delta x}{2} \frac{\partial T_3}{\partial t} \quad (4)$$

เมื่อ ϵ_g คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของยิปซัม
 $h_{c,3}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวด้านในของหลังคาคอนกรีต $W/m^2 \cdot K$
 T_f คือ อุณหภูมิที่อากาศไหลผ่านหลังคา K
 T_3 คือ อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของกระเบื้องคอนกรีต K
 T_4 คือ อุณหภูมิที่ผิวด้านในของแผ่นยิปซัม K

2.3. อากาศที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่าง

อากาศที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างสามารถสมดุลสมการพลังงานได้ดังนี้

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

เมื่อ $h_{c,4}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวด้านนอกของแผ่นยิปซัม $W/m^2 \cdot K$
 \dot{m} คือ อัตราไหลเชิงมวล kg/s
 c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ $J/kg \cdot K$
 A_c คือ พื้นที่หน้าตัดที่อากาศไหลผ่าน m^2
 T_i คือ อุณหภูมิที่อากาศเข้าหลังคา K
 T_o คือ อุณหภูมิที่อากาศออกหลังคา K

2.4. แผ่นยิปซัม

ที่ด้านบนของแผ่นยิปซัม

$$h_{c,4}(T_f - T_4) + \sigma \frac{(T_3^4 - T_4^4)}{\frac{1}{\epsilon_m} + \frac{1}{\epsilon_g} + 1} + k_g \frac{\partial T_g}{\partial x_g} = \rho_g c_g \frac{\Delta x_g}{2} \frac{\partial T_4}{\partial t} \quad (6)$$

เมื่อ k_g คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นยิปซัม $W/m \cdot K$
 ρ_g คือ ความหนาแน่นของแผ่นยิปซัม kg/m^3
 c_g คือ ค่าความร้อนจำเพาะของแผ่นยิปซัม $J/kg \cdot K$

สำหรับการถ่ายเทความร้อนในเนื้อแผ่นยิปซัม

$$\frac{1}{\alpha_g} \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial^2 T_g}{\partial x_g^2} \quad (7)$$

เมื่อ α_g คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของกระเบื้องคอนกรีต
 T_g คือ อุณหภูมิในเนื้ออิฐขั้มK

ที่ด้านล่างของแผ่นอิฐขั้ม

$$h_{c,6}(T_f - T_6) + \epsilon_g \sigma (T_r^4 - T_6^4) + k_g \frac{\partial T_g}{\partial x_g} = \rho_g c_g \frac{\Delta x_g}{2} \frac{\partial T_6}{\partial t} \quad (8)$$

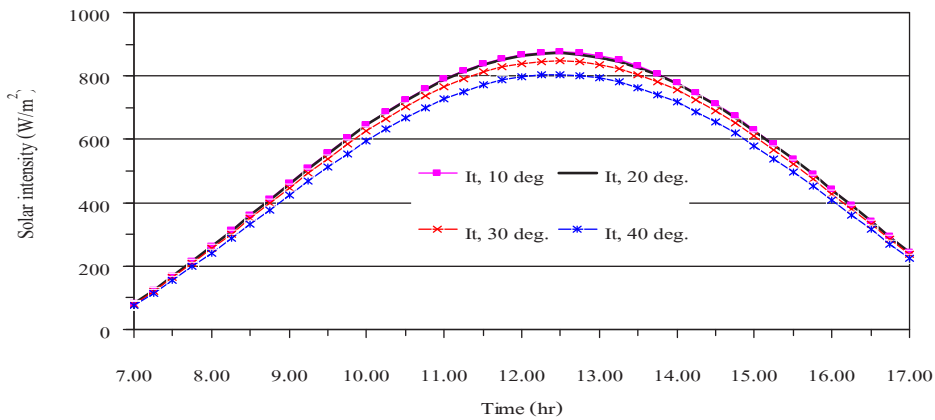
อัตราการไหลของอากาศผ่านหลังคารับรังสีอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จาก

$$Q_u = \frac{\dot{m} c_p}{A} (T_o - T_i) \quad (9)$$

เมื่อ Q_u คือ อัตราการไหลของอากาศ kg/s
 c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ J/kg.°C
 A คือ พื้นที่หน้าตัด m²
 T_i คือ อุณหภูมิที่อากาศเข้าหลังคา °C
 T_o คือ อุณหภูมิที่อากาศออกหลังคา °C

3.ผลการทดลองและวิจารณ์

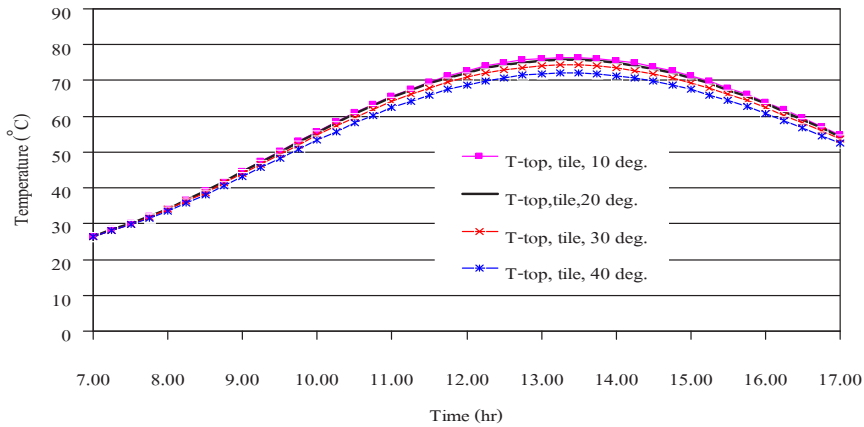
ผลการประเมินอุณหภูมิใต้แผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นโดยการเปลี่ยนแปลงมุมหลังคา 4 มุม คือ 10, 20, 30 และ 40 องศา ตามแนวระดับและช่องว่างอากาศเท่ากับ 5 cm ซึ่งผลจากการการประเมินด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จาก”รูปที่ 2”จะเห็นว่าค่ารังสีอาทิตย์ จะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 11.30น.-13.30น. และมุมหลังคาที่เอียงทำมุมรับค่ารังสีอาทิตย์ได้ดีที่สุดคือ 10 องศา และที่มุม 40 องศา เป็นมุมที่เอียงรับค่ารังสีอาทิตย์ได้น้อยที่สุด



รูปที่ 2: แสดงค่ารังสีอาทิตย์

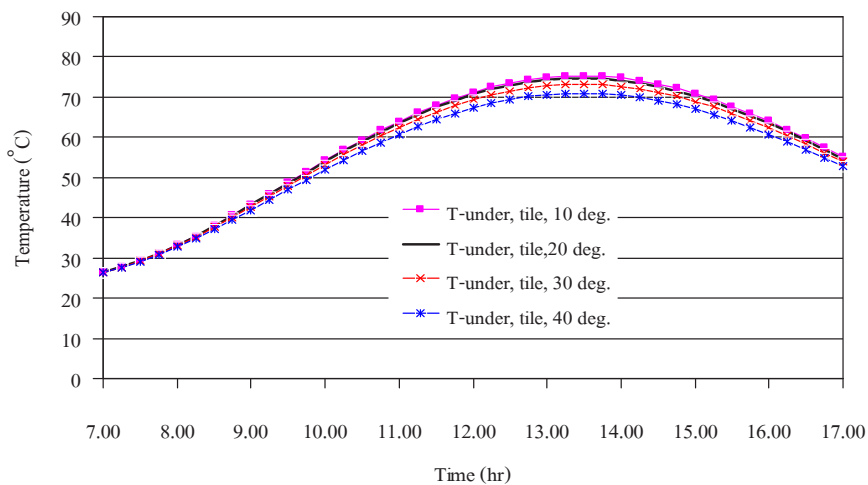
3.1. อุณหภูมิกระเบื้องคอนกรีต

จะเห็นว่าเมื่อค่ารังสีอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวด้านบนของกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นดัง”รูปที่ 3” ซึ่งแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิที่ผิวด้านบนของกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตแปรผันตามไปด้วยเช่นกัน โดยผิวด้านบนของหลังคากระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตที่ทำมุมรับรังสีอาทิตย์ที่มุม 10 องศา มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 76.37°C ที่มุม 20 องศา มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 75.78°C ที่มุม 30 องศา มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 74.33°C และที่มุม 40 องศา มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 72.08°C ตามลำดับ



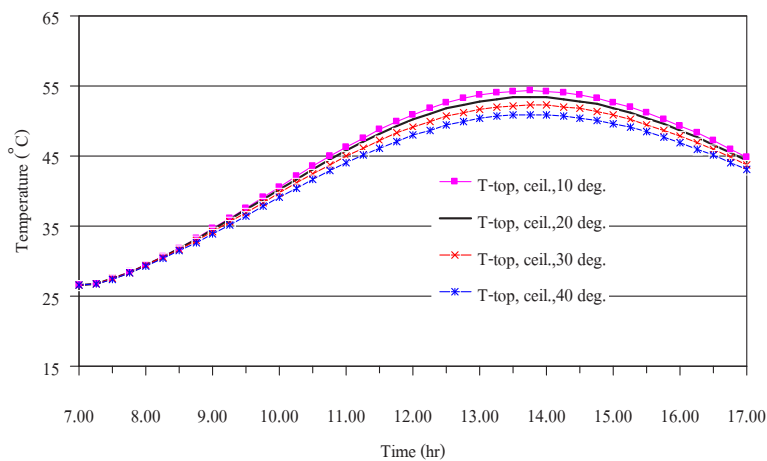
รูปที่ 3: อุณหภูมิผิวด้านบนของกระเบื้องคอนกรีต

“รูปที่ 4” แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบสู่ผิวด้านบนของกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตแล้วส่งความร้อนมายังพื้นที่ผิวด้านล่าง ซึ่งแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างของกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตแปรผันตามไปด้วยเช่นกัน โดยผิวด้านล่างของหลังคากระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตที่ทำมุมรับรังสีอาทิตย์ที่มุม 10 องศา มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 74.28°C ที่มุม 20 องศา มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 73.46°C ที่มุม 30 องศา มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 72.08°C และที่มุม 40 องศา มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 69.88°C ตามลำดับ



รูปที่ 4: อุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีต

3.2 อุณหภูมิที่แผ่นยิปซัมบอร์ด

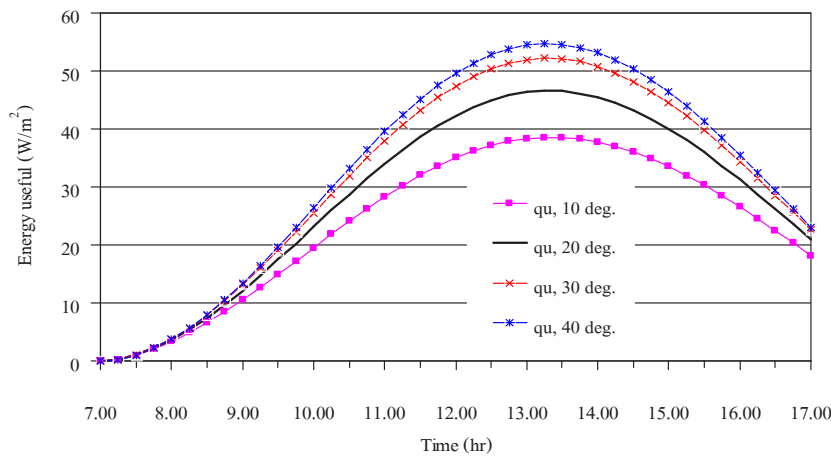


รูปที่ 5: อุณหภูมิที่แผ่นยิปซัมบอร์ด

เมื่อค่ารังสีอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตซึ่งเกิดการสะสมความร้อน และระบายความร้อนของอากาศในช่องว่างอากาศระหว่างพื้นที่ผิวด้านล่างของกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตกับพื้นที่ผิวด้านบนของแผ่นยิปซัมบอร์ด ทำให้อุณหภูมิที่ผิวด้านบนของแผ่นยิปซัมที่ค่าความร้อน ดังรูปที่ 5” โดยที่มุม 10 องศา มีค่าอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 54.92°C ที่มุม 20 องศา มีค่าอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 53.41°C ที่มุม 30 องศา มีค่าอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 52.29°C และที่มุม 40 องศา มีค่าอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 50.93 °C ตามลำดับซึ่งทำให้เห็นได้ชัดเจนว่าอุณหภูมิที่ผิวด้านบนของแผ่นยิปซัมบอร์ดยังมีค่าสูงอยู่มากถึงแม้จะมีการลดค่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตและช่องว่างอากาศ

3.3 พลังงานที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์

จากการสะสมความร้อนของอุณหภูมิที่ได้ผ่านกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต สามารถนำพลังงานไปใช้ประโยชน์ได้ดังรูปที่ 6” โดยที่มุม 10 องศา มีค่าพลังงานที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์สูงสุดประมาณ 38.55 W/m² ที่มุม 20 องศา มีค่าพลังงานที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์สูงสุดประมาณ 46.52 W/m² ที่มุม 30 องศา มีค่าพลังงานที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์สูงสุดประมาณ 52.19 W/m² และที่มุม 40 องศา มีค่าพลังงานที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์สูงสุดประมาณ 54.57 W/m² ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของค่าพลังงานที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์นั้นจะมีค่ามาก เมื่อมีพื้นที่มุมเอียงรับรังสีอาทิตย์มากขึ้น



รูปที่ 6: พลังงานที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์

4.สรุปผลการทดลอง

จากการประเมินอุณหภูมิการได้ผ่านกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการเปลี่ยนแปลงมุมหลังคา 4 มุม คือ 10, 20, 30 และ 40 องศา ตามแนวระดับ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิได้ผ่านกระเบื้องคอนกรีตมีเกิดการสะสมความร้อนขึ้น มีค่าสูงสุดประมาณ 75°C ที่มุม 10 องศา และมีค่าต่ำสุดประมาณ 70°C ที่มุม 40 องศา ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงแล้วยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้อีกด้วย

บรรณานุกรม

- [1] นิรันดร์ วัชโรดม, วิทยา พวงสมบัติ, 2553, “การประเมินอุณหภูมิได้หลังคารับรังสีอาทิตย์โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
- [2] บัญญัติ พงษ์พิริยะเดช, สักการ ราษีสุทธิ, 2553, "การศึกษาโดยการทดลองเรื่อง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็วลมผ่านช่องว่างของหลังคาเหล็กเคลือบโลหะ,” วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 9
- [3] ปรีดา จันทวงษ์, บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา, โยธิน อึ้งกุล, 2555, “การระบายอากาศตามธรรมชาติของบ้านด้วยปล่องหลังคาคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำระบายอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้าน จำลองภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นของกรุงเทพมหานคร,” วารสารวิทยาศาสตร์ มช., ปีที่ 40 ฉบับที่ 1, หน้า 83-94
- [4] ปรีดา จันทวงษ์, บุญชอบ ไสตประวัติ, 2556, “การศึกษาทดสอบการลดภาระความร้อนและเปรียบเทียบกับสมรรถนะเชิงความร้อนระหว่างหลังคาคอนกรีตทั่วไปกับหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองแบบ,” วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง., ปีที่ 22 ฉบับที่ 1, หน้า 54-70
- [5] Jongjit Hirunlabh, Sopin Wachirapuwadon, Niran Pratinthong and Joseph Khedari, 2001, “New configurations of a roof solar collector maximizing natural ventilation,” Building and Environment, Vol. 36, pp.383-391.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน