

การศึกษาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนกับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาชนิดฟิล์มบางและชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน

The Comparison Study of the Heat Transfer Value from the Installation of the Solar Rooftop with Amorphous Silicon and Monocrystalline Solar Cell Module

วุฒิสาสตร โชคเกื้อ^{1*}, ศาตตรา ศิริแก้ว²

Wutthisat Chokkuea^{1*}, Sattra Sirikaew²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนระหว่างหลังคาเหล็กเมทัลชีทกับหลังคาเหล็กเมทัลชีทที่ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางและชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน โดยใช้หลักการสมดุลความร้อนควบคู่กับการถ่ายเทความร้อนตามลำดับชั้นของวัสดุหลังคา ผลการวิจัยพบว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสามารถลดอุณหภูมิหลังคาเหล็กเมทัลชีทลงเฉลี่ย 12 °C ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาเหล็กเมทัลชีทเข้าสู่บ้านตัวอย่างมีค่า 104.58 W หรือคิดเป็น 4.62% ของอัตราความร้อนที่ตกกระทบหลังคาเหล็กเมทัลชีท ส่วนอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเหล็กเมทัลชีทที่ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่บ้านตัวอย่างมีค่าเฉลี่ย 22.49 W หรือคิดเป็น 1.02% ของอัตราความร้อนที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บ้านตัวอย่างลงได้ 82.09 W หรือคิดเป็น 78.50% เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้านตัวอย่างผ่านหลังคาเหล็กเมทัลชีทที่ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางและชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอนมีค่า 25.69 W และ 18.15 W หรือคิดเป็น 1.19% และ 0.88% ตามลำดับ ของอัตราความร้อนที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

Abstract

This research studied the behavior of heat in the solar rooftop module. It was the analysis of heat transfers by comparison 2 specimens, namely, metal sheet roof and metal sheet roof equipped with amorphous silicon and monocrystalline silicon solar cell module. The concept of the thermal equilibrium and heat transfer of material were applied to the roofing material in each layer. It was found that the solar module installation on the rooftop decreased the average temperature of the metal sheet rooftop at 12 °C. The heat transfer rate through the metal sheet rooftop to the model home was 104.58 watts or 4.62% when compared with the heat transfer that incident the metal sheet rooftop. The average heat transfer rate through the solar module

¹ อาจารย์ หน่วยงานวิจัยพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² นิสิตปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Lecturer, Energy Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University

² Graduate student, Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University

* Corresponding author: Wutthisat Chokkuea, e-mail: wutthisat.c@msu.ac.th, Energy Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University



installed metal sheet rooftop to the model home was 22.49 watts or 1.02% when compared with the heat transfer that incident the solar module. The installation of the solar module on the rooftop decreased the heat transfer to the model home at 82.09 watts or 78.50%. The comparison consideration found that the solar module that decreased the highest heat transfer rate through the solar module installed metal sheet to the model home were Amorphous Silicon solar cell module and Monocrystalline Silicon solar cell module at 25.69 watts and 18.15 watts or 1.19% and 0.88% accordingly when compared with the heat transfer rate the incident the solar module.

Keywords: Heat transfer, Solar rooftop

บทนำ

หลังคาเป็นส่วนประกอบของบ้านพักอาศัยที่ได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์มากที่สุด ความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวหลังคาทำให้เกิดการสะสมความร้อนและถ่ายเทผ่านโครงสร้างหลังคาเข้าสู่ภายในบ้านโดยการนำพาและการแผ่รังสีความร้อนให้กับวัตถุและอากาศ¹ สำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทยหลังคามักจะมีลักษณะปิดทึบ ทำให้ความร้อนสะสมอยู่ในห้องใต้หลังคาและถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในบ้าน ส่งผลให้อุณหภูมิภายในบ้านสูงขึ้น บ้านพักอาศัยส่วนใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิ ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอัตราที่สูงตามไปด้วย² จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านหรืออาคารที่พักอาศัย เพื่อหาวิธีลดค่าความร้อนและการประหยัดพลังงานจากการใช้เครื่องปรับอากาศ โดย Levinson และคณะ³ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของหลังคาที่มีผลต่อการดูดกลืนความร้อน ผลจากการศึกษาพบว่าวัสดุชนิดเดียวกันที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดีกว่า จึงทำให้เกิดการสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านมากกว่าสีอ่อน นอกจากนี้ พิมลมาศ และคณะ⁴ ทำการศึกษาประโยชน์ของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคากรณีอาคารที่พักอาศัยต้นทุนต่ำ ผลจากการศึกษาพบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ครอบคลุมร้อยละ 81 ของพื้นที่หลังคา สามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาได้สูงสุด 4 องศาเซลเซียส

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา กับหลังคาเหล็กเมทัลชีท รวมทั้งวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความร้อนที่เกิดขึ้น โดยเซลล์

แสงอาทิตย์ที่ใช้วิจัยประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (a-Si) ซึ่งมีราคาถูกและต้นทุนการผลิตต่ำ⁵ และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Mono-Si) ให้ประสิทธิภาพสูง⁶⁻⁸ โดยผลการวิจัยสามารถใช้เป็นเหตุผลประกอบการตัดสินใจในการเลือกติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และการเลือกใช้พลังงานทางเลือกอีกประการหนึ่ง

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

1. ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองที่มีวัสดุอุปกรณ์และโครงสร้างที่เหมือนกับลักษณะอาคารที่อยู่อาศัยจริง โดยสร้างบ้านจำลองที่มีขนาดที่สะดวกต่อการเก็บบันทึกข้อมูลและการตรวจวัด มีขนาด 158x170 cm เอียงทำมุม 22° (ขนานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์) หลังคาเหล็กเมทัลชีทสีขาวหนา 0.25 mm พื้นที่หลังคา 4 m² ปริมาตรห้องใต้หลังคา (ระหว่างหลังคา กับฝ้าเพดาน) 2.25 m³ ผนังด้านข้างห้องใต้หลังคาปิดล้อมด้วยยิปซัมบอร์ดหนา 0.5 cm และบุด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดฟิวเจอร์บอร์ด 0.7 cm (เพื่อลดอัตราความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านข้าง) ติดตั้งได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ศูนย์บริการวิชาการที่ 3 (จังหวัดมหาสารคาม) ดัง Figure 1

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้วิจัยประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง รุ่น HSU201 ขนาด 0.92x0.46x0.035 m โดยมีกำลังสูงสุด 34 W และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน รุ่น NE-125E ขนาด 1.16x0.77x0.035 m โดยมีกำลังสูงสุด 125 W

ในการทดลองทำการตรวจวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและความเร็วลมในตำแหน่งต่างๆ ดัง Figure 1 คำนวณรวมอาทิตย์โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ ยี่ห้อ Hukseflux รุ่น LP02 มีค่า Sensitivity 16.79 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$ 1 จุด ในแนวระนาบเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยบันทึกข้อมูลตรวจวัดทุก 1 นาที วัดความเร็วลมสิ่งแวดล้อมโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย รุ่น AM-4836C 1 จุด วัดความเร็วลมช่องอากาศระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาเหล็กเมทัลชีทด้วยเครื่องวัดความเร็วลมแบบเซนเซอร์ยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 435 1 จุด บันทึกข้อมูลตรวจวัดทุก 10 นาที

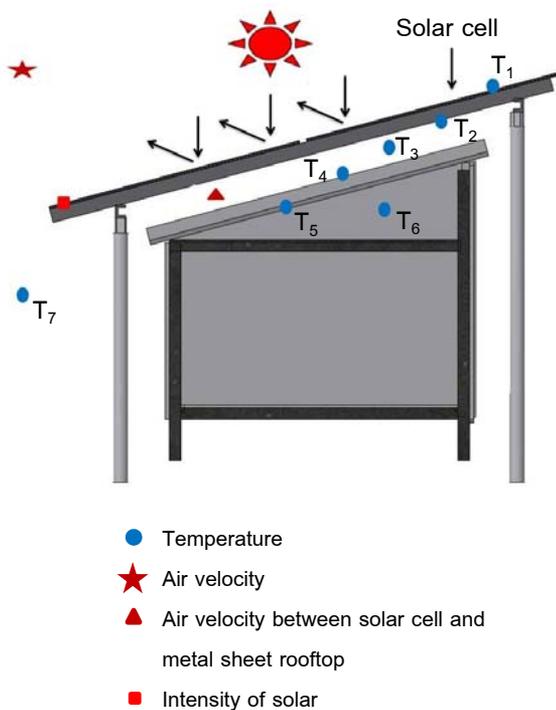


Figure 1 Installation and measurement

การตรวจวัดอุณหภูมิใช้สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ในตำแหน่งผิวด้านบน (T_1) และผิวด้านล่าง (T_2) ของเซลล์แสงอาทิตย์ ช่องอากาศระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาเหล็กเมทัลชีท (T_3) ผิวด้านบน (T_4) และผิวด้านล่าง (T_5) ของหลังคาเหล็กเมทัลชีท ห้องใต้หลังคาเหล็กเมทัลชีท (T_6) และสิ่งแวดล้อม (T_7) ตำแหน่งละ 3 จุด บันทึกข้อมูลตรวจวัดทุก 1 นาที เพื่อหาค่าเฉลี่ยซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น โดยความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิจะทำการบันทึกข้อมูลตรวจวัดด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (data

logger) รุ่น HP Agilent 34970A Data Acquisition & Switching Unit ช่วงเวลาในการทดลองและเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 เวลา 08.00-17.00 น.

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

การดำเนินการวิจัยแยกพิจารณา 2 กรณี คือ กรณีหลังคาเหล็กเมทัลชีทและกรณีหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งแบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนโดยวิเคราะห์ตามลำดับชั้นของวัสดุหลังคาด้วยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนควบคู่กับสมดุลความร้อน ดังนี้

การถ่ายเทความร้อนเป็นการส่งผ่านพลังงานในรูปความร้อนจากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่ง โดยเกิดขึ้นเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุด 2 จุด ซึ่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเกิดการถ่ายเทความร้อน 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation)

2.1 การนำความร้อน (Conduction) เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิที่ถ่ายเทจากด้านหนึ่งของวัสดุสู่อีกด้านหนึ่ง แสดงว่ามีการถ่ายเทพลังงานจากขอบเขตที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ขอบเขตที่มีอุณหภูมิต่ำ (เช่น ผิวด้านบนสู่ผิวด้านล่างของเซลล์แสงอาทิตย์) โดยตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ กล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนถ่ายเทด้วยวิธีการนำสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการ ⁹⁻¹¹

$$q_{cond} = -kA \frac{T_2 - T_1}{L} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} = \frac{T_2 - T_1}{R_{12}} \quad (1)$$

2.2 การพาความร้อน (Convection) การถ่ายเทความร้อนในลักษณะการพาความร้อนเกิดขึ้นเมื่อผิวของผนังแข็งสัมผัสกับของไหลที่มีการเคลื่อนที่และมีความแตกต่างของอุณหภูมิ (เช่น ผิวด้านบนของเซลล์แสงอาทิตย์กับสิ่งแวดล้อม) การถ่ายเทความร้อนในลักษณะการพาความร้อนสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการ ⁹⁻¹¹

$$q_{conv} = hA(T_1 - T_2) = \frac{T_2 - T_1}{R_{12}} \quad (2)$$

โดยค่า h (สำหรับการพาความร้อนแบบอิสระ) ขึ้นอยู่กับตัวแปรไร้นหน่วย ดังนี้^[9]

$$Nu = \frac{hL}{k} \tag{3}$$

$$Ra = \frac{g\beta L^3(T_1 - T_2)}{\nu\alpha} \tag{4}$$

$$Pr = \frac{c_p\mu}{k} \tag{5}$$

$$Gr = \frac{g\beta(T_1 - T_2)}{\nu^2} \tag{6}$$

กรณีการพาความร้อนแบบอิสระออกจากแผ่นราบสองแผ่นขนานกัน โดยทำมุม θ กับพื้นโลก ($0 \leq \theta < 60^\circ$) ค่า Nu คำนวณได้ดังสมการ¹²

$$Nu = 1.44 \left(1 - \frac{1708}{Ra \cos \theta} \right) \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\theta)^{1.6}}{Ra \cos \theta} \right] + 1 + \left[\left(\frac{Ra \cos \theta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \tag{7}$$

คุณสมบัติต่างๆ ของของไหลพิจารณาที่ film temperature คือที่ $T_f = (T_1 + T_2)/2$ ยกเว้น β คิดที่ $1/T_{amb}$

1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) การถ่ายโอนความร้อนด้วยการแผ่รังสีความร้อนเป็นการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสงไปในที่ต่างๆ จากผิวที่อุณหภูมิสูงไปยังผิวที่อุณหภูมิต่ำในทุกทิศทาง ซึ่งการแผ่รังสีสุทธิตี่เป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างผิว 2 ผิว เขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการ⁹⁻¹¹

$$E = \varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4) \tag{8}$$

ส่วนที่สองวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารโดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ดังนี้

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof thermal transfer value ; RTTV) โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อนซึ่งเกิดจากอิทธิพลของบรรยากาศภายนอกและ

ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร หลักการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมนี้อาศัยทฤษฎีพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งพิจารณาว่าความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารเข้าสู่ภายในบริเวณอาคารประกอบด้วยความร้อน 3 ส่วน คือ การนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน โดยงานวิจัยนี้พิจารณาวิเคราะห์ค่า RTTV เท่านั้น เพื่อใช้เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเติมบนหลังคาอาคาร ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร คือ ค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาต่อ 1 m³ เข้าสู่ภายในอาคาร โดยคำนวณได้จากสมการ¹³⁻¹⁴

$$RTTV_i = (U_r)(1 - SRR)(TD_{eq}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \tag{9}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลจะนำผลที่ได้จากการตรวจวัดในแต่ละวันมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเพื่อประเมินค่าความร้อนที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์ข้อมูลมีลักษณะดัง Figure 2

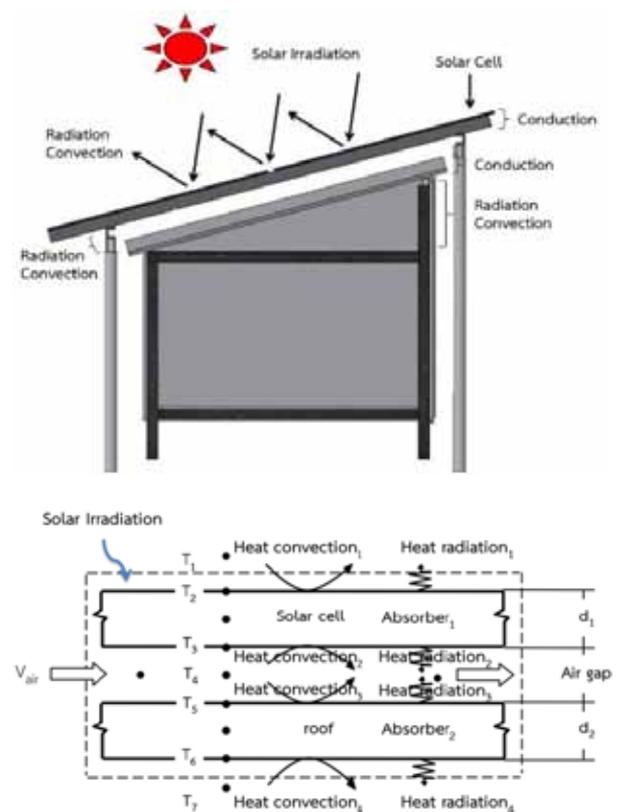


Figure 2 Rooftop material layer heat transfer



จาก Figure 2 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้
1. การถ่ายเทความร้อน เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ (Q_1) ความร้อนบางส่วนถูกเซลล์แสงอาทิตย์ดูดกลืนไว้ (Q_2) บางส่วนสะท้อนกลับ (Q_3) และบางส่วนถ่ายเทผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ (Q_4) แต่เนื่องจากระยะห่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาเหล็กเมทัลชีทจึงทำให้ความร้อนบางส่วนถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อม (Q_5) ทำให้มีความร้อนบางส่วนตกกระทบหลังคาเหล็กเมทัลชีท (Q_6) บางส่วนถูกหลังคาเหล็ก

เมทัลชีทดูดกลืนไว้ (Q_7) บางส่วนสะท้อนกลับ (Q_8) และบางส่วนถ่ายเทผ่านหลังคาเหล็กเมทัลชีทเข้าสู่ห้องใต้หลังคา (Q_9)

2. การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร เนื่องจากชุดทดลองไม่มีหลังคาโปร่งแสง ดังนั้นอัตราส่วนพื้นที่หลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา (SRR) มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นสมการ (9) เขียนได้เป็น

$$RTTV_i = (U_r)(TD_{eq}) \quad (10)$$

Table 1 Heat-transfer properties for each layer of the roofing material

| Comparison list | Metal sheet rooftop | | metal sheet rooftop with a-Si | | metal sheet rooftop with Mono-Si | |
|--|---------------------|-------|-------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| | W | % | W | % | W | % |
| Thermal energy | | | | | | |
| 1. Intensity of solar incident the solar cells (Q_1) | - | | 2,159.36 | 100 | 2,072.00 | 100 |
| 2. Heat absorption by solar cell (Q_2) | - | | 876.57 | 40.59 | 967.02 | 46.67 |
| 3. Convection and radiation form solar cell (Q_3) | - | | 559.02 | 25.89 | 478.53 | 23.10 |
| 4. Conduction through solar cell (Q_4) | - | | 723.78 | 33.52 | 626.45 | 30.23 |
| 5. Convection between solar cell and metal sheet rooftop (Q_5) | - | | 2.54 | 0.12 | 2.14 | 0.10 |
| 6. Heat incident the metal sheet rooftop (Q_6) | 2,264.40 | 100 | 721.24 | 33.40 | 624.31 | 30.13 |
| 7. Heat absorption by metal sheet rooftop (Q_7) | 1,919.81 | 84.78 | 689.51 | 31.93 | 601.30 | 29.02 |
| 8. Convection and radiation form metal sheet rooftop (Q_8) | 240.01 | 10.60 | 6.05 | 0.28 | 4.86 | 0.23 |
| 9. Conduction through metal sheet rooftop (Q_9) | 104.58 | 4.62 | 25.69 | 1.19 | 18.15 | 0.88 |
| 10. Heat loss | - | - | 78.89 | 75.43 | 86.43 | 82.64 |
| Temperature | °C | % | °C | % | °C | % |
| 1. Temperature under the rooftop | 50.69 | - | 39.02 | - | 38.83 | - |
| 2. Decrease in temperature | - | - | 11.67 | 23.02 | 11.86 | 23.40 |

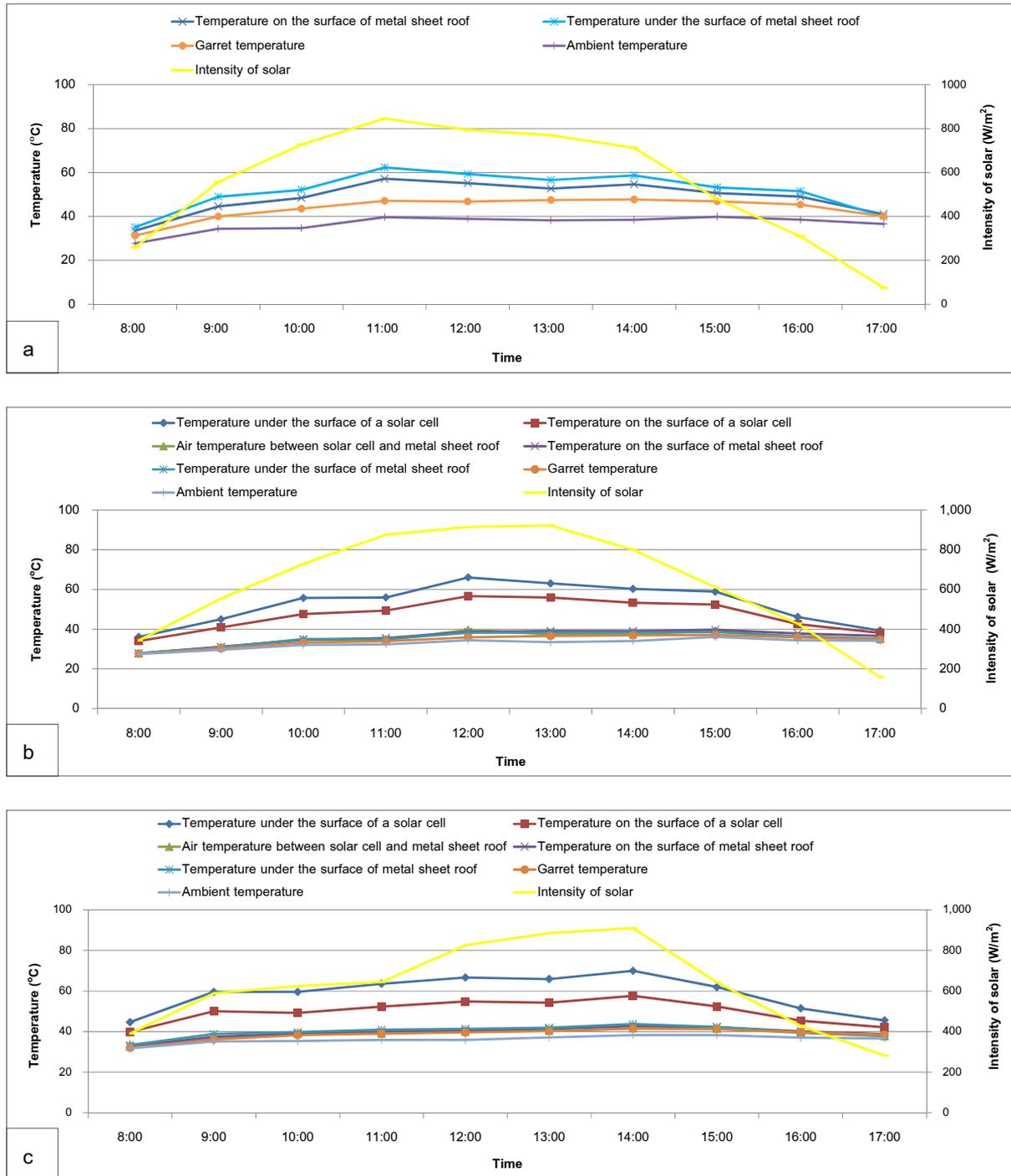


Figure 3 The graph shows the relationship between time, temperature, intensity of solar

a. Metal sheet rooftop

b. Metal sheet rooftop that is installed with amorphous silicon solar cell module

c. Metal sheet rooftop that is installed with monocrystalline silicon solar cell module

Table 2 Roof Thermal Transfer Value (RTTV)

| Comparison list of RTTV | | |
|----------------------------------|-------|------------------|
| Standard RTTV | 10 | W/m ² |
| RTTV from calculation | | |
| Metal sheet rooftop | 21.44 | W/m ² |
| Metal sheet rooftop with a-Si | 3.73 | W/m ² |
| Metal sheet rooftop with Mono-Si | 3.58 | W/m ² |

ผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลแสดงดัง Figure 3 โดยใช้ผลการเก็บบันทึกข้อมูล 15 วัน ในการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนตามลำดับชั้นของวัสดุหลังคาและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา รวมทั้งเปรียบเทียบการผลที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทั้ง 2 ชนิด ดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อน แสดงดัง Table 1 พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้านตัวอย่างกรณีหลังคาเหล็กเมทัลชีทมีค่ามากกว่ากรณีหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเห็นได้ชัดเจน มีค่า 104.58 W และ 21.92 W ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้านตัวอย่างสำหรับหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด พบว่าค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้านตัวอย่างมากที่สุดคือหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางและหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน มีค่า 25.69 W และ 18.15 W ตามลำดับ

2. การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) แสดงดัง Table 2 โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารตามค่ามาตรฐานของกระทรวงพลังงาน¹⁵ พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารนั้น หลังคาเหล็กเมทัลชีทมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาสูงสุดประมาณ 21.44 W/m² เมื่อพิจารณาหลังคาที่ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคามากที่สุดคือ หลังคาที่ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางมีค่า 3.73 W/m² และชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอนมีค่า 3.58 W/m² โดยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาใกล้เคียงกันเฉลี่ย 3.66 W/m²

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า

1. อุณหภูมิและความเข้มรังสีอาทิตย์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์สูงขึ้นในช่วงเวลา 09.00-13.00 น. อุณหภูมิหลังคาเหล็กเมทัลชีทมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่เมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงในช่วงเวลา 13.00-17.00 น. อุณหภูมิหลังคาเหล็กเมทัลชีทมีแนวโน้มลดลงไม่มากนักเมื่อเทียบกับช่วงการเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นเกิดการสะสมความร้อนไว้ในหลังคา เมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงอุณหภูมิจึงมีอัตราการลดลงน้อยกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นนั้นเพราะความร้อนที่หลังคาดูดกลืนไว้ยังคงมีปริมาณสูง โดยอุณหภูมิหลังคาเหล็กเมทัลชีทที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (100% ของพื้นที่หลังคา) จะมีค่าต่ำกว่าหลังคาเหล็กเมทัลชีททั่วไป โดยสามารถลดอุณหภูมิหลังคาเหล็กเมทัลชีทลงเฉลี่ย 12 °C โดยประมาณ และสามารถลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาลงได้เฉลี่ย 6 °C ซึ่งมากกว่างานวิจัยของ พิมลมาศ (ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 81% ของพื้นที่หลังคา)⁴

2. ค่าความร้อนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความเข้มรังสีอาทิตย์ กล่าวคือค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มรังสีอาทิตย์ เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บ้านตัวอย่าง (ชุดทดลอง) จะเห็นได้ว่าหลังคาเหล็กเมทัลชีทให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดและหลังคาที่ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกัน จากผลการวิจัยยังพบว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสามารถลดอัตราความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาเหล็กเมทัลชีทเข้าสู่บ้านตัวอย่างลงได้ 82.66 W หรือคิดเป็น 79.04% นั้นเพราะการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเปรียบเสมือนหลังคา 2 ชั้น จึงสามารถเป็นอุปกรณ์ช่วย



บังแดดและเป็นวัสดุสะท้อนรังสีอาทิตย์ ทำให้ช่วยลดปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหลังคาเหล็กเมทัลชีท และทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้านพักอาศัยมีค่าลดลง

3. การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร พบว่ามีแนวโน้มลักษณะเช่นเดียวกับค่าการถ่ายเทความร้อน โดยหลังคาเหล็กเมทัลชีทมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาสูงสุด ซึ่งค่อนข้างสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด (อาคารชุด) คือ 10 W/m^2 ¹⁵ เนื่องจากอาคารที่ทดลองไม่ได้สร้างขึ้นภายใต้ข้อบังคับของอาคารอนุรักษ์ตามนโยบายของกระทรวงพลังงาน โดยผลการวิจัยพบว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสามารถลดอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้านตัวอย่างประมาณ 17.78 W/m^2 คิดเป็น 82.92%

จากผลการวิจัยยังพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาสำหรับหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ยังอาจขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่นๆ เช่น อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างซิลิคอนที่เป็นผลึกและไม่เป็นผลึก ซึ่งผู้ทำวิจัยจะศึกษาในลำดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และศูนย์บริการวิชาการที่ 3 (จังหวัดมหาสารคาม) ที่อนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ ตลอดจนคอยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Michels, Caren, Roberto Lamberts, and Saulo Guths. "Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs." *Energy and Buildings* 40.4 (2008): 445-451.
2. ปรีดา จันทวงษ์ "การศึกษาทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของปล่องหลังคาคอนกรีตระบายนอกอาคารพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้านจำลองภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย" ทุนส่งเสริมงานวิจัยในลักษณะนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2550 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า 128 หน้า.
3. Levinson, Ronnen, Hashem Akbari, and Joseph C. Reilly. "Cooler tile-roofed buildings with near-

infrared-reflective non-white coatings." *Building and Environment* 42.7 (2007): 2591-2605.

4. พิมลมาศ และคณะ "ประโยชน์ของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา: กรณีศึกษาอาคารที่พักอาศัยต้นทุ่นต่ำ" *วารสารวิจัยและสารสถาปัตยกรรม/การผังเมือง* 2555; 9[2]: 49-62.
5. Green, Martin A. "Solar cells: operating principles, technology, and system applications." (1982).
6. European Photovoltaic Industry Association. "Solar generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world". [Online]. 2011 [cited 23 February 2016]; Available from <http://www.epia.org/index.php?id=18>.
7. von Roedern, Bolko, and Harin S. Ullal. "The role of polycrystalline thin-film PV technologies in competitive PV module markets." 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA. 2008.
8. Tiwari, Gopal Nath, and Swapnil Dubey. "Fundamentals of photovoltaic modules and their applications". No. 2. Royal Society of Chemistry, 2010.
9. Michael J. Moran, et al. *Introduction to Thermal Systems Engineering: Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc; 2002.
10. ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง ผู้แปลและเรียบเรียง. *การถ่ายเทความร้อน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป; 2547
11. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. *การออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล*. กรุงเทพฯ: แอคทีฟพรีนซ์; 2554.
12. Frank P. Incropera. *Introduction to Heat Transfer*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons. 1996.
13. ชารา จำเนียรดำรงการ. "การพัฒนาโปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)" [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2555.



14. “กฎกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552” ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 126 ตอนพิเศษ 122 ง (20 เมษายน 2558): 21-39.

15. “กฎกระทรวงพลังงาน เรื่อง กำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552” ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 126 ตอนที่ 12 ก (20 เมษายน 2558): 9-15.

Nomenclature

| | |
|------------|--|
| α | Thermal diffusivity of the fluid, m^2/s |
| A | Area, m^2 |
| β | Volumetric thermal expansion coefficient, - |
| C_p | Specific heat capacity, $kJ/kg-^{\circ}C$ |
| DSH | Density-specific heat product, $kJ/m^2-^{\circ}C$ |
| ϵ | Radiative property of the surface termed the emissivity, - |
| σ | Stefan–Boltzmann constant, W/m^2-K^4 |
| E | Radiation heat transfer, W |
| ESR | Value solar radiation which has an effect on the thermal transfer through transparent and/or solid roof, W/m^2 |
| g | Gravitational acceleration, m/s^2 |
| Gr | Grashof number, - |
| h | Convection heat transfer coefficient, $W/m^2-^{\circ}C$ |
| k | Thermal conductivity, $W/m-^{\circ}C$ |
| L | Length, m |
| Nu | Nusselt number, - |
| Pr | Prandtl number, - |
| q_{cond} | Conduction heat transfer, W |
| q_{conv} | Convection heat transfer, W |
| Ra | Rayleigh number, - |
| R_{12} | Thermal resistance, $^{\circ}C/W$ |
| $RTTV_i$ | Overall thermal transfer of section of the roof being considered, W/m^2 |

| | |
|-----------|---|
| SC | Shading coefficient of the shading instrument, - |
| $SHGC$ | Coefficient of the thermal transfer value from solar ray which is sent through a transparent roof, - |
| SRR | Ratio between transparent area of the roof and the roof's total area being considered, - |
| T | Temperature, $^{\circ}C$ |
| TD_{eq} | Equivalent temperature difference between outside and inside the building including the result of the solar ray absorption of the roof, $^{\circ}C$ |
| μ | dynamic viscosity of the fluid, $N-s/m^2$ |
| U_r | Coefficient of the overall thermal transfer value of a solid roof, $W/m-^{\circ}C$ |
| U_s | Coefficient of the overall thermal transfer value of a transparent roof, $W/m-^{\circ}C$ |
| ν | Kinematic viscosity of the fluid, m^2/s |