



วารสารวิชาการ อุตสาหกรรมศึกษา

วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (33-44)

การลดความร้อนจากหลังคาด้วยหลังคารับรังสีอาทิตย์ที่ช่องเปิดอยู่ด้านข้าง

นินนาท ราชประดิษฐ์¹, ธรวิภา พวงเพชร²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

² ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

Roof Heat Reduction with Side Opening Roof Solar Collector

Ninnart Rachapradit¹, Tarawipa Puangpetch²

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

² Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการลดความร้อนจากหลังคาสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทยด้วยหลังคารับรังสีอาทิตย์ที่มีช่องเปิดอยู่ด้านข้าง (Side opening roof solar collector; SO-RSC) สามารถนำมาประยุกต์เข้ากับบ้านพักอาศัยได้ง่าย โดยไม่ต้องเจาะช่องที่แผ่นหลังคาเดิมหรือเปลี่ยนรูปแบบของโครงสร้างหลังคา โดยทำการศึกษาดูด้วยการสร้างบ้านทดลอง 2 หลัง เพื่อศึกษาการทำงาน เปรียบเทียบสมรรถนะในการลดความร้อนของหลังคา SO-RSC เทียบกับหลังคาบ้านทั่วไป และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง จากผลการทดลองพบว่าหลังคา SO-RSC สามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแสงอาทิตย์เหนี่ยวนำให้เกิดการไหลของอากาศ เช่นเดียวกับ RSC นอกจากนี้จะเป็นการถ่ายเทความร้อนให้ออกจากตัวบ้านแล้ว ยังทำให้เกิดการระบายอากาศด้วย จากการเปรียบเทียบกับหลังคาแบบปกติพบว่าการระบายอากาศของ SO-RSC จะทำให้อุณหภูมิภายในช่องหลังคามีค่าต่ำกว่า สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ RSC ยังคงสามารถนำมาใช้กับ SO-RSC เช่นเดียวกัน ดังนั้นหลังคาแบบ SO-RSC จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับบ้านในปัจจุบัน ด้วยคุณสมบัติที่เป็นทั้งฉนวนกันความร้อนแล้วยังช่วยทำให้เกิดการระบายอากาศโดยธรรมชาติอีกด้วย

คำสำคัญ: ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ การระบายอากาศ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ฉนวนกันความร้อน

Abstract

This study proposes method of roof reducing heat for residential houses in Thailand by using side opening roof solar collector (SO-RSC). This collector can be easily applied to residential houses without having to make an opening on the roof or make any changes with the roof structure. The test was conducted in two experimental houses to compare heat reduction performance with common house and evaluate the test results with mathematical model. The

นินนาท ราชประดิษฐ์, ธรวิภา พวงเพ็ชร
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (33-44)

results show that the roof with SO-RSC can make the use of solar heat to induce air flow. Like RSC, SO-RSC does not only help transfer unwanted heat out of the house but also generates ventilation. Compared with the house with common roof, ventilation causes by SO-RSC leads to lower temperature in the attic. The study also reveals that mathematical model for RSC is applicable for SO-RSC. Therefore, SO-RSC roof can be applied with residential houses due to its quality of insulation and inducing natural ventilation.

Keyword: Roof solar collector, ventilation, mathematical model, insulation

บทนำ

หลังคาเป็นส่วนประกอบของบ้านพักอาศัยที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์มากที่สุด สำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทยหลังคามักจะมีลักษณะที่ปิดทึบ ทำให้มีปริมาณความร้อนสะสมอยู่ในช่องหลังคา และความร้อนในส่วนนี้จะส่งผ่านเข้าสู่ภายในบ้านตลอดเวลาส่งผลให้อุณหภูมิภายในบ้านสูง บ้านพักอาศัยส่วนใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อความสบายของผู้อยู่อาศัย ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอัตราที่สูงตามไปด้วย ดังนั้นหากสามารถระบายความร้อนในส่วนนี้ออกจากบ้านได้จะเป็นการลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศเป็นอย่างมาก วิธีการที่เหมาะสมคือการใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (Solar chimney) ซึ่งเป็นการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์กับอาคาร (Chan Shao; et al. 2010: 785) โดยการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่อยู่ในปล่องที่มีช่องเปิดอยู่ทั้งด้านล่างและด้านบน เมื่ออากาศร้อนขึ้นจะเกิดแรงลอยตัวตามธรรมชาติไหลออกทางช่องเปิดด้านบน และอากาศใหม่จะไหลจากด้านล่างเข้ามาโดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า มีการศึกษานำปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับโครงสร้างของอาคาร ทั้งในส่วนของผนังและหลังคา คือ ผนังรับรังสีอาทิตย์ (Trombe Wall) (Arumi; & Houmanesh. 1997: 167) และ หลังคารับรังสีอาทิตย์ (Roof Solar Collector; RSC) (Zhai; et al. 2005: 742) เพื่อใช้ในการทำความอบอุ่นในฤดูหนาว และลดอุณหภูมิภายในบ้านเพื่อทำให้เกิดความสบายในฤดูร้อน รวมถึงช่วยเพิ่มการระบายอากาศในที่พักอาศัย (Mathur; et al. 2006: 927) นอกจากนี้ยังมีการสร้างความสัมพันธ์ในรูปสมการ (Bansal; et al. 1993: 273) จากความแตกต่างของความดันจากระดับของอากาศ (Stack Pressure) ตามความสูง

ของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ ความหนาแน่นของอากาศภายในและภายนอกปล่อง รวมถึงขนาดของช่องเปิดทางเข้าและทางออกมีผลต่ออัตราการระบายอากาศ ทำให้สามารถคำนวณปริมาณการระบายอากาศที่เกิดจากปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ได้

สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์มาใช้ทั้งในส่วนของผนัง และหลังคา ทั้งการทำชุดทดลอง (Puangsombut; et al. 2007: 2218) เพื่อศึกษาสมรรถนะในการระบายอากาศ และศึกษารูปแบบสมการเพื่อทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Hirunlabh; et al. 2001: 383) ใช้ทำนายผลของการทำงาน รวมถึงการทดลองจริงโดยใช้วัสดุที่ทำหลังคาแบบต่างๆ กันมาประยุกต์ใช้ทำหลังคารับรังสีอาทิตย์ (Roof solar collector, RSC) (Khedari; et al. 2000: 171) การเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้กันอยู่ทั่วไปคือ กระเบื้องคอนกรีต แผ่นกระเบื้องลอนคู่ แอสเบสทอส และสังกะสี พบว่ากระเบื้องคอนกรีตเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ ส่วนแผ่นปิดด้านล่างควรเป็นแผ่นยับซั่ม พบว่ามุมเอียงของหลังคารับรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 20-60 องศา กับแนวระดับ และความยาวที่เหมาะสมของชุดหลังคา ที่เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์จะอยู่ระหว่าง 100-200 เซนติเมตร ส่วนขนาดของช่องอากาศจะอยู่ในช่วง ไม่เกิน 14 เซนติเมตร นอกจากนั้นยังดัดแปลงรูปแบบของผนังก่ออิฐเป็น ผนังระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบดัดแปลง (Modify Trombe Wall) (Khedari; et al. 1998: 104) ซึ่งการนำหลักการปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์มาใช้จะสามารถช่วยลดความร้อนเข้าสู่อาคารและช่วยเพิ่มปริมาณการระบายอากาศ สำหรับบ้านพักอาศัยและอาคารที่มีการปรับอากาศ (Khedari; et al. 2003: 1110) จากการทดลองพบว่า จะ

นินนาท ราชประดิษฐ์, ธรวิภา พวงเพชร
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (33-44)

สามารถลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศ และเพิ่มคุณภาพอากาศในอาคารด้วย นอกจากนี้ยังมีการดัดแปลงร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โซลาร์เซลล์ (ปรีดา จันทวงษ์; และคณะ. 2554: 559) เทอร์โมอิเล็กทริก (Maneewan; et al. 2005: 495) หรือใช้ร่วมกับการพ่นละอองน้ำ (Chungloo; & Limmeechokchai. 2007: 3341) เป็นต้น ซึ่งผลการวิจัยต่างก็แสดงถึงคุณสมบัติในการช่วยลดความร้อน ระบายอากาศภายในห้อง ทำให้มีการไหลเวียนของอากาศภายในบ้านดีขึ้น ส่งผลกับความสบายและการประหยัดพลังงาน

จากที่กล่าวมาข้างต้นแม้ว่าจะมีการศึกษาและนำหลักการของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์มาใช้กับโครงสร้างของหลังคาในประเทศไทยอยู่หลายรูปแบบ แต่ยังมีขาดรูปแบบที่ดัดแปลงได้ง่ายสำหรับรูปทรงหลังคาของบ้านเดิมโดยทั่วไปมักมีรูปทรงจั่วหรือกึ่งปั้นหย่าที่มีช่องเปิดที่ด้านหน้าจั่วบ้าน งานวิจัยนี้จึงนำเสนอรูปแบบของ RSC ที่มีช่องทางออกอยู่ทางด้านข้าง ที่สามารถนำมาประยุกต์เข้ากับบ้านพักอาศัยได้ง่าย สามารถประกอบเข้ากับบ้านที่มีอยู่เดิมโดยไม่ต้องเจาะช่องที่แผ่นหลังคาเดิม หรือเปลี่ยนรูปแบบของโครงสร้างหลังคา โดยจะศึกษาการทำงานเปรียบเทียบกับสมรรถนะในการลดความร้อนภายในช่องฝ้าเพดาน และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลองสำหรับใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการออกแบบหลังคา รวมทั้งการปรับปรุงโครงสร้างของหลังคาของบ้านพักอาศัยเดิม เพื่อช่วยในการระบายความร้อนภายในช่องหลังคาเพื่อความสบายของผู้อยู่อาศัย ระบายอากาศในตัวบ้าน และประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับบ้านที่ใช้โดยเครื่องปรับอากาศต่อไป

การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยจะเริ่มด้วยการสร้างบ้านจำลอง 2 หลังเพื่อทำการทดลองเพื่อศึกษาพิจารณาสมรรถนะของ SO-RSC โดยจะเปรียบกับหลังคาปกติทั่วไป และมีส่วนที่ใช้สมการสมดุลพลังงานทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้

ทำนายการทำงานจริงของ SO-RSC โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1 บ้านที่ใช้ทำการทดลอง

บ้านทดลอง 2 หลังสร้างขึ้นที่บริเวณศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยแยกเป็นบ้านที่มีโครงสร้างหลังคาแบบ SO-RSC กับบ้านที่มีโครงสร้างหลังคาแบบปกติทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 1

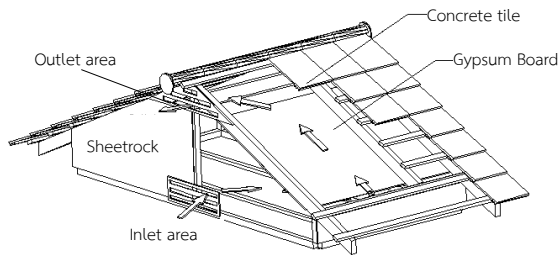


รูปที่ 1 บ้านทดลอง SO-RSC และ แบบปกติทั่วไป

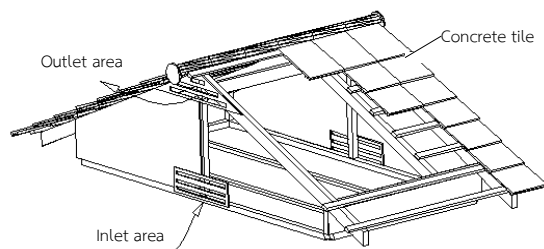
บ้านทดลองแต่ละหลัง กว้าง 1.5 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 2 เมตร แผ่นหลังคาปูด้วยแผ่นกระเบื้องคอนกรีตเอียงทำมุม 25 องศา กับแนวระดับพื้นราบ ด้านล่างของช่องหลังคาปิดด้วยฝ้าเพดานเป็นแผ่นยิปซัมบอร์ด ส่วนบริเวณด้านข้างหรือด้านหน้าจั่วใช้กระเบื้องแผ่นเรียบหนา 4 มิลลิเมตรปูเป็นผนัง โดยปูเลยระดับฝ้าลงมา 1 เมตรทั้งสี่ด้าน ส่วนหน้าจั่วเจาะช่องสำหรับเป็นทางออกของอากาศเป็นบานเกล็ดไม้รูปจั่วสูง 35 เซนติเมตร ฐานยาว 60 เซนติเมตร ทางเข้าของอากาศเป็นบานเกล็ดไม้สูง 25 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการระบายอากาศจากช่องหลังคาทั้ง 2 ด้าน ภายในช่องหลังคาของบ้านแบบ SO-RSC จะทำให้มีลักษณะเป็นปล่องระบายอากาศทั้ง 2 ด้าน โดยใช้แผ่นยิปซัมบอร์ดปิดด้านล่างเอียงตามแนวหลังคาโดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นหลังคา กับยิปซัมบอร์ด 14 เซนติเมตร จัดให้เป็นรูปกล่องที่มีขนาด กว้าง 100 เซนติเมตร ยาวตามแนวหลังคา 150 เซนติเมตร ช่องเปิดให้อากาศเข้ากว้าง 10 เซนติเมตร อยู่ด้านล่างในหลังคา ส่วนด้านบนแผ่นยิปซัมบอร์ดทั้ง 2 ด้านจะต่อชนกันโดยอยู่ใน

นินนาท ราชประดิษฐ์, ธรวิภา พวงเพชร
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (33-44)

ระดับใต้ช่องเปิดทางด้านข้างพอดี ตามรูปที่ 2 ในการทดลอง จะหันด้านหน้าจั่วของบ้านทั้ง 2 หลังในแนวทิศตะวันออก และตะวันตก โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลในช่วงเดือน มกราคมถึงพฤษภาคม ตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 17:00 น.



A. SO-RSC roof



B. Common roof

รูปที่ 2 หลังคารับรังสีอาทิตย์แบบอากาศออกด้านข้าง (SO-RSC) และหลังคาปกติทั่วไป

2 ตำแหน่งการวัดและอุปกรณ์ที่ใช้

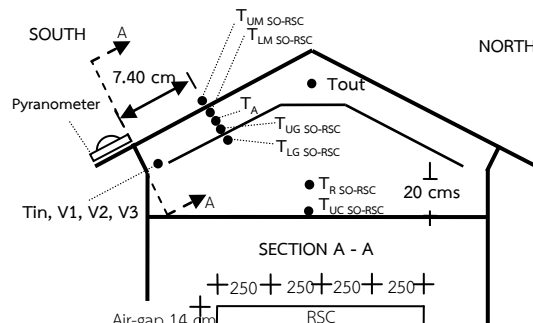
ในการทดลองจะทำการวัด ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ และอัตราการไหลอากาศ โดยมีตำแหน่งที่วัดแสดงในรูปที่ 3

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

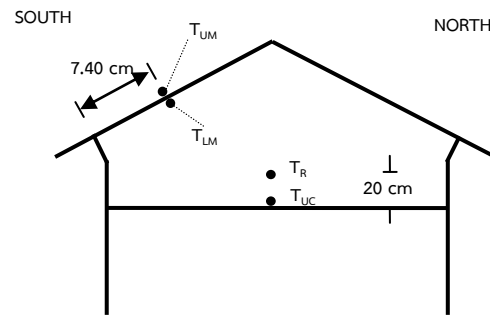
- เครื่องวัดพลังงานความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) รุ่น CM21 Solar radiance range 0-1400 W/m² ค่าความคาดเคลื่อนร้อยละ ± 5

- เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด K ค่าความคาดเคลื่อนร้อยละ ± 5 และ Data Logger 40 Channel รุ่น 34970A ใช้ในการวัดและบันทึกอุณหภูมิตามตำแหน่งต่าง ๆ

- Hot Wire Anemometer Model TA2 ช่วงการวัดอัตราเร็วอากาศ 0 - 30 m/s ค่าความคาดเคลื่อนร้อยละ ± 5 ใช้ในการวัดความเร็วลมภายในช่องระบายอากาศ SO-RSC



A. SO-RSC house



B. Common house

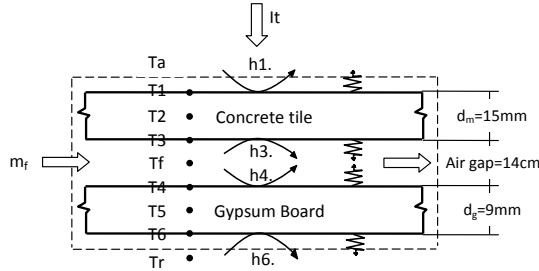
รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดข้อมูลที่สำคัญต่าง ๆ

3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ RSC ที่นำเสนอ (Hirunlabh; et al. 2001: 383) มาใช้กับ SO-RSC โดยใช้พื้นฐานของสมการสมดุลพลังงานของแต่ละส่วนของหลังคา รับรังสีอาทิตย์ พิจารณาการถ่ายเทความร้อนเป็นไปในทิศทางเดียว 1 มิติตามแนวตั้งฉากกับหลังคา โดยแยกการพิจารณาเป็นส่วนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีต อากาศในช่องว่างและแผ่นยิบซัมบอร์ด โดยการวิเคราะห์สภาวะการ

นินนาท ราชประดิษฐ์, ธรวิภา พวงเพ็ชร
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (33-44)

ถ่ายเทความร้อนสำหรับสภาวะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady state) และแบ่ง node ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 การพิจารณาการถ่ายเทความร้อนของ
หลังคา SO-SRC

สมการสมดุลพลังงานของแผ่นกระเบื้อง
คอนกรีต สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{ที่ } x_m = 0 \\ \alpha l_t + h_1(T_a - T_1) + \varepsilon_m \cdot \sigma \cdot (T_a^4 - T_1^4) + k_m \cdot \frac{\partial T_m}{\partial x_m} \\ = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ที่ } 0 < x_m < d_m \\ \frac{\partial T_m(x, t)}{\partial t} = \alpha_m \frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{ที่ } x_m = d_m \\ h_3(T_f - T_3) + \sigma \frac{(T_4^4 - T_3^4)}{\frac{1}{\varepsilon_m} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} + k_m \frac{\partial T_m}{\partial x_m} \\ = \rho_m C_m \frac{\Delta x_m}{2} \frac{\partial T_3}{\partial t} \end{aligned} \quad (3)$$

สมการแสดงสมดุลพลังงานในส่วนอากาศใน
ช่องว่างระหว่างแผ่นกระเบื้องคอนกรีตกับแผ่นยิปซัมบอร์ด
สามารถเขียนได้เป็น

$$h_3(T_3 - T_f) + h_4(T_4 - T_f) + \frac{m_A}{A} \cdot C_p \cdot (T_i - T_o) = 0 \quad (4)$$

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศภายในช่องว่างระหว่างแผ่น
กระเบื้องคอนกรีตกับแผ่นยิปซัมบอร์ด

$$\dot{m} = C_d \rho H W \sqrt{g L \sin(\theta) \frac{(T_o - T_i)}{T_i}} \quad (5)$$

สมการสมดุลพลังงานบริเวณผิวด้านหน้าของ
แผ่นยิปซัมบอร์ด สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{ที่ } x_g = 0 \\ h_4(T_f - T_4) + \sigma \frac{(T_3^4 - T_4^4)}{\frac{1}{\varepsilon_m} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} + k_g \cdot \frac{\partial T_g}{\partial x_g} \\ = \rho_g C_g \frac{\Delta x_g}{2} \cdot \frac{\partial T_4}{\partial t} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{ที่ } 0 < x_g < d_g \\ \frac{\partial T_g(x, t)}{\partial t} = \alpha_g \frac{\partial^2 T_g}{\partial x^2} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{ที่ } x_g = d_g \quad h_6(T_r - T_6) + \varepsilon_g \sigma (T_r^4 - T_6^4) + k_g \frac{\partial T_g}{\partial x_g} \\ = \rho_g C_g \frac{\Delta x_g}{2} \frac{\partial T_6}{\partial t} \end{aligned} \quad (8)$$

จากสมการแสดงสมดุลพลังงานทั้งหมดสามารถ
สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์
ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite-Difference method) แบบเอ็กซพลี
ซิท (Explicit method) เพื่อใช้ทำนายค่าของอุณหภูมิที่จุด
ต่าง ๆ และอัตราการไหลของอากาศของ SO-RSC ในแต่ละ

ช่วงเวลา โดยค่าของสัมประสิทธิ์การนำและสัมประสิทธิ์การพาความร้อน รวมถึงค่าสมบัติต่าง ๆ ของอากาศ จะใช้ตามค่าของงานวิจัยที่กล่าวถึงข้างต้น

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

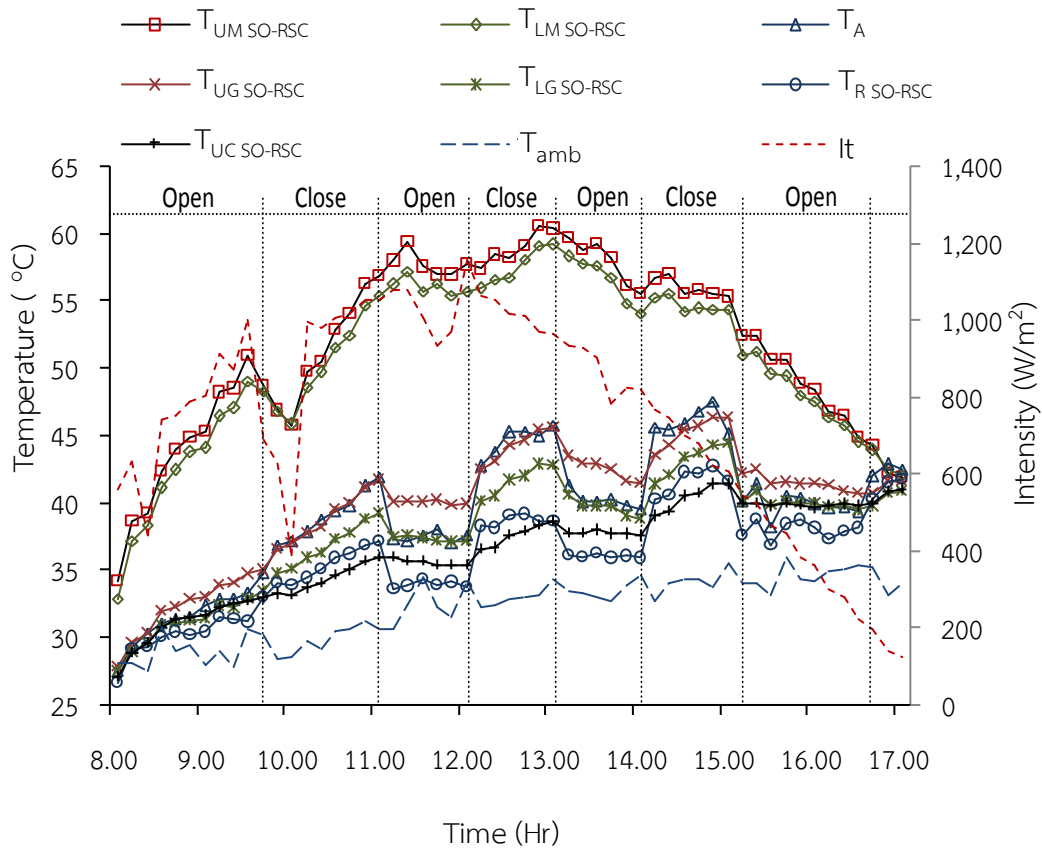
การพิจารณาผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลจะแยกออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนแรกจะพิจารณาการทำงานของหลังคา SO-RSC จากข้อมูลการทดลอง ถัดมาจะวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับหลังคา SO-RSC กับหลังคาทั่วไป ส่วนสุดท้ายพิจารณาผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1 การทำงานของบ้านที่มีหลังคาแบบ SO-RSC

ในการพิจารณาการทำงานของหลังคา SO-RSC ได้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยจะทำการปิดและเปิดช่องเปิดของ SO-RSC แต่ยังคงเปิดช่องที่ด้านบนของบ้านเอาไว้ เพื่อสลับการทำงานและหยุดทำงานของ SO-RSC ผลจากการทดลองแสดงตามรูปที่ 5 จากรูปจะเห็นว่าอุณหภูมิของแผ่นกระเบื้องหลังคาจะเพิ่มขึ้นไปตามค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงเช้าไปถึงช่วงเที่ยงวัน เมื่อแผ่นกระเบื้องหลังคาร้อนขึ้นจะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ส่วน

ต่าง ๆ ทำให้ส่วนต่าง ๆ ของหลังคามีอุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งอากาศภายในช่องหลังคาและฝ้าเพดาน หลังจากช่วงเที่ยงวันค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะลดลงและอุณหภูมิของหลังคาเริ่มลดลงแต่เนื่องจากการสะสมความร้อนภายในช่องหลังคาจะเห็นว่าอุณหภูมิของอากาศภายในช่องหลังคาและฝ้าเพดานยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการทำงานของ SO-RSC จะเห็นว่าเมื่อมีการเปิดช่องให้อากาศทางเข้าของ SO-RSC จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าอุณหภูมิของส่วนต่าง ๆ ของหลังคามีอุณหภูมิลดลง แต่จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีกเมื่อมีการปิดช่องเปิดของ SO-RSC ทั้งนี้เนื่องจากตามหลักการของ SO-RSC เมื่อเปิดช่องเปิด SO-RSC จะมีการทำงานเกิดการเหนี่ยวนำให้อากาศจากภายนอกบ้านซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ ตามรูปจะเห็นว่าต่ำกว่าส่วนประกอบต่าง ๆ ของหลังคา ไทลเวียนเข้าสู่ภายในช่องหลังคาทำหน้าที่ระบายอากาศร้อนออกจากหลังคาอุณหภูมิภายในส่วนต่าง ๆ ของหลังคาจึงลดลง และเมื่อไม่มีการทำงาน (ปิดช่องระบายอากาศ) ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากแผ่นหลังคาที่ถ่ายเทเข้ามา ไม่มีการระบายออก อุณหภูมิส่วนต่าง ๆ ของหลังคาจึงเพิ่มขึ้น

นินนาท ราชประดิษฐ์, ธรวิภา พวงเพชร
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (33-44)



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของจุดต่าง ๆ บ้านที่มีหลังคาแบบ SO-RSC กับเวลาเมื่อปิด - เปิด ช่องระบายอากาศสลับกัน

หลักการทํางานของ ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (RSC) คือการใช้ประโยชน์จากการที่อากาศภายในปล่องระบายรับความร้อน เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดแรงลอยตัวไหลออกด้านบนจึงเหนี่ยวนำอากาศจากภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่ จากการพิจารณาผลการทดลองของ SO-RSC ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน โดยอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ภายในปล่อง SO-RSC (T_A) ในขณะที่ปิดช่องระบายอากาศ จะใกล้เคียงหรือสูงกว่าผิวด้านบนแผ่นยิบซั่มเล็กน้อย ($T_{UG\ SO-RSC}$) ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีการระบายความร้อนและไม่มีอากาศเข้ามาแทนที่ เมื่อมีการเปิดช่องเปิดของ SO-RSC จะมีอากาศจากภายในช่องหลังคา ($T_R\ SO-RSC$) ถูกเหนี่ยวนำเข้ามาแทนที่อากาศในช่องปล่อง SO-RSC ทำให้อุณหภูมิของอากาศส่วนนี้ลดลงใกล้เคียงกับผิว

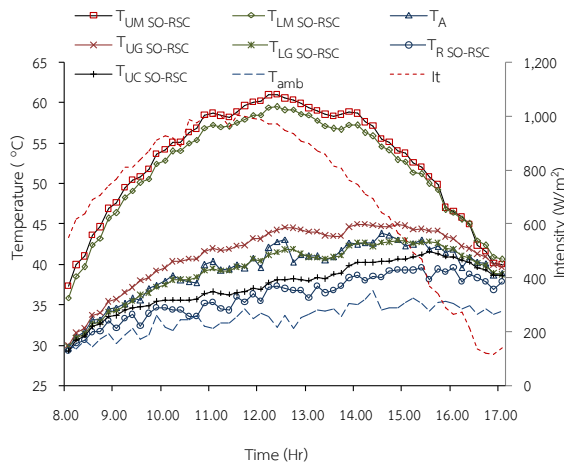
ด้านล่างแผ่นยิบซั่ม ($T_{LG\ SO-RSC}$) เช่นเดียวกับกับอากาศภายในช่องหลังคา หากปิดช่องระบายอากาศของ SO-RSC อุณหภูมิอากาศในหลังคาจะใกล้เคียงหรือสูงกว่าผิวด้านบนแผ่นฝ้า ($T_{UC\ SO-RSC}$) เล็กน้อยด้วยเหตุผลเดียวกัน เมื่อเปิดช่องเปิดของ SO-RSC อากาศจากภายนอกจะถูกดึงเข้ามาแทนที่ให้อุณหภูมิอากาศภายในช่องหลังคาต่ำกว่าแผ่นฝ้าเพดานของห้องทดลอง จากที่กล่าวมาข้างต้นแสดงว่า SO-RSC ที่ปรับรูปแบบของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์โดยให้มีทางออกด้านข้างยังสามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ถ่ายเทเข้ามาทางแผ่นกระเบื้องหลังคา ทำให้อากาศร้อนเกิดแรงลอยตัวออกสู่ภายนอก และเหนี่ยวนำให้มีการไหลของอากาศจากภายนอกที่เย็น ไหลเข้ามาระบายความร้อนในช่องหลังคา และไหลผ่านปล่อง SO-

นินนาท ราชประดิษฐ์, ธรวิภา พวงเพชร
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (33-44)

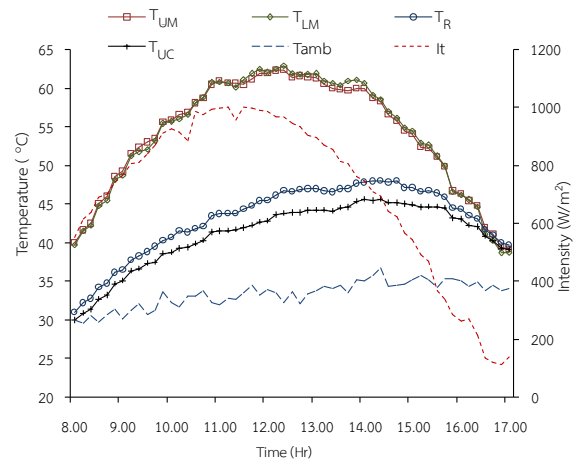
RSC วนเวียนเช่นนี้ตลอดเวลา ทำให้เกิดสมบัติของการระบายความร้อนเช่นเดียวกัน

2 การเปรียบเทียบหลังคาแบบ SO-RSC กับหลังคาแบบปกติที่ไม่มีการระบายอากาศร้อน

ในการพิจารณาการเปรียบเทียบสมรรถนะของหลังคาแบบ SO-RSC กับหลังคาแบบปกติทั่วไปในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบกับหลังคาที่ไม่มีการระบายความร้อนเลย โดยจะพิจารณาจากผลจากการทดลองที่ปิดช่องเปิดของบ้านที่มีโครงสร้างหลังคาแบบปกติไม่มีการระบายอากาศ ส่วนบ้านทดลองที่มีโครงสร้างหลังคาแบบ SO-RSC ถูกเปิดให้มีการเหนี่ยวนำอากาศ ผลของข้อมูลการทดลองของหลังคาแบบ SO-RSC และหลังคาแบบปกติแสดงตามรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



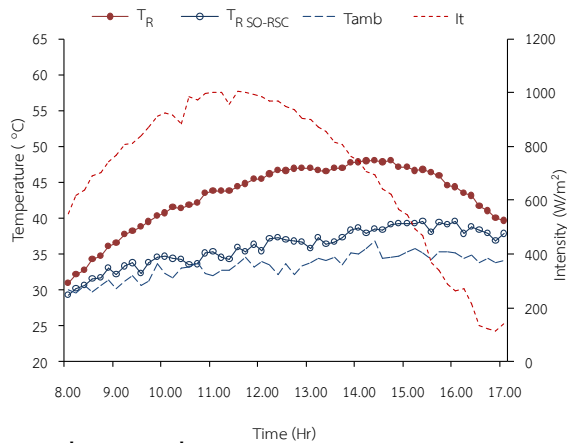
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของจุดต่าง ๆ ของบ้าน SO-RSC ที่ใช้เทียบกับหลังคาแบบปกติที่ไม่มีการระบายอากาศร้อน



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของจุดต่าง ๆ ของบ้านที่มีหลังคาแบบปกติที่ไม่มีการระบายอากาศร้อน

จากรูปจะเห็นว่าอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาของบ้านทดลองทั้ง 2 หลังจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และลดลงตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ แต่ในช่วงการลดลงของความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแผ่นกระเบื้องหลังคาจะค่อย ๆ ลดลงช้ากว่า เนื่องจากมีการสะสมของความร้อนในแผ่นกระเบื้องหลังคา โดยอุณหภูมิด้านบนและด้านล่างของกระเบื้องใกล้เคียงกันแต่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยในหลังคา SO-RSC ซึ่งเป็นผลจากการระบายความร้อน ทำให้อุณหภูมิด้านล่างของกระเบื้องหลังคาของหลังคา SO-RSC ลดลงเล็กน้อย สำหรับอุณหภูมิของอากาศภายในปล่อง SO-RSC จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับผิวด้านล่างแผ่นยิบซั่ม ($T_{LG\ SO-RSC}$) ซึ่งยังร้อนกว่าอุณหภูมิของอากาศในช่องหลังคาที่ต่ำกว่า เมื่อพิจารณาอุณหภูมิกอากาศของช่องหลังคาของ SO-RSC ก็จะต่ำกว่าอุณหภูมิของฝ้าเพดานด้านบนตลอดเวลา ทั้งนี้แสดงว่ามีการเหนี่ยวนำอากาศจากภายนอกเข้ามาในช่องหลังคา หลังจากนั้นอากาศในช่องหลังคานี้ก็จะถูกดึงเข้ามาแทนที่ภายในปล่องก่อนรับความร้อนและไหลออกจากปล่อง SO-RSC ตลอดเวลา ต่างจากอุณหภูมิอากาศของช่องหลังคาของบ้านปกติ (T_R) ในรูปที่ 7 จะมีอุณหภูมิสูงกว่า

อุณหภูมิของฝ้าเพดานด้านบน (T_{UC}) ตลอดเวลา เนื่องจากความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ถ่ายเทเข้ามาที่หลังคาไม่มีอากาศจากภายนอกเข้ามาช่วยระบาย ซึ่งความร้อนเหล่านี้ก็จะถูกถ่ายเทเข้าสู่ตัวบ้านต่อไป เมื่อเปรียบเทียบผลของระดับอุณหภูมิภายในช่องหลังคา ระหว่างหลังคาแบบ SO-RSC กับหลังคาแบบปกติที่ไม่มีการระบายอากาศร้อนจะแสดงในรูปที่ 8 โดยผลจากการระบายอากาศของ SO-RSC จะทำให้อุณหภูมิภายในช่องหลังคา มีค่าต่ำกว่าบ้านที่ไม่มีการระบายอากาศ จากรูปจะพบว่าช่วง 11:00 ถึง 15:00 น. เป็นช่วงที่มีการลดลงมากที่สุดโดยเฉลี่ย $9.44\text{ }^{\circ}\text{C}$

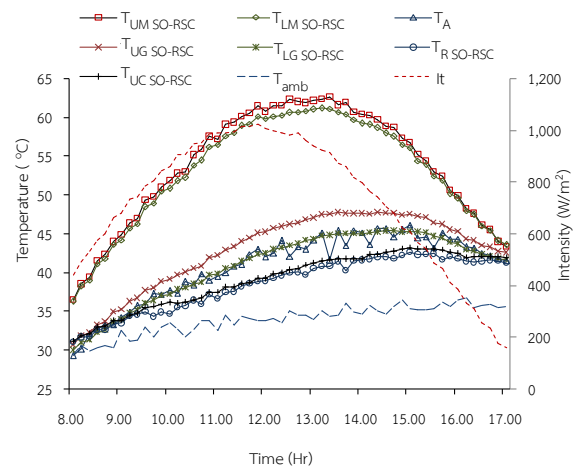


รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในช่องหลังคา ระหว่างหลังคาแบบ SO-RSC กับหลังคาแบบปกติที่ไม่มีการระบาย

3 การเปรียบเทียบหลังคาแบบ SO-RSC กับบ้านที่มีหลังคาแบบปกติที่มีช่องเปิดระบายอากาศร้อนที่หลังคา

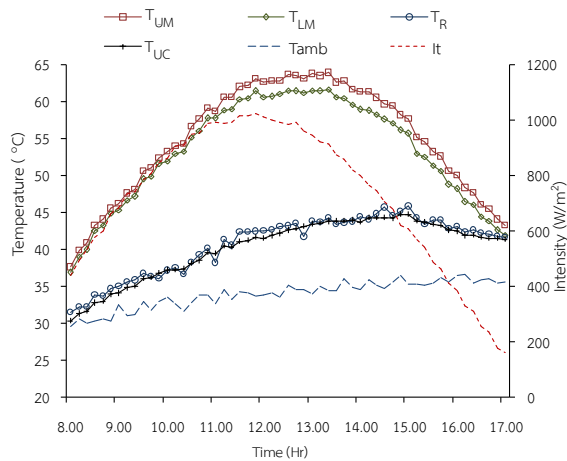
การวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะในการระบายความร้อนระหว่างบ้านที่มีการใช้ SO-RSC กับบ้านที่มีการระบายอากาศภายในช่องหลังคา จะใช้ผลจากการทดลองในวันที่เปิดช่องเปิดทั้งด้านล่างและด้านบนของทั้งบ้านทดลองที่มีหลังคา SO-RSC และบ้านทดลองที่มีหลังคาแบบปกติทั่วไป โดยผลการทดลองแสดงในรูปที่ 9 และ รูปที่ 10 สำหรับผลการทดลองของหลังคา SO-RSC จะมีผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์จากหัวข้อที่ผ่านมา ส่วนรูปแบบบ้านโดยทั่วไปเมื่อมีเปิดช่องระบายอากาศจะเห็นว่าอุณหภูมิ

ของผิวด้านล่างของแผ่นกระเบื้องคอนกรีต (T_{LM}) จะลดลงต่ำกว่าด้านบนเล็กน้อย (ถ้าเป็นหลังคาที่ไม่มีการถ่ายเทในรูปที่ 7 จะร้อนเท่ากัน) และอุณหภูมิภายในช่องหลังคาก็ลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของผิวด้านบนของฝ้าเพดาน (ถ้าเป็นหลังคาที่ไม่มีการถ่ายเทในรูปที่ 7 จะร้อนเท่ากัน T_R จะสูงกว่า T_{UC}) ทั้งนี้เนื่องจากการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเจาะช่องเปิดให้กับหลังคา แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหลังคา SO-RSC ตามรูปที่ 11 อุณหภูมิภายในช่องหลังคาของหลังคา SO-RSC ก็ยังต่ำกว่าทั้งนี้เนื่องจากสมรรถนะการระบายอากาศร้อนออกจากหลังคาตามทิวเขาระยะที่ผ่านมา โดยจากการทดลอง มีค่าต่ำกว่าบ้านที่มีการเจาะช่องระบายความร้อนเฉลี่ย $4.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในช่วง 11:00 ถึง 15:00 น.

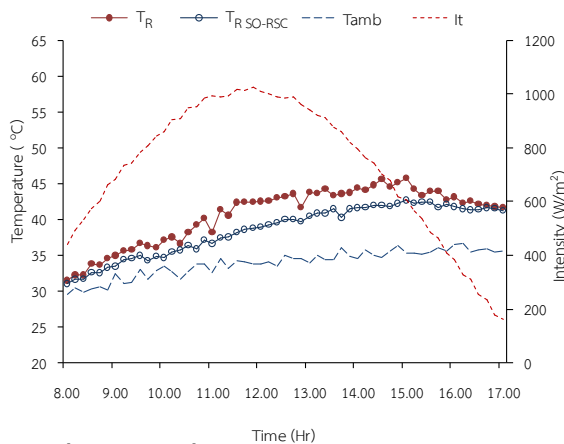


รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของจุดต่าง ๆ ของบ้าน SO-RSC ที่ใช้เทียบกับหลังคาแบบปกติที่มีช่องเปิดระบายอากาศร้อน

นินนาท ราชประดิษฐ์, ธรวิภา พวงเพชร
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (33-44)



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของจุดต่าง ๆ ของบ้านที่มีหลังคาแบบ ปกติที่มีช่องเปิดระบายอากาศอื่น

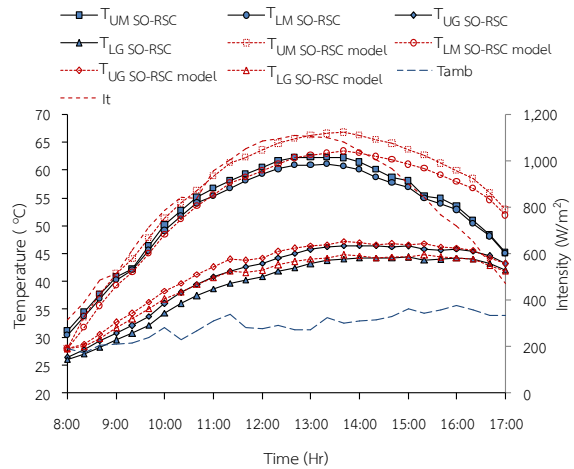


รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในช่อง หลังคาระหว่างหลังคาแบบ SO-RSC กับหลังคา แบบปกติที่มีช่องเปิดระบายอากาศอื่น

4 ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

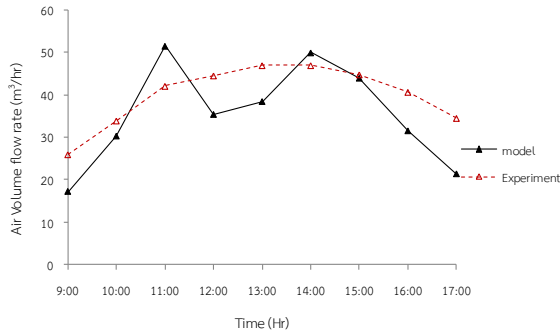
ในการพิจารณาการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามจุดต่างๆ จากผลการทดลองจริง กับผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงตามรูปที่ 12 โดยพบว่ามีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 9.00 น.-17.00 น.ของอุณหภูมิผิวด้านบนแผ่นกระเบื้องหลังคา 6.22% อุณหภูมิผิวด้านล่างแผ่นกระเบื้องหลังคา 3.2% อุณหภูมิผิวด้านบนยิปซัมบอร์ด 2.81%

อุณหภูมิผิวด้านล่างแผ่นยิปซัมบอร์ด 3.24% และสำหรับอัตราการไหลของอากาศของบ้านที่มีหลังคาแบบ SO-RSC ที่ได้จากผลการทดลองจริงกับผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงได้ตามรูปที่ 13 จะเห็นว่าผลการทดลองจริงกับผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้แบบจำลองของ RSC มาใช้กับปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบ SO-RSC ได้ แม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผลของความเร็วลมที่ทางเข้าที่มีผลกระทบจากสถานะของการไหลโดยธรรมชาติของอากาศที่ไม่เป็นแบบราบเรียบ และจากกระแสลมในบางช่วงตามสถานะความเป็นจริง ทำให้ค่าของอัตราการไหลของอากาศนั้นไม่คงที่



รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามจุดต่างๆ จาก การทดลองจริงกับผลการคำนวณจากแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์

นินนาท ราชประดิษฐ์, ธรวิภา พวงเพชร
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (33-44)



รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศ จากการทดลองจริงกับผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สรุป

จากการศึกษารูปแบบของ SO-RSC ซึ่งเป็นหลังคา รั้งสีอาทิตย์ที่ปรับให้สามารถประยุกต์เข้ากับโครงสร้างของหลังคาแบบปกติทั่วไปเช่น หลังคาจั่ว หรือ กึ่งปั้นหยากึ่งจั่ว ทำให้ก่อสร้างหรือต่อเติมได้ง่าย โดยจากผลการทดลองพบว่าหลังคา SO-RSC สามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแสงอาทิตย์เหนี่ยวนำให้เกิดการไหลของอากาศ เช่นเดียวกับ RSC โดยการไหลของอากาศจากภายนอกที่เย็นไหลเข้ามาระบายความร้อนในช่องหลังคา และไหลผ่านปล่อง SO-RSC นอกจากนี้จะเป็นการนำความร้อนที่ไม่ต้องการให้ออกจากตัวบ้านแล้ว ยังทำให้เกิดการระบายอากาศด้วย และจากการเปรียบเทียบกับหลังคาแบบปกติทั้งที่มีและไม่มี การระบายความร้อนช่วงเดือน มกราคมถึงพฤษภาคม พบว่าการระบายอากาศของ SO-RSC จะทำให้อุณหภูมิภายในช่องหลังคา มีค่าต่ำกว่าบ้านปกติทั่วไปโดยพบว่าช่วง 11:00 ถึง 15:00 เป็นช่วงที่มีการลดลงมากที่สุดโดยที่มีค่าต่ำกว่าหลังคาที่ไม่มีมีการระบายความร้อนออกจากหลังคาเฉลี่ย $9.44\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีค่าต่ำกว่าบ้านที่มีการเจาะช่องระบายความร้อนเฉลี่ย $4.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ RSC ยังคงสามารถนำมาใช้กับ SO-RSC เช่นเดียวกัน ดังนั้น หลังคาแบบ SO-RSC จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับบ้านในปัจจุบัน ด้วยคุณสมบัติที่เป็นทั้งฉนวนกันความร้อนแล้วยังช่วยทำให้เกิดการระบายอากาศโดยธรรมชาติอีกด้วย

สัญลักษณ์ ค่าย่อ และ ดรรชนีล่าง

α	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีความร้อน
ϵ	ค่าการแผ่รังสีความร้อน
θ	ค่ามุมเอียงหลังคารั้งสีอาทิตย์กับแนวระดับ ($^{\circ}$)
σ	ค่าคงที่สเตเฟนโบลซ์แมน 5.669×10^{-8} ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
A	พื้นที่ (m^2)
C_d	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของช่องเปิด
C	ค่าความร้อนจำเพาะ ($\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$)
C	แผ่นฝ้าเพดาน
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ ($\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$)
d	ความหนา (cm)
g	ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง (m/s^2)
G	แผ่นยิปซัมบอร์ด
H	ความยาวของหลังคารั้งสีอาทิตย์เท่ากับ (m)
h	สัมประสิทธิ์การพา ความร้อน ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
I_t	ค่ารั้งสีอาทิตย์รวม (W/m^2)
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)
L	ความยาวของปล่อง ระบายรั้งสีอาทิตย์ (m)
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
M	แผ่นกระเบื้องคอนกรีต (C-Pac Monier)
SO-RSC	หลังคารั้งสีอาทิตย์ที่มีช่องเปิดด้านข้าง
U	ด้านบน
L	ด้านล่าง
R	ช่องหลังคา
T	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
t	เวลา (s)
V	ความเร็วของอากาศ (m/s)
W	ความกว้างของหลังคาบ้านรั้งสีอาทิตย์ (m)
X	ระยะตามแนวตั้งฉากกับหลังคา (m)

นินนาท ราชประดิษฐ์, ธรวิภา พวงเพชร
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (33-44)

บรรณานุกรม

- Hoy-Yen Chan; Saffa B. Riffat; & Jie Zhu. (2010). *Review of passive solar heating and cooling technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14(2): 781-789
- F. Arumi; & M. Hourmanash. (1997). *Energy Performance of Solar Wall; A Computer analysis*. Energy and Building. (1): 167-174.
- XQ. Zhai; et al. (2005). *Comparison of heating and natural ventilation in a solar house induced by two roof solar collectors*. Appl Therm Eng. (25): 741-57.
- Jyotirmay Mathur; et al. (2006). *Experimental investigations on solar chimney for room ventilation*. Solar Energy. (80-8): 927-35.
- NK. Bansal; et al. (1993). *Solar chimney for enhanced stack ventilation*. International Journal of Building Science and it Application. 28(3): 373-7.
- W.Puangsoambut; et al. (2007). *Enhancement of natural ventilation rate and attic heat gain reduction of roof solar collector using radiant barrier*. Building and Environment. (42): 2218-2226
- Jongjit Hirunlabh; et al. (2001). *New configurations of a roof solar collector maximizing natural ventilation*. Building and Environment. (36): 383-391.
- Joseph Khedari; et al. (2000). *Field measurements of performance of roof solar collector*. Energy and Buildings. (31): 171-178.
- Joseph Khedari; et al. (1998). *The Modified Trombe Wall: A simple ventilation means and an efficient insulating material*. International Journal of Ambient Energy. 19(2): 104-110
- Joseph Khedari; et al. (2003). *Field study of performance of solar chimney with air conditioned building*. Energy. 28(11): 1099-114.
- จันทพงษ์; และคณะ. (2554). *การศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศ แบบธรรมชาติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในสภาวะอากาศแบบร้อนและชื้น*. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือปีที่ 21 (ฉบับที่ 3): 559-568.
- S. Maneewan; et al. (2005). *Heat gain reduction by means of thermoelectric roof solar collector*. Solar Energy. (78): 495-503.
- S. Chungloo; & B. Limmeechokchai. (2007). *Application of passive cooling systems in the hot and humid climate: The case study of solar chimney and wetted roof in Thailand*. Building and Environment. (42): 3341-3351.