

**การศึกษาทดสอบการลดภาระความร้อนและเปรียบเทียบสมรรถนะเชิง
ความร้อนระหว่างหลังคาคอนกรีตทั่วไปกับหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศ
ห้องใต้หลังคาร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองแบบ**
**Field Study of Cooling Load Reduction and Thermal
Performance of Simple Roof Concrete and Roof Solar Cells
Attic Ventilation Assisted with DC Fan of Two Models**

ปริดา จันทวงษ์¹ และ บุญชอบ โสตประวัติ²

Preeda Chantawong¹ and Boonchorb Sotprawati²

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาทดสอบการลดภาระความร้อนและเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงความร้อนระหว่างหลังคาคอนกรีตทั่วไป (SRC) กับหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองแบบ (RSCAV) โดยหลังคาทั้งสามแบบ มีขนาดพื้นที่ประมาณ 3.24 ตร.ม. สำหรับหลังคา RSCAV ทั้งสองแบบมีโครงสร้างเหมือนกันประกอบด้วย แผ่นกระเบื้องคอนกรีตซีเมนต์โมเนียสีแดงร่วมกับแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาแบบโสมมีความหนา 0.015 ม. ด้านบนติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 วัตต์ มีความหนา 0.015 ม. หลังคา RSCAV แบบแรกมีช่องเปิดด้านบนอยู่ภายนอกหลังคามีขนาดพื้นที่ 0.15 x 0.70 ตร.ม. ที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5.76 วัตต์ 4 ตัว อยู่ด้านทิศเหนือและทิศใต้และช่องเปิดบนฝ้าเพดานด้านล่างอยู่ภายในห้อง มีขนาด พื้นที่ 0.15 x 0.70 ตร.ม. ที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5.76 วัตต์ 4 ตัว อยู่ภายในห้องและส่วนฝ้าเพดานใช้แผ่นยิบซัมชนิดบุฟอยด์มีความหนา 0.008 ม. ร่วมกับแผ่นกรองแสงมีความหนา 0.004 ม. แต่หลังคา RSCAV แบบที่สองมีช่องเปิดด้านบนอยู่ชายคาภายนอกหลังคามีขนาดพื้นที่ 0.15 x 0.70 ตร.ม. หลังคาทั้งสามแบบทำการติดตั้งกับบ้านจำลองทั้งสองหลังมีขนาดเท่ากันสร้างด้วยคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำมีปริมาตรประมาณ 4.05 ลบ.ม. ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างบ้านจำลองทั้งสองหลังที่มีผลต่อการลดการสะสมความร้อนและความชื้นภายในห้องใต้ หลังคาของบ้านพักอาศัย

ผลการศึกษาดทดลองพบว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV ทั้งสองแบบมีอุณหภูมิและมวลความชื้นภายในห้องต่ำกว่าประมาณ $2-6^{\circ}\text{C}$ และ 0.0257 kg/kg บ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC และหลังคา RSCAV ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่บ้านจะลดลงร้อยละ 38.4, 56.45 ตามลำดับ ช่วยระบายอากาศภายในห้องเกิดการไหลเวียนของอากาศภายในบ้านดีขึ้นกว่าหลังคากริดทั่วไป SRC

คำสำคัญ: หลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคา (RSCAV), การระบายอากาศแบบธรรมชาติ, ความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์, สภาพอากาศแบบร้อนและชื้นของกรุงเทพมหานคร

Abstract

This paper reports comparative field study of cooling load reduction and thermal performance between of Simple Roof Concrete (SRC) and Roof Solar Cells Attic Ventilation assisted with DC fan of two models (RSCAV). A roof of each model has area of 3.24 m^2 . Both RSCAV models have the same dimension and are combination of Red CPAC Monier concrete and transparent tiles, 0.015 m thick, with Solar Cells 50WP external roof, 0.015 m thick solar cells panel, 0.015 m. The first model, RSCAV on the outer side of openings located at the top (ambient side) were $0.15 \times 0.70\text{ m}^2$ assisted with $4 \times 5.76\text{ WP}$ DC fan installed at the south, north façade and inner side of openings located at the bottom (room side) on ceiling were $0.15 \times 0.70\text{ m}^2$ assisted with $4 \times 5.76\text{ WP}$ DC fan installed at the roof side, and another combination of gypsum with aluminum foil board 0.008 m thick and translucent sheets 0.004 m thick on the room side, The second model, RSCAV on the outer side of openings located at the roof eaves (ambient side) were $0.15 \times 0.70\text{ m}^2$. A roof of three models was installed on roof of two small houses of the same dimension, 4.05 m^3 volume made from autoclaved aerated concrete. Then the comparison of performance between RSCAV of two models and SRC for reducing thermal heat gain and moisture of ceiling, using another small house model, was studied.

The experimental results revealed that indoor temperature and moisture of RSCAV of two models room and air indoor under roof was about $2-6^{\circ}\text{C}$ and 0.0257 kg/kg lower than that of the SRC room. And RSCAV of two models has ventilation reduced heat gain admitted through the on roof considerably room was about 38.4, 56.45% lower than that of the SRC room.

Keywords : Roof Solar Cells Attic Ventilation (RSCAV), Natural ventilation, Solar Radiation, Hot and Humid Climate of Bangkok

1. บทนำ

หลังคาเป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างของอาคาร มีหน้าที่ป้องกันความร้อนจากความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบและความชื้นจากน้ำฝนที่ตกตามฤดูกาลเข้าสู่ภายในบ้านทั้งทางตรงและทางอ้อมส่งผลทำให้ห้องใต้หลังคาเป็นแหล่งสะสมความร้อนและความชื้นก่อนที่จะถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้าน [2] และปัจจุบันนี้อาคารหรือบ้านพักอาศัยของประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร) ส่วนใหญ่ออกแบบสวยงามและทันสมัย หลังคาส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นระบบปิดที่สร้างด้วยวัสดุคอนกรีตมีสีภายนอกเป็นสีเข้มสวยงามประกอบสีส้มสีแดงและสีฟ้าสามารถ ดูดกลืนความร้อนได้สูง เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอากาศร้อนชื้นมีสภาพอากาศร้อนสลับฝนตลอดปี มีความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ประมาณ $17 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$ มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยประมาณ $20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประมาณร้อยละ 59 – 100 [1] ก่อให้เกิดปัญหาความร้อนและความชื้นที่เกิดการสะสมภายในห้องใต้หลังคาและถ่ายเข้าสู่ภายในบ้าน [2] ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญต่อความรู้สึกสบายของผู้พักอาศัย ส่วนใหญ่ทำการแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิและความชื้นภายในบ้านต่อมา Chantawong และคณะ [3-7] ได้มีการศึกษาพัฒนาปล่องหลังคาระบายอากาศแบบธรรมชาติเป็นหลังคาสองชั้นมีโครงสร้างประกอบด้วย หลังคาด้านบนมีช่องเปิดเพื่อระบายอากาศออกสู่สิ่งแวดล้อม มีช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาสองชั้น และแผ่นปิดด้านล่างมีช่องเปิดอยู่ภายในห้องเพื่อระบายอากาศ สำหรับระบบนี้มีหลักการทำงานสองกรณีโดยกรณีแรกเป็นการระบายอากาศแบบธรรมชาติใช้หลักการพาความร้อนของอากาศและกรณีที่สองเป็นการระบายอากาศแบบบังคับโดยใช้พัดลมกระแสตรงที่ได้แหล่งพลังงานไฟฟ้ามาจากแผงโซลาร์เซลล์โดยตรงตลอดเวลาที่มีแสงแดด ช่วยระบายอากาศจากภายในบ้านและห้องใต้หลังคาของบ้านออกสู่สิ่งแวดล้อมได้เร็วขึ้น ผลการทดสอบกรณีเปิดเครื่องปรับอากาศปล่องหลังคาระบายอากาศแบบธรรมชาติ เมื่อเทียบกับหลังคาทั่วไป ปล่องหลังคาสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศได้ร้อยละ 89.3 และในต่างประเทศได้มีการศึกษาหลังคาทั้งหลังระบายอากาศห้องใต้หลังคา โดย Hendron และคณะ [8] เพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาของบ้านโดยใช้ลูกหมุนระบายความร้อนออกจากห้องหลังคา ต่อมา Medina และคณะ [9-10] ได้ศึกษาการระบายอากาศ ลดความร้อนห้องใต้หลังคาร่วมกับฉนวนป้องกันความร้อนจากฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในบ้านพักอาศัย และ Ungkoon และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบทดสอบระหว่างบ้านจำลองหลังคาทั้งหลังระบายอากาศแบบธรรมชาติกับหลังคาทั่วไปและต่อมา Hirunlabh และคณะ [13] ได้ศึกษาการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาของบ้านจำลองทั้งสองแบบ แบบแรกเป็นการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาโดยใช้อากาศจากภายนอกตัวบ้าน (External ventilation) และแบบที่สองเป็นการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาโดยใช้อากาศภายในตัวบ้าน (Cross ventilation) ผลการทดลองจะพบว่าบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาทั้งหลังระบาย

อากาศแบบธรรมชาติ และการระบายอากาศในห้องได้หลังคาทั้งสองแบบมีอุณหภูมิต่ำกว่าบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาทั่วไปประมาณ $0.5 - 3^{\circ}\text{C}$ (ข้อเสียช่วงกลางวันไม่ได้นำ แสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์)



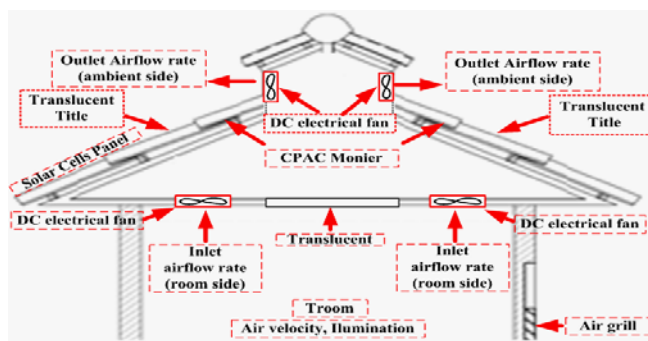
รูปที่ 1 บ้านทดสอบทั้งสองหลัง [14]

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการป้องกันและลดภาระ ความร้อนและมวลความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านจำลองระหว่างบ้านที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (Simple Roof Concrete: SRC, Home 1) และบ้านที่ติดตั้งหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องได้หลังคาพร้อมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อช่วยระบายอากาศและความชื้นภายในบ้านจำลองทั้งสองแบบ (Roof Solar Cells Attic Ventilation assisted with DC fan: RSCAV, Home 2) สำหรับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงได้แหล่งพลังงานไฟฟ้ามาจากแผงโซลาร์เซลล์ป้อนให้กับพัดลมทั้งสองแบบและมีผลต่อการลดการสะสมความร้อนและความชื้นภายในบ้านพักอาศัยซึ่งมีหลังคา RSCAV เพื่อระบายอากาศ ทั้งสองแบบมีโครงสร้างเหมือนกันคือประกอบด้วยแผ่นกระเบื้องคอนกรีตซีแพคโมเนียสีแดงร่วมกับแผ่นกระเบื้องใส หลังคามีความหนาประมาณ 0.015 ม. ด้านบนหลังคาติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 วัตต์ มีความหนา 0.015 ม. หลังคา RSCAV แบบแรกมีช่องเปิดด้านบนอยู่ภายนอกหลังคามีขนาดพื้นที่ 0.15×0.70 ตร.ม. ที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5.76 วัตต์ 4 ตัว อยู่ด้านทิศเหนือและทิศใต้และช่องเปิดบนฝ้าเพดานด้านล่างอยู่ภายในห้องมีขนาดพื้นที่ 0.15×0.70 ตร.ม. ที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5.76 วัตต์ 4 ตัว อยู่ภายในห้องและส่วนฝ้าเพดานใช้แผ่นยิบซัมชนิดบุด้วยพอยด์มีความหนา 0.008 ม. ร่วมกับแผ่นกรองแสงมีความหนา 0.004 ม. แต่หลังคา RSCAV แบบที่สองมีช่องเปิดด้านบนอยู่บริเวณภายนอกของบ้านจำลองตรงชายคา หลังคามีขนาดพื้นที่ 0.15×0.70 ตร.ม. สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพัฒนาต่อเนื่องจากงานวิจัยของ Ungkoon และคณะ [11] Chantawong และคณะ [12] และ [15] Hirunlabh และคณะ [13] และ Puangsombut [14] ทำการทดสอบที่บ้านจำลองทั้งสองหลังที่มีขนาดเท่ากันและมีปริมาตรเท่ากับ 4.05 m^3

(ดังรูปที่ 1) ทำการศึกษาทดสอบภายใต้สภาวะอากาศปกติสองกรณี คือกรณีแรกทดสอบโดยเปิดพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงและปิดเครื่องปรับอากาศ (Non AC) จากผลทดลองภายในทดลองวันที่ 24 เมษายน และวันที่ 30 มีนาคม 2555 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงของ รังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ค่าความสว่างของแสงธรรมชาติภายใน ค่าความร้อนไหลผ่านหลังคา อุณหภูมิต่างๆ ของบ้านจำลองทั้งสองหลังที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1 และหลังคา RSCAV: Home 2 ทั้งสองแบบเฉพาะบนหลังคาและภายในบ้าน เช่น อุณหภูมิบนหลังคา SRC อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาและภายในของบ้าน SRC และอุณหภูมิบนหลังคา RSCAV อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาและภายในของบ้าน RSCAV ความชื้นภายในห้องของบ้านจำลองทั้งสองหลังและสิ่งแวดล้อม จากวิธีการคำนวณและความเร็วลมภายในภายนอกของบ้านทดสอบทั้งสองหลังและความเร็วของช่องเปิดของบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV กรณีที่สองทดสอบโดยเปิดพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงและเปิดเครื่องปรับอากาศ (Open AC) จากผลทดลองวันที่ 25 มีนาคม และวันที่ 4 มีนาคม 2555 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจากบ้านทดสอบทั้งสองหลัง

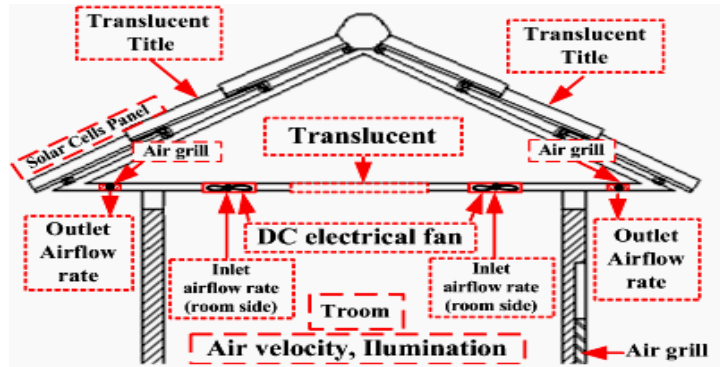
1.1 ทฤษฎีและหลักการของหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคา

หลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (RSCAV) ทั้งสองแบบ (ดังรูปที่ 2-3) มีหลักการทำงานสองกรณี [5-15] ดังนี้



รูปที่ 2 หลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงแบบแรก (RSCAV-1)

กรณีแรกเป็นการระบายแบบธรรมชาติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนหลังคาเกิดการสะสมความร้อนที่ผิวและถ่ายเทความร้อนผ่าน โครงสร้างของหลังคาเข้าภายในห้องใต้หลังคาทำให้อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาสูงกว่าอุณหภูมิภายในห้องของบ้านจำลอง และสิ่งแวดล้อม ทำให้อากาศภายในห้องใต้หลังคามีความหนาแน่นลดลง เกิดแรงลอยตัวพาอากาศภายใน ห้องใต้หลังคาออกสู่สิ่งแวดล้อมทางด้านบนช่องเปิดของหลังคา(หลังคา RSCAV-1) หรือออกสู่ สิ่งแวดล้อมทางชายคาหลังคา (หลังคา RSCAV-2) และเหนี่ยวนำของอากาศภายในห้องของบ้าน ด้านล่างบริเวณฝ้าเพดานและอากาศสิ่งแวดล้อมเข้ามาแทนที่อากาศภายในห้องใต้หลังคาก่อให้เกิด การระบายอากาศแบบธรรมชาติ

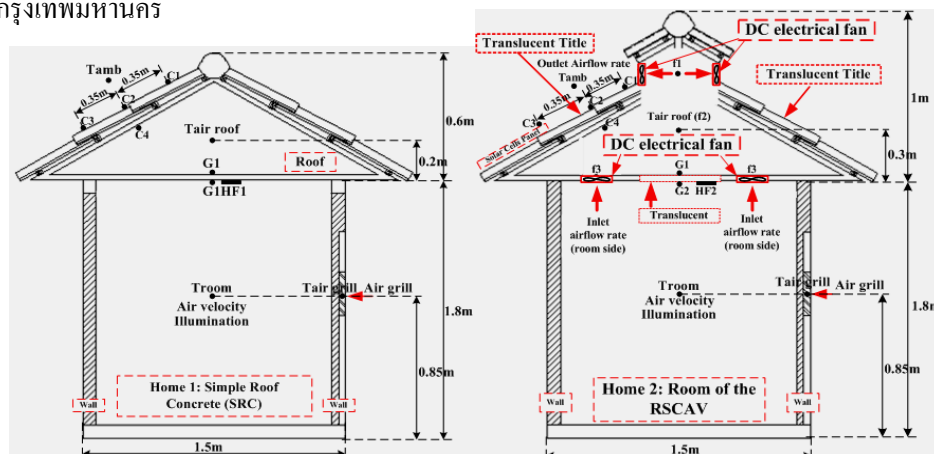


รูปที่ 3 หลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาพร้อมกับผลิตไฟฟ้ากระแสตรงแบบที่สอง (RSCAV-2)

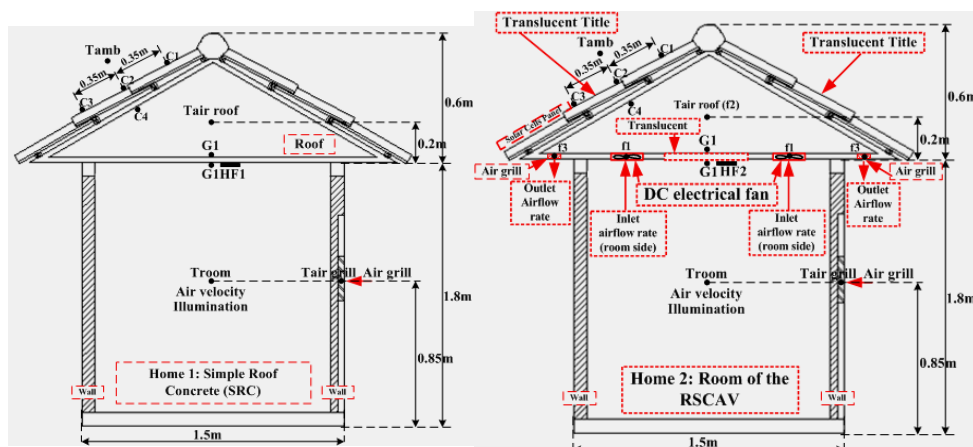
กรณีที่สองเป็นระบายอากาศแบบบังคับจะมีพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงช่วยระบายอากาศ จากภายในห้องเข้าสู่ห้องใต้หลังคาได้เร็วขึ้น ซึ่งจะมีหลักการเหมือนกรณีแบบแรกโดยพัดลมจะเพิ่มความเร็วลมในการระบายจากภายในสู่ภายนอกได้เร็วขึ้น ส่งผลต่อสภาวะความสบายของผู้พักอาศัยและการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเวียนของภายในห้องออกสู่สิ่งแวดล้อมขึ้นกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นและระบบหลังคา RSCAV ทั้งสองแบบจะช่วยระบายอากาศแบบธรรมชาติและนำความสว่างของแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ช่วงเวลากลางวันช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ [20]

2. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

ทดสอบหลังคาทั้งสามแบบโดยติดตั้งกับบ้านจำลองทั้งสองหลัง (ดังแสดงในรูปที่ 1) ณ บริเวณชั้นคาดฟ้าอาคาร 63 วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 4 การติดตั้งเครื่องมือวัดของบ้านที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (SRC: Home 1) และหลังคา เซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาแบบแรก (RSCAV-1: Home 2)



รูปที่ 5 การติดตั้งเครื่องมือวัดของบ้านที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (SRC: Home 1) และหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบบอากาศห้องใต้หลังคาแบบที่สอง (RSCAV-2: Home 2)

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการป้องกันและลดภาระความร้อนและมวลความชื้นเข้าสู่ภายในบ้านจำลองระหว่างบ้านที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (SRC: Home 1) สำหรับหลังคาคอนกรีตทั่วไปมีลักษณะโครงสร้างของหลังคาเหมือนหลังคาทั่วไป [3-7] และบ้านที่ติดตั้งหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบบอากาศห้องใต้หลังคาร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองแบบ (RSCAV-1, 2: Home 2) จากการทดสอบบ้านจำลองทั้งสองหลังที่ใช้ทดสอบจะมีขนาดเท่ากันและมีปริมาตรเท่ากับ 4.05 ลบ.ม. [6,12,15] ทดสอบภายใต้สภาวะอากาศปกติสองกรณี คือ กรณีแรกทดสอบโดยเปิดพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงและปิดเครื่องปรับอากาศ (Non AC) และกรณีที่สองทดสอบโดยเปิดพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงและเปิดเครื่องปรับอากาศโดยเครื่องปรับอากาศแบบส่วนขนาด 12,638 บีทียูต่อชั่วโมง (Open AC) หลังคาคอนกรีตหรือหลังคาทั่วไป (SRC: Home 1) ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 4 มีลักษณะโครงสร้างเป็นกระเบื้องซีแพคโมเนียสีแดงทำมุมเอียง 30 องศา จากแนวนอนมีความหนาประมาณ 15 มม. บัวด้วยแผ่นอลูมิเนียมพอยด์สะท้อนความร้อนฝ้าเพดานเป็นยิปซัมมีความหนา 10 มม. และโครงสร้างของหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบบอากาศห้องใต้หลังคาร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (RSCAV-1,2: Home 2) ทั้งสองแบบ (ดังรูปที่ 1) มีโครงสร้างเหมือนกันประกอบด้วยแผ่นกระเบื้องคอนกรีตซีแพคโมเนียสีแดงร่วมกับแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาแบบโสมมีความหนา 0.015 ม. ด้านบนติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 วัตต์ มีขนาด 0.670 x 0.656 x 0.03 ม. (จำนวน 1 แผง) และเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคริสตัลไลน์ซิลิกอน (Crystalline Silicon) และมีลักษณะพิเศษอื่นๆ แรงดันมาตรฐาน 17 โวลต์ กระแสไฟฟ้าปกติ 2.95 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าปกติ 12.0 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 3.25 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด 21.5 โวลต์ และมีความหนา 0.015 ม. หลังคา RSCAV-1: Home 2 มีช่องเปิดด้านบนอยู่ภายนอกหลังคามีขนาดพื้นที่ 0.15 x 0.70 ตร.ม. ที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5.76 วัตต์ 4 ตัว อยู่ด้านทิศเหนือและทิศใต้

และช่องเปิดบน ฝ้าเพดานด้านล่างอยู่ ภายในห้องมีขนาดพื้นที่ 0.15×0.70 ตร.ม. ที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้า กระแสตรงขนาด 5.76 วัตต์ 4 ตัว อยู่ในห้องและส่วนฝ้าเพดานใช้แผ่นยิบซัมชนิดบุด้วยฟอยล์มีความหนา 0.008 ม. ร่วมกับแผ่นกรองแสงมีความหนา 0.004 ม. สำหรับหลังคา RSCAV-2: Home 2 มีช่องเปิด ด้านบนอยู่บริเวณภายนอกของบ้านจำลองตรงชายคาหลังคามีขนาดพื้นที่ 0.15×0.70 ตร.ม. สำหรับ บริเวณช่องเปิดช่วยระบายอากาศจากภายในห้องผ่านห้องใต้หลังคาสู่สิ่งแวดล้อม และบ้านจำลองที่ใช้ ทดสอบทั้งสองหลัง มีโครงสร้างประกอบด้วยผนังมวลเบาฉาบปูนด้านนอกทั้ง 4 ด้าน และบนผนังทาสี ภายนอก(สีขาว) มีขนาดของผนังแต่ละด้านเท่ากับ $1.5 \times 1.8 \times 0.10$ ม. มีประตูพลาสติก PVC ขนาด $1.5 \times 0.75 \times 0.035$ ม. ติดตั้งอยู่ทางด้านทิศเหนือและมีหน้าต่างเป็นกระจกใสขนาด $0.5 \times 0.8 \times 0.006$ ม. ติดตั้ง อยู่ทางด้านทิศใต้ (ดังแสดงในรูปที่ 1) ทำการติดตั้งจุดวัดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-5 วัดค่าความเข้มแสง ของรังสีอาทิตย์วัดโดยไพราโนมิเตอร์ (ยี่ห้อ EKO รุ่น Model Pyranometer MS-402 ช่วงการวัด 1 ถึง 1400 W/m^2 ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5 \%$) จำนวน 1 จุด วัดค่าความสว่างของแสงธรรมชาติภายในบ้านโดยใช้ เครื่องวัด Lux meter (ยี่ห้อ Testo รุ่น Model 540 ช่วงการวัด 0 - 99,999 Lux ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 3 \%$) จำนวน 1 จุด วัดค่าความร้อนไหลผ่านหลังคาของบ้านจำลองทั้งสองหลังโดยใช้ Heat Flow Sensors หรือ Heat flux (ยี่ห้อ EKO รุ่น Model MF-180 ช่วงการวัดประมาณ -30°C ถึง 120°C ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 2 \%$) และวัดค่าเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบ้านจำลองโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5\%$) วัดอุณหภูมิของบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตหรือหลังคาทั่วไป SRC: Home 1 การ ติดตั้งจุดวัดค่าอุณหภูมิบนหลังคาด้านทิศใต้ของบ้านจำนวน 4 จุด (C1, C2, C3, C4) และฝ้าเพดานจำนวน 2 จุด (G1, G2) อุณหภูมิอากาศภายในห้องและห้องใต้หลังคาของบ้านจำนวน 4 จุด (Troom, Troom, wb, Tair roof, Tair roof, wb) อุณหภูมิอากาศตรงบานเกล็ดของประตูบ้านจำนวน 1 จุด (Tair grill) และบ้าน จำลองที่ติดตั้งหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (RSCAV-1: Home 2) แบบแรก ทำการติดตั้งจุดวัดค่าอุณหภูมิบนหลังคาด้านทิศใต้ของบ้านจำนวน 3 จุด (C1, C2, C4) อุณหภูมิบนผิวเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 จุด (C3) และฝ้าเพดานเป็นแผ่นกรองแสงจำนวน 2 จุด (G1, G2) อุณหภูมิอากาศภายในห้องและห้องใต้หลังคาของบ้านจำนวน 6 จุด (Troom = Troom, db, Troom, wb, Tair roof, db = Tmiddle, Tair roof, wb, Toutlet, Tin) อุณหภูมิอากาศที่บานเกล็ดของประตู บ้านจำนวน 1 จุด (Tair grill) และบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคา ร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (RSCAV-2: Home 2) แบบที่สองจะทำการติดตั้งจุดวัดค่าอุณหภูมิ เหมือนกับแบบแรก (RSCAV-1: Home 2) และแตกต่างที่ วัดค่าอุณหภูมิอากาศตรงชายคาหลังคา (Toutlet) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจำนวน 2 จุด (Tamb, Tamb, wb) สำหรับค่าความเข้มแสงของรังสี อาทิตย์และความร้อนไหลผ่านหลังคาของบ้านและค่าอุณหภูมิต่าง ๆ จะถูกบันทึกในเครื่องบันทึกข้อมูล (Data recorder ยี่ห้อ Hioki รุ่น Model 8422-51 ขนาด 32 ช่อง ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.8\%$) วัดความ เร็วลมที่ทางออกของช่องเปิดต่าง ๆ ความเร็วลมภายในและภายนอกบ้านจำนวน 3 จุด โดยใช้เครื่องวัด

Hot wire anemometer (ยี่ห้อ Testo รุ่น Model 445 ช่วงการวัด 0 ถึง 50 m/s ความคลาดเคลื่อน $\pm 0.3 \%$) สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในบ้าน และสิ่งแวดล้อม จะใช้วิธีการคำนวณจากจากเอกสารอ้างอิง [16-19] โดยใช้สมการความชื้นของอากาศ (Moisture content: W) นำผลจากการทดลองที่ได้ค่าทั้งอากาศภายในห้องและสิ่งแวดล้อมมาคำนวณหาได้จากสมการ (1) และค่าความดันบรรยากาศ ($P_{atm} = 101.325 \text{ kPa}$) ความดันของน้ำในอากาศ (Partial pressure of water in humid air: P_w) จากผลการทดลองทั้งอากาศภายในห้อง และสิ่งแวดล้อมสามารถคำนวณได้จากสมการ (2) โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity: Rh) ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศแห้ง (Dry Bulb Temperature: T_{db}) ภายในห้องและสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการทดลองและ a, b, d เป็นค่าคงที่

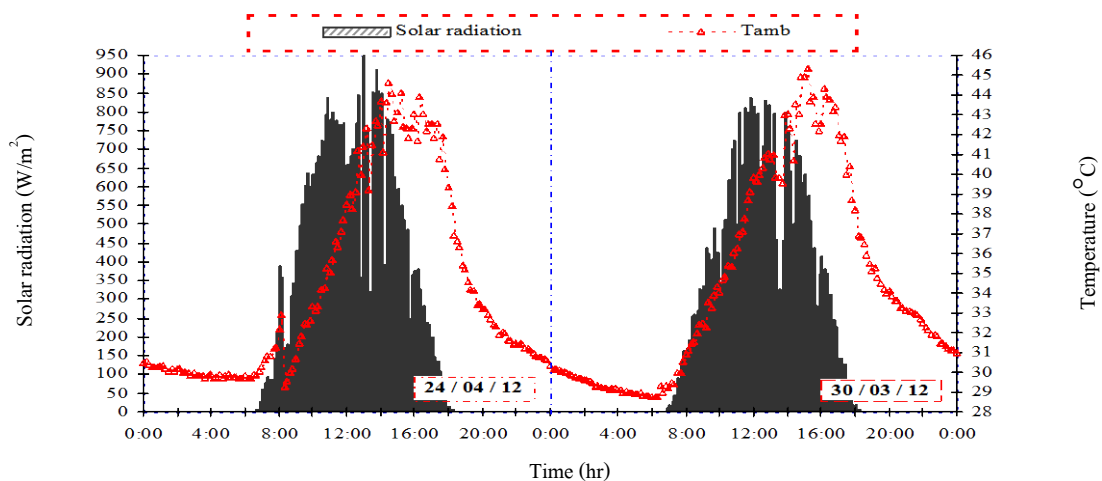
$$W = 0.62198 \frac{P_w}{P_{atm} - P_w} \quad (1)$$

$$P_w = Rh.(1000.\exp(a.T_{db}^2 + b.T_{db} + d.T_{db}^{-1})) \quad (2)$$

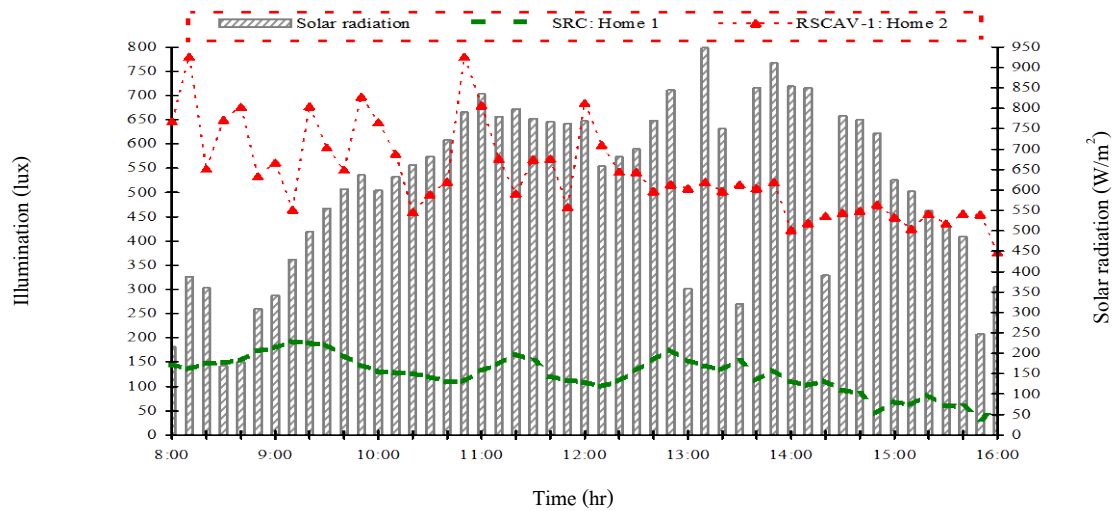
การวัดค่าทดสอบต่าง ๆ ของบ้านทั้งสองดังแสดงรูปที่ 1 และจากรูปที่ 5-6 จะอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันทุกจุดทำการติดตั้งเครื่องมีวัดและเก็บบันทึกข้อมูลทุก 10 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง

3. ผลการทดลอง

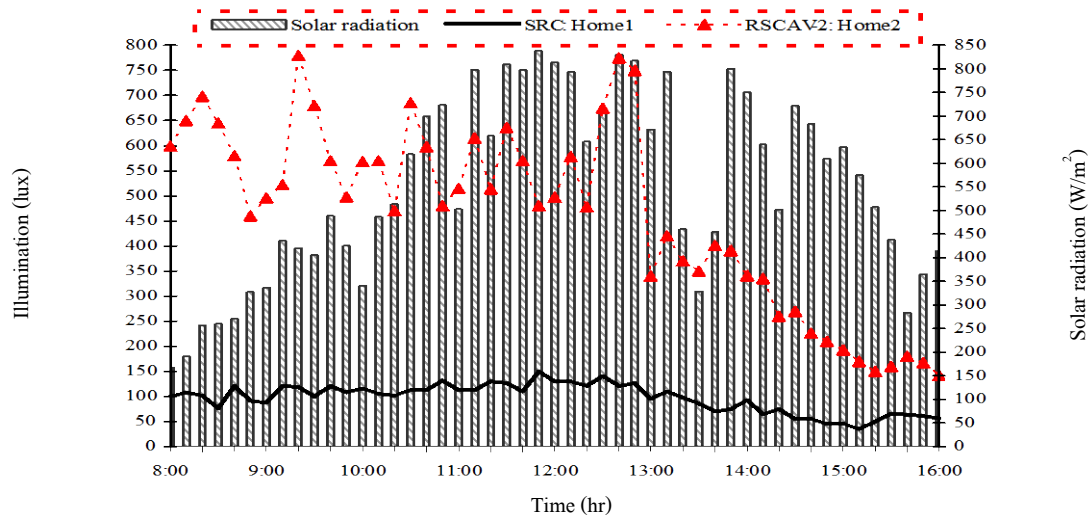
การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ (Solar radiation) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_{amb}) และค่าความสว่างของแสงธรรมชาติ (Illumination) ภายในบ้านจำลองทั้งสองหลังที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (SRC: Home 1) และหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายนํ้าอากาศห้องใต้หลังคาพร้อมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (RSCAV1-2: Home 2) ทั้งสองแบบที่ส่องผ่านหลังคาเข้าสู่ภายในบ้าน ณ บริเวณที่มีการทำการทดสอบตลอดทั้งวัน



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ (วันที่ 24 เมษายน และวันที่ 30 มีนาคม 2555)



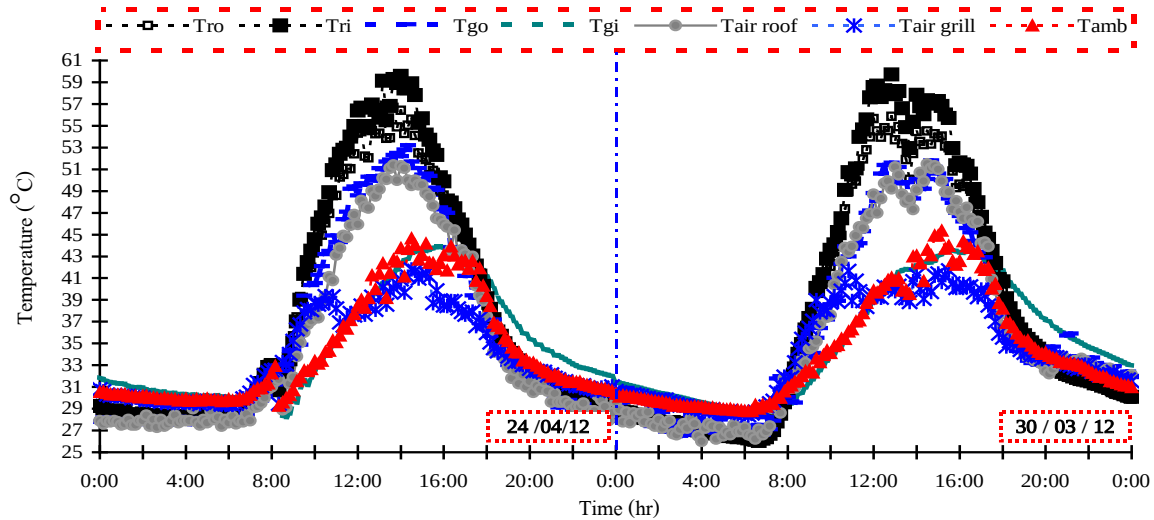
รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติภายในของบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1
กับหลังคา RSCAV-1: Home 2 (วันที่ 24 เมษายน 2555)



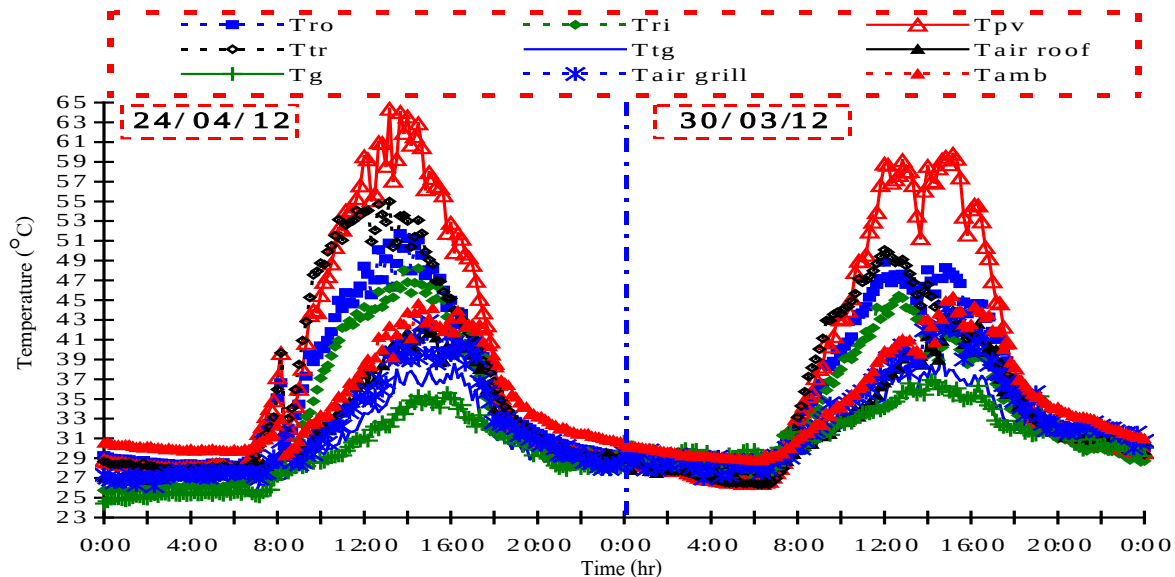
รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติภายในของบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1
กับหลังคา RSCAV-2: Home 2 (วันที่ 30 มีนาคม 2555)

ผลการทดสอบจะพบว่า ความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องภายในวันที่ 24 เมษายน 2555 มีค่าความเข้มแสงรังสีอาทิตย์ประมาณ 8 – 950 W/m² และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 29 - 45°C และวันที่ 30 มีนาคม 2555 จะมีค่าความเข้มแสงรังสีอาทิตย์ประมาณ 19 – 840 W/m² และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 28 - 46°C และจากการทดสอบทั้งสองวันจะพบว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC มีค่าความสว่างภายในประมาณ 25 - 195 lux และมีค่าความสว่างภายในน้อยกว่าบ้าน

ที่ติดตั้งหลังคา RSCAV ทั้งสองแบบ (149 - 950 lux) ร้อยละ 80 เนื่องจากระบบหลังคา SRC ใช้วัสดุหลังคาเป็นแบบทึบแสงส่งผลให้แสงธรรมชาติน้อยกว่าภายในเวลากลางวัน ทำให้บ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์เวลากลางวันได้ร้อยละ 76.8-80 เมื่อเทียบกับหลังคาทั่วไป

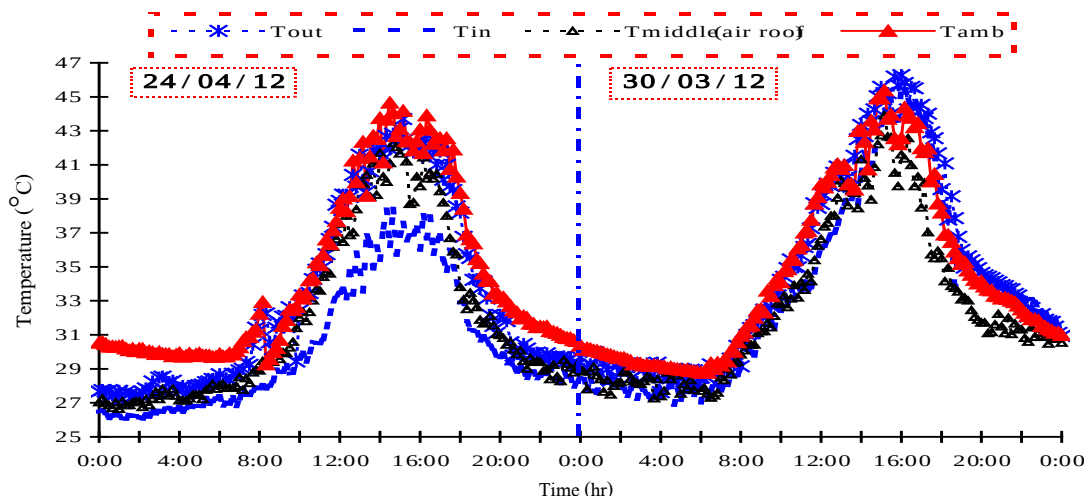


รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในของบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1
(วันที่ 24 เมษายนและวันที่ 30 มีนาคม 2555)

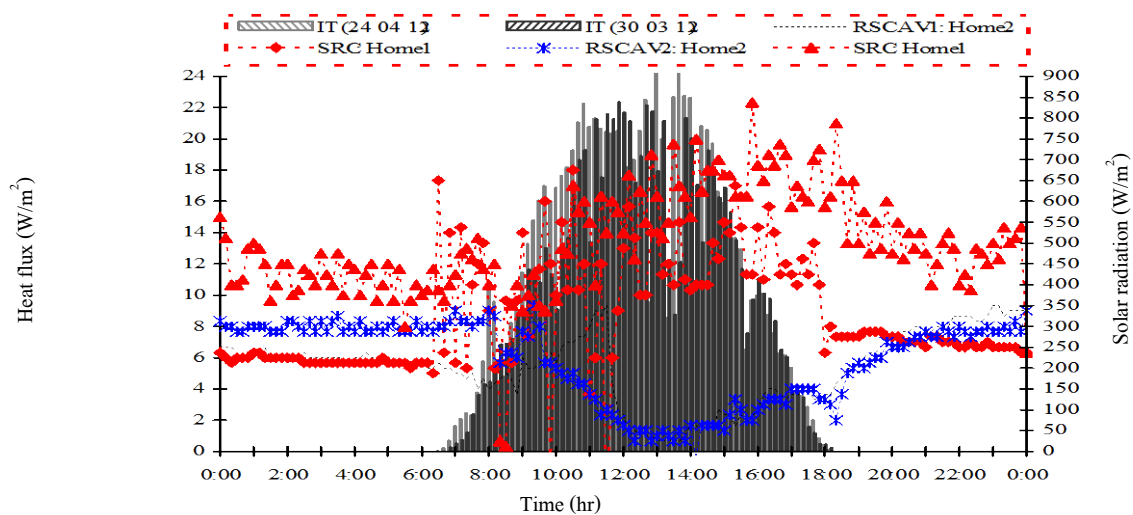


รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในของบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV-1: Home 2 กับ RSCAV-2: Home 2
(วันที่ 24 เมษายนและวันที่ 30 มีนาคม 2555)

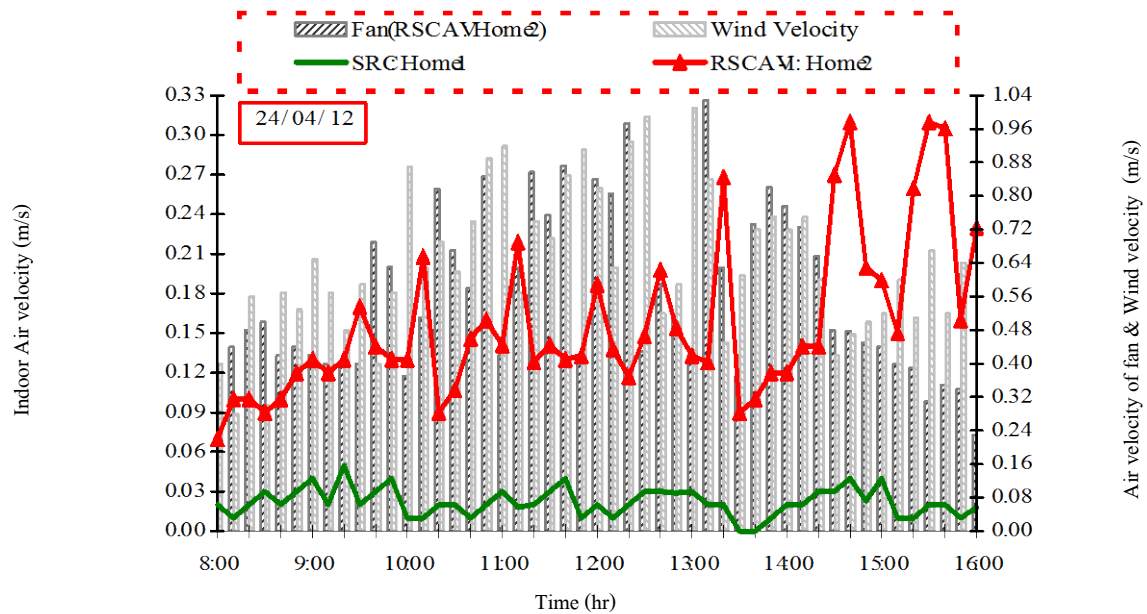
ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1 และบ้านที่ติดตั้ง หลังคา RSCAV-1, 2: Home 2 พบว่า อุณหภูมิบนผิวเซลล์แสงอาทิตย์ (T_{pv}) ของบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV มีอุณหภูมิสูงประมาณ 65°C เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีสีดำสามารถดูดกลืนความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ได้ดี ส่งผลให้มีอุณหภูมิสูง (จากรูปที่ 9-10) และอุณหภูมิบนด้านในและด้านนอกของหลังคา SRC (T_{ri} , T_{ro}) มีอุณหภูมิประมาณ 63°C และ 57°C มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิบนด้านในของ หลังคา RSCAV ทั้งสองแบบประมาณ $5-10^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาและอุณหภูมิฝ้าเพดาน ($T_{air\ roof}$, T_g) ของบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของบ้าน ที่ติดตั้งหลังคา SRC ประมาณ $0.1-10^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ $2 - 10^{\circ}\text{C}$



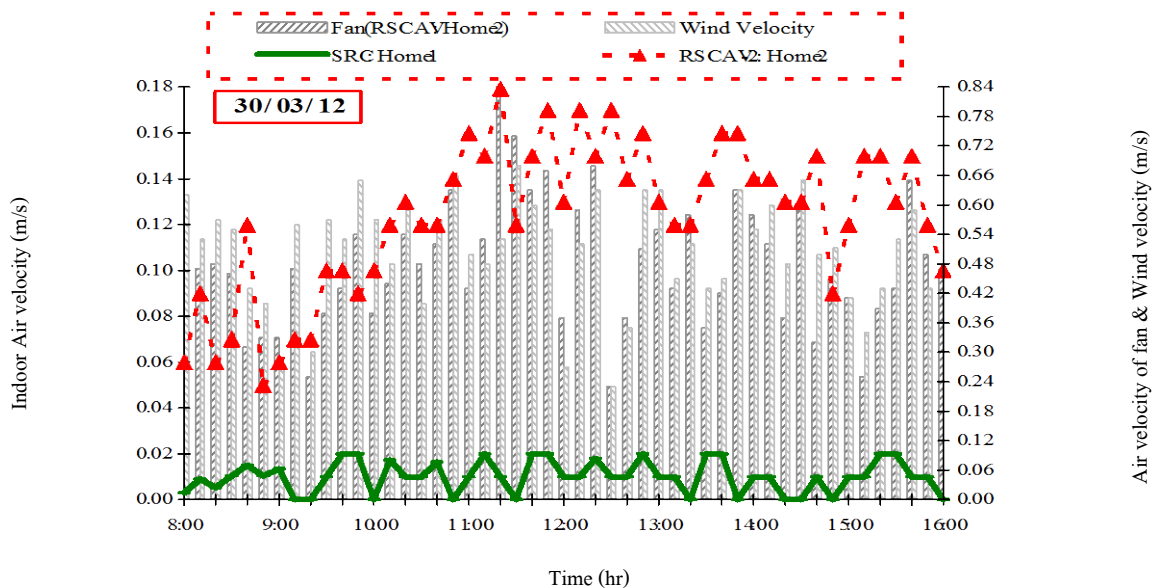
รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคา RSCAV-1: Home 2 กับ RSCAV-2: Home 2 (วันที่ 24 เมษายนและวันที่ 30 มีนาคม 2555)



รูปที่ 12 ผลการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1 และ RSCAV-1: Home 2 กับ RSCAV-2: Home 2



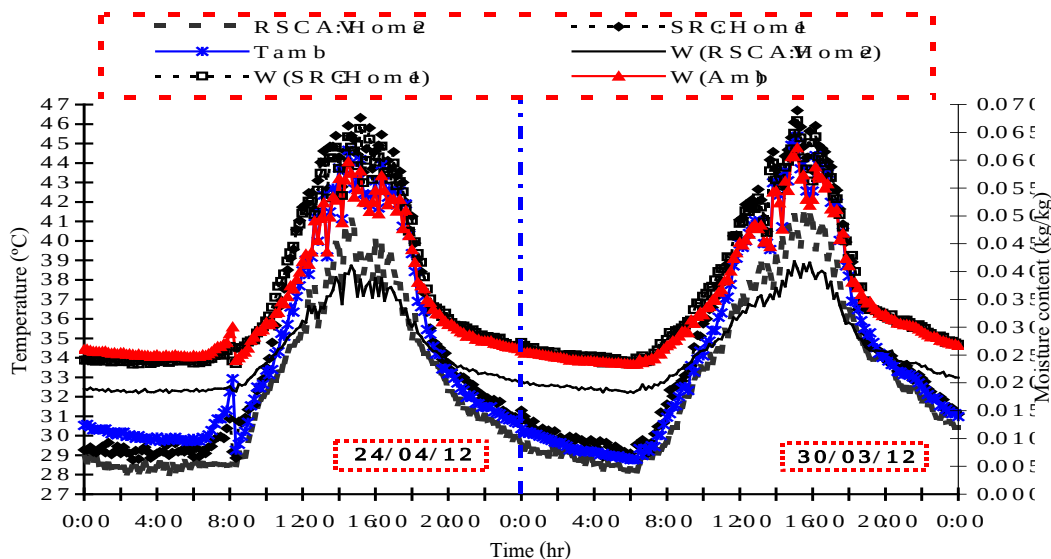
รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมภายในบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1 กับหลังคา RSCAV-1: Home 2 (วันที่ 24 เมษายน 2555)



รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมภายในบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1 กับหลังคา RSCAV-2: Home 2 (วันที่ 30 มีนาคม 2555)

จากรูปที่ 9-10 พบว่าอุณหภูมิบนหลังคาและอากาศภายในห้องใต้หลังคาของบ้านที่ติดตั้ง RSCAV มีค่าต่ำกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC และอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคา RSCAV-1 และ

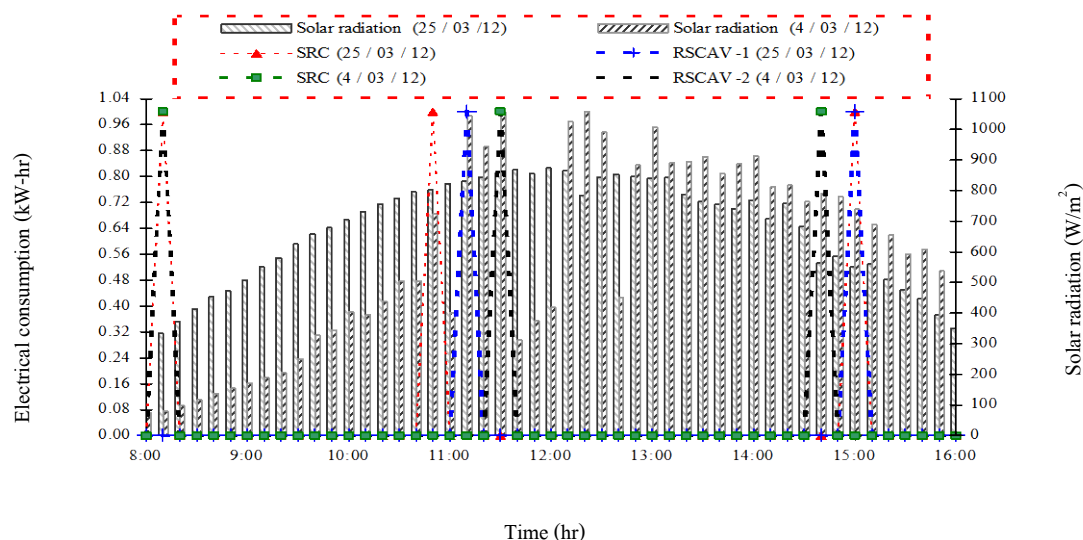
RSCAV-2: Home 2 (จากรูปที่ 11) พบว่าอุณหภูมิอากาศใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกิดการไหลเวียนภายในระบบส่งผลให้ลดการสะสมความร้อนภายในห้องใต้หลังคา และจากรูปที่ 12 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ติดตั้งหลังคา RSCAV: Home 2 ทั้งสองแบบ มีค่าการนำความร้อนผ่านหลังคาต่ำกว่าหลังคา SRC ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังการ่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงสามารถลดความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวบ้านได้ดีกว่าหลังคา SRC ประมาณร้อยละ 38.4, 56.45 ตามลำดับและจากทดลองจะพบว่าห้องของบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV - 1 และ RSCAV - 2 : Home 2 มีการระบายอากาศภายในห้องประมาณ 0.06 - 0.33 m/s สูงกว่าห้องของบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC ซึ่งจะมีการระบายอากาศภายในห้องประมาณ 0.01-0.04 m/s ความเร็วลมภายนอกประมาณ 0.04 - 1.02 m/s พัดลมกระแสตรงจะมีความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วภายนอก (ประมาณ 0.24 - 1.04 m/s) ซึ่งจะแสดงให้เห็นได้ว่าหลังคา RSCAV: Home 2 ทั้งสองแบบสามารถระบายอากาศได้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในห้องของบ้านทดสอบ (จากรูปที่ 13-14) ส่งผลทำให้การสะสมความร้อนและความชื้นลดลง



รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและมวลความชื้นภายในของบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1 กับหลังคา RSCAV-1, 2: Home 2 (วันที่ 24 เมษายนและวันที่ 30 มีนาคม 2555)

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและมวลความชื้นภายในของบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1 กับหลังคา RSCAV-1, 2: Home 2 และสิ่งแวดล้อม ซึ่งความชื้นหรือมวลความชื้นของละอองน้ำที่สะสมภายในอากาศ และความชื้นที่สะสมของวัสดุต่าง ๆ ภายในบ้านที่เกิดการระเหยตัว เมื่อได้รับความร้อนจากภายนอก จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิและมวลความชื้นของอากาศภายในบ้านที่ติดตั้งหลังคา

ทั่วไป SRC: Home 1 สูงกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV-1, 2: Home 2 ทั้งสองแบบประมาณ $2-6^{\circ}\text{C}$ มวลความชื้นประมาณ 0.0257 kg/kg และต่ำกว่าอุณหภูมิและมวลความชื้นอากาศสิ่งแวดล้อม บ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป SRC จะมีความร้อนและมวลความชื้นสะสมของภายในห้องได้หลังคามากเนื่องจากไม่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ และระบบหลังคา RSCAV-1, 2: Home 2 สามารถลดความชื้นสะสมได้ร้อยละ 29.16 เมื่อเทียบกับหลังคาทั่วไป



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1 กับหลังคา RSCAV-1, 2: Home 2 (วันที่ 25 มีนาคม และวันที่ 4 มีนาคม 2555)

จากรูปที่ 16 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศระหว่างบ้านจำลองบ้านจำลองทั้งสองหลังที่ติดตั้งหลังคา SRC: Home 1 และหลังคา RSCAV1-2: Home 2 ที่ทำการทดสอบในสภาวะอากาศปกติ กรณีเปิดเครื่องปรับอากาศโดยตั้งอุณหภูมิภายในที่ 26°C จากผลทดลองวันที่ 25 มีนาคม และวันที่ 4 มีนาคม 2555 พบว่า มีค่าความเข้มแสงรังสีอาทิตย์ประมาณ $4 - 1050 \text{ W/m}^2$ และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ $26 - 55^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีผลต่อการใช้เครื่องปรับอากาศ ผลการศึกษาค้นคว้าจะพบว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV1-2 สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าร้อยละ 33 จากบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคา SRC เนื่องหลังคา RSCAV1-2 สามารถลดการสะสมความร้อนและมวลความชื้นสะสมภายในห้องได้หลังคาได้ดีกว่าหลังคา SRC (ดังแสดงในรูปที่ 15) ส่งผลให้อุณหภูมิภายในบ้านและห้องใต้หลังคาลดลงช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศ ดังนั้นผลจากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นได้ว่าหลังคา RSCAV1-2 ทั้งสองแบบสามารถใช้งานได้จริง และเป็นทางเลือกหนึ่งในนาระบบนี้ไปประยุกต์การใช้งานจริงต่อไป

4. สรุป

ผลการศึกษาทดสอบพบว่า อุณหภูมิอากาศและมวลความร้อนที่สะสมภายในห้องใต้หลังคาของบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC มีค่าสูงกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV1-2 อีกทั้งหลังคา RSCAV1-2 ยังช่วยลดความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวบ้านได้ดีกว่า หลังคา SRC ประมาณร้อยละ 38.4, 56.45 ตามลำดับ ดังนั้น หลังคา RSCAV1-2 ช่วยระบายอากาศจากภายในบ้านสู่สิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดสภาวะความสบายต่อผู้พักอาศัย ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศและ แสงประดิษฐ์ภายในช่วงเวลากลางวัน ส่งผลให้สามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนเพื่อการส่งเสริมงานวิจัยในลักษณะนักวิจัยทั่วไป ประจำปีงบประมาณ 2554 วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรีชา อ่องอารี ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคโนโลยี อุดสาหกรรมที่อนุญาตให้ใช้สถานที่สำหรับการทดสอบ และขอขอบคุณคณาธิการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม การทำความเย็นและการปรับอากาศ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Khedari, J., Sangprajak, A. and Hirunlabh, J., 2001. Thailand climatic zones. *Journal of Renewable Energy*, 25, 267-280.
- [2] Michels, C., Lamberts, R. and Güths, S., 2008. Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs. *Journal of Energy and Buildings*, 40, 445 - 451.
- [3] Chantawong, P., Ungkoon, Y. and Israngkura Na Ayudhya, B., 2010. Study of roof concrete solar chimney of house model under hot humid climate of Thailand. *Journal of Science Ladkrabang*, 19(2), 21-32, (In Thai).
- [4] Chantawong, P., Israngkura Na Ayudhya, B. and Ungkoon, Y., 2012. Natural ventilation of houses by a roof autoclaved aerated concrete solar chimney under hot humid climate of Bangkok. *KKU Sci. J.*, 40 (1), 83-94, (In Thai).
- [5] Chantawong, P., Hirunlabh, J., Khedari, J., Namprakai, P., Vimanjan, V., Promdong, J., Prapan, Y., Pitivattanakul, V., Senkaew, K., Katakul, T., Thairaj, W., Pratan, N., Pedmai, W., Kraiyong, S., Prathumwan, A., Supan, D. and Phienkaew, A., 2012. A study of thermal performance of roof solar cells chimney in hot and humid climate. *The Journal of KMUTNB*, 21(3), 559-568, (In Thai).

- [6] Chantawong, P., 2011. Investigation of thermal performance of roof solar cells chimney assisted with DC fan under the climate of Bangkok. *Ladkrabang Engineering Journal*, 28(1), 19 - 24, (In Thai).
- [7] Chantawong, P., 2013. Experimental comparative study between a simple roof concrete and roof solar cells chimney assisted with DC fan and life cycle cost analysis. *The Journal of KMUITNB*, (In Thai).
- [8] Hendron, R., Nagy, S, F., Anderson, R., Reeves, P. and Hancock, E., 2004. Thermal performance of unvented attic in hot-dry climates: Results from building America. *Transactions of the ASME*, 126, 732-737.
- [9] Medina, M. A. and Bryan, Y., 2006. A perspective on the effect of climate and local environmental variables on the performance of attic radiant barriers in the United States. *Journal of Buildings and Environment*, 41(12), 1767 - 1778.
- [10] Medina, M. A., 2000. On the performance of radiant barriers in combination with different attic insulation levels. *Journal of Energy and Buildings*, 39, 31- 40.
- [11] Ungkoon, Y., Chantawong, P., Muenram, W., Suraparp, K. and Pattranon, I., 2012. Field study measurement of performance of roof turbine ventilator under climate of Bangkok, *Journal of Science & Technology, Ubon Ratchathani University*, 14(1), 66– 75, (In Thai).
- [12] Chantawong, P. and Vimanjan, V., 2012. Natural ventilation of houses model by a roof solar cells turbine ventilator assisted with DC fan under climate of Bangkok. *Journal of KMUITNB*, 22(2), 305-314, (In Thai).
- [13] Hirunlabh, J., Puangsombut, W., Waewsak, J. and Khedari, J., 2002. PV attic ventilation: a simple tool for reducing cooling load and providing comfort. *International Journal of Ambient Energy*, 159-168.
- [14] Puangsombut, W., 2000. Cooling load reduction by PV attic ventilation. Master of Engineering Program, Thermal Technology, *King Mongkut's University of Technology Thonburi*, Bangkok, Thailand, 85pp.
- [15] Chantawong, P. Khedari, J. and Hirunlabh, J., 2012. Study of cooling load reduction by solar cells attic ventilation of house model under climate of Bangkok. *Ladkrabang Engineering Journal*, 29(2), 66 -71, (In Thai).

- [16] Relative Humidity Equations, <http://www.uswcl.ars.ag.gov/exper/relhumeq.htm>.
- [17] Devres, Y, O., 1994. Psychrometric property of humid air: calculation procedures. *Journal of Applied Energy*, 48, 1-18.
- [18] Nankongnab, N., Puangsombut, W., Insiripong, S., Hirunlabh, J. and Khedari, J., Shin U-Cheul., 2006. Field investigation on hydrothermal performance of full-vent perforated soffit and ceiling. *Journal of Solar Energy*, 80(8), 936-948.
- [19] Chantawong, P., Vimanjan, V., Asasutjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Orudee, A., Puangjeen, A. and Jaikrakang, L., 2007. Field comparative study between light gray and lily white exterior surface color on indoor conditions of a house model under hot humid climate of Bangkok. *The Journal of KMITNB*, 17(3), 11-20, (In Thai).
- [20] Yener, A. K., 1999. A method of obtaining visual comfort using fixed shading device in room. *Journal of Building and Environment*, 34, 285-291.

สัญลักษณ์ และคำย่อ

C	แสดงจุดวัดต่างๆ
Tamb	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, °C
Tair roof = Tmiddle	อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคา, °C
Tair grill	อุณหภูมิอากาศตรงบานเกล็ดของประตูบ้าน, °C
Tro	อุณหภูมิเฉลี่ยบนหลังคาด้านบน, °C
Tri	อุณหภูมิเฉลี่ยบนหลังคาด้านล่าง, °C
Tgo	อุณหภูมิเฉลี่ยบนเพดานด้านบน
Tgi	อุณหภูมิเฉลี่ยบนเพดานด้านล่าง, °C
Tpv	อุณหภูมิบนผิวเซลล์แสงอาทิตย์, °C
T	อุณหภูมิ, °C
db	กระเปาะแห้ง
wb	กระเปาะเปียก
IT	ความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์, W/m ²
Home 1, 2	บ้านจำลองหลังที่ 1, 2
SRC,	หลังคาคอนกรีตทั่วไป (Simple Roof Concrete)
RSCAV	หลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาร่วมกับพัดลมไฟฟ้า กระแสน้ำเพื่อช่วยระบายอากาศและมวลความร้อนภายในบ้านจำลองทั้งสองแบบ(Roof Solar Cells Attic Ventilation assisted with DC fan)

