

การศึกษาเปรียบเทียบทดสอบระหว่างหลังคาทั่วไป กับปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติ ร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงและวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิต

ปริดา จันทวงษ์¹

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบทดสอบระหว่างหลังคาทั่วไป (SRC) กับปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (RSCC) และวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิต โดยปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC มีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยหลังคาสองชั้นมีขนาดพื้นที่ประมาณ 0.56 ตร.ม. หลังคาชั้นนอกเป็นแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 วัตต์ มีความหนา 0.015 ม. ร่วมกับกระเบื้องคอนกรีตซีแพคโมเนียสีแดง มีความหนาประมาณ 0.015 ม. และหลังคาชั้นในเป็นแผ่นคอนกรีตมวลเบา มีความหนาประมาณ 0.07 ม. มีช่องว่างประมาณ 0.01 ม. และช่องเปิดด้านล่างอยู่ภายในบ้าน มีขนาด 0.15 x 0.70 ตร.ม. จะติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5.76 วัตต์ และช่องเปิดด้านบนอยู่ภายนอก มีขนาด 0.10 x 0.3 ตร.ม. ปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC ติดตั้งอยู่ทางด้านทิศใต้ของบ้านจำลองขนาดเล็กที่มีขนาดเท่ากัน บ้านจำลองมีปริมาตรเท่ากับ 4.05 ลบ.ม. สร้างด้วยผนังมวลเบาแบบอบไอน้ำ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของบ้านระหว่างบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC

กับบ้านที่ติดตั้ง SRC ที่มีผลต่อการลดการสะสมความร้อนภายในห้องใต้หลังคาของบ้านจำลอง ผลการศึกษาทดลองพบว่า บ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC มีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่าอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไปประมาณ 0.2–6°C ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่บ้านทางด้านทิศใต้จะลดลง จะช่วยระบายอากาศภายในห้องและห้องใต้หลังคาทำให้มีการไหลเวียนของอากาศภายในบ้านดีขึ้น และผลการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC และหลังคาทั่วไป ซึ่งจะมีระยะเวลาการคืนทุน 32.7 ปี และ 61.8 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 37 และ 34 ต่อปี ปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอนุรักษ์พลังงาน ช่วยรักษาสีสิ่งแวดล้อมและคุ้มค่าสำหรับการลงทุน

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิต ปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศ (RSCC) การระบายอากาศแบบธรรมชาติ

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โทรศัพท์ 0-2555-2000 ต่อ 6434 อีเมล: cpreeda@yahoo.com



Experimental Comparative Study between a Simple Roof Concrete and Roof Solar Cells Chimney Assisted with DC Fan and Life Cycle Cost Analysis

Preeda Chantawong¹

Abstract

This paper reports experimental comparative study between a Simple Roof Concrete (SRC) and Roof Solar Cells Chimney assisted with DC fan (RSCC) and Life Cycle Cost Analysis. The RSCC consisted of double roof. Its dimensions of area were 0.56 m² with 50WP external roof, 0.015 m thick solar cells panel, 0.015 m thick red color CPAC Monier and 0.07 m thick autoclave aerated concrete panel internal roof, 0.01 m air gap. Openings located at the bottom was 0.15 x 0.70 m² assisted with 5.76 WP DC fan (room side) and at the top was 0.10 x 0.3 m² (ambient side). RSCC was installed at the south façade of two small houses of the same dimension, 4.05 m³ volume made from autoclaved aerated concrete. Then the comparison of performance between SRC and RSCC for reducing thermal heat gain of ceiling, using

another small house model, was studied. The experimental results revealed that indoor temperature of RSCC room and air indoor under roof was 0.2 – 6°C lower than that of the SRC room. This ventilation reduced heat gain admitted through the south roof considerably. Moreover, according to the economic analysis between the Roof Solar Cells Chimney and the Simple Roof Concrete it was found that their payback periods are 32.7 and 61.8 years; rates of return are 37 and 34% per annum. The RSCC is expected to promote solar energy use, save cooling energy and protect environment and is more appropriate for an investment.

Keywords: Life Cycle Cost Analysis, Roof Solar Cells Chimney (RSCC), Natural Ventilation

¹ Assistant Professor, Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Tel. 0-2555-2000 Ext. 6434, E-mail: cpreeda@yahoo.com

1. บทนำ

ปัญหาการถ่ายเทความร้อนและความชื้นผ่านหลังคาเข้าสู่ภายในบ้านหรืออาคารที่พักอาศัย [1] ภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้นโดยทั่วไป หลังคาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของบ้านหรืออาคาร ข้อดีจะมีหน้าที่ป้องกันความชื้นหรือฝนและแสงแดดส่องเข้าสู่ภายในได้โดยตรง (รังสีคลื่นสั้น) ข้อเสียของหลังคาไม่สามารถป้องกันรังสีคลื่นยาวที่เกิดจากความเข้มของรังสีอาทิตย์ประมาณ $17 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$ ที่มาตกกระทบบนผิวกระเบื้องหลังคา จะเกิดการสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านหรืออาคารที่พักอาศัย จึงส่งผลทำให้อุณหภูมิภายในสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอากาศร้อนชื้นมีสภาพภูมิอากาศที่ร้อนสลับฝนตลอดปี จะมีอุณหภูมิสูงประมาณ $32\text{--}38^\circ\text{C}$ และความชื้นของอากาศร้อยละ $59\text{--}100$ [2] จากปัญหาความร้อนที่สะสมในบ้านหรืออาคารสมัยใหม่ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญต่อความรู้สึกสบายของผู้พักอาศัย ดังนั้นการแก้ปัญหาส่วนใหญ่ จะใช้เครื่องปรับอากาศทางกลเพื่อลดอุณหภูมิภายในบ้าน ทำให้เกิดภาวะความสบายทางความร้อน ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นภายในที่พักอาศัยในสภาวะปัจจุบันนี้ จากการใช้เครื่องปรับอากาศร้อยละ 60 แสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ภายในอาคารร้อยละ 40 [3] จึงได้มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนจากห้องใต้หลังคาโดย Ogoli [4] ผลการศึกษาพบว่า การติดตั้งฉนวนแบบแบนราบช่วยลดอุณหภูมิภายในแต่ไม่สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องหลังคาได้ จึงได้มีการศึกษาหลังคากระเบื้องอากาศห้องใต้หลังคาโดยใช้ลูกหมูระบายความร้อน เพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาโดย Hendron และคณะ [5] ผลการศึกษาพบว่า สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาได้และได้ทำการศึกษผลกระทบของสักระเบียงหลังคาที่มีผลต่อการดูดกลืนความร้อนโดย Levinson และคณะ [6] จากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวเกิดการสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้าน จากการศึกษาทดลองพบว่า วัสดุชนิดเดียวกันที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้มาก จึงทำให้เกิดสะสม

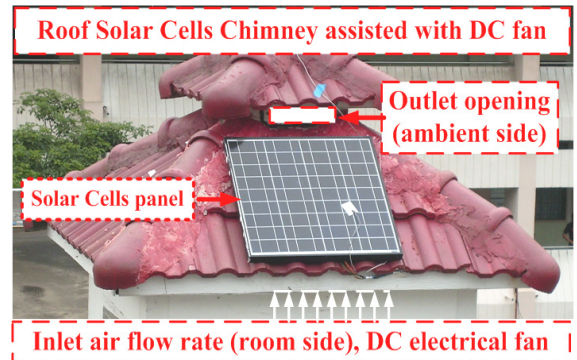
ความร้อนและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านมากกว่าสีอ่อน และต่อมา Khedari และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาลักษณะระบายอากาศด้วยธรรมชาติเป็นหลังคาสองชั้นแบบจำลอง ประกอบด้วย หลังคาด้านบนช่องว่างอากาศและแผ่นปิดด้านล่าง โดยหลังคาด้านบนจะใช้วัสดุ 3 ชนิด คือ กระเบื้องคอนกรีตซีแพคโมเนีย แผ่นกระเบื้องลอนคู่ แอสบีสทอส และสังกะสีส่วนแผ่นปิดด้านล่าง ใช้วัสดุ 2 ชนิด คือ แผ่นยิบซัมและไม้โดยบางแผ่นจะติดตั้งลูมิเนียมพอยล์ที่ด้านสัมผัสกับช่องว่างอากาศ จากการศึกษาทดลองพบว่า วัสดุที่เหมาะสมสำหรับหลังคาที่ใช้เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ ประกอบด้วยหลังคาด้านบนเป็นกระเบื้องซีแพคโมเนียสีเข้มส่วนแผ่นปิดด้านล่างเป็นแผ่นยิบซัม และต่อมาได้มีการศึกษาปล่องหลังคาคอนกรีตระบายอากาศแบบธรรมชาติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กับหลังคาทั่วไปที่ติดตั้งอยู่บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของบ้าน โดย Chantawong [8] จากการศึกษาทดลองพบว่า บ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป และได้มีการทำการศึกษเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างบ้านจำลองทั้งสองหลังที่ใช้ผนังอิฐมอญกับผนังมวลเบา โดย Suksongyat และคณะ [9] ผลการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างบ้านจำลองที่สร้างด้วยผนังมวลเบาและผนังอิฐมอญ ซึ่งจะมีระยะเวลาการคืนทุน 0.243 ปี และ 0.31 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 50 และ 26 ต่อปี และผนังมวลเบาสามารถลดความร้อนเข้าสู่ภายในห้องประหยัดพลังงานและคุ้มค่าสำหรับการลงทุนมากกว่าผนังอิฐมอญและต่อมา Ungkoon และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนและวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างบ้านจำลองทั้งสองหลังที่ใช้ผนังมวลเบาแบบบอบไอน้ำกับผนังมวลเบาแบบไม่บอบไอน้ำด้านการถ่ายเทความร้อน โดยพบว่า ผนังมวลเบาแบบบอบไอน้ำสามารถป้องกันความร้อนไหลผ่านผนังได้เข้าสู่ภายในบ้านจำลองมากกว่าผนังมวลเบาแบบไม่บอบไอน้ำร้อยละ 52.4 และอุณหภูมิของอากาศภายในบ้านของผนังมวลเบาแบบบอบไอน้ำ ต่ำกว่าผนังมวลเบาแบบไม่บอบไอน้ำ ตลอดช่วงเวลากลางวัน ผนังมวลเบาแบบบอบไอน้ำช่วยประหยัดพลังงานจากเครื่องปรับอากาศได้อีกทาง

หนึ่ง จากการศึกษาคุณสมบัติจะพบว่า คอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำมีคุณสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าผนังมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำจากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ บ้านที่ติดตั้งผนังมวลเบาแบบอบไอน้ำสามารถคืนทุนได้เร็วกว่าบ้านที่ติดตั้งผนังมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำ

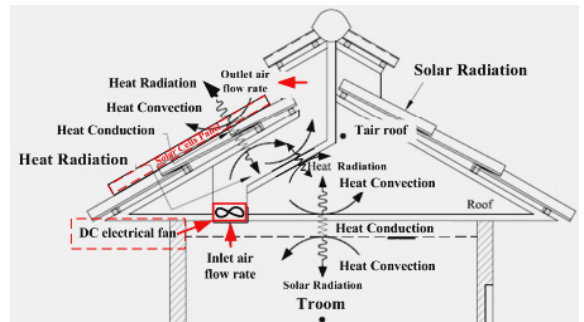
สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านจำลองระหว่างบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป (Simple Roof Concrete: SRC) จะเป็นหลังคาแบบปิดและบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (Roof Solar Cells Chimneys Assisted with DC fan: RSCC) ซึ่งจะเป็นหลังคาแบบเปิด (ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2) ที่มีผลต่อการลดการสะสมความร้อนภายในบ้านพักอาศัย เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในบ้านที่ตำแหน่งต่างๆ การไหลเวียนของอากาศภายในค่าความร้อนไหลผ่านหลังคาบ้าน ปริมาณการใช้ไฟฟ้ากรณีที่เปิดเครื่องปรับอากาศภายในบ้านจำลองทั้งสองหลัง และศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิตหรือต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยพัฒนาต่อเนื่องจากงานวิจัยของ Khedari และคณะ [7] Chantawong [8], [11]-[15] และ Ungkoon และคณะ [10] จะทำการทดสอบที่บ้านจำลองทั้งสองหลังมีขนาดเท่ากันและปริมาตรเท่ากับ 4.05 ลบ.ม. (ดังแสดงในรูปที่ 3)

2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านปล่องหลังคา RSCC

การระบายอากาศแบบธรรมชาติของปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC ร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงเป็นการระบายแบบบังคับ มีหลักการทำงานสองกรณี (ดังแสดงในรูปที่ 2) กรณีแรกเป็นการระบายอากาศแบบธรรมชาติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ [8], [11]-[14] เมื่อรังสีอาทิตย์มาตกกระทบบนแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับกระเบื้องคอนกรีตซีแพคโมเนียสีแดงเป็นหลังคาชั้นบน ทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่ผิวด้านบนและถ่ายเทความร้อนผ่านความหนาหลังคาชั้นบน เข้าสู่ภายในช่องว่างอากาศ ทำให้อุณหภูมิภายในช่องว่างอากาศของหลังคาสองชั้นสูงกว่าอุณหภูมิ



รูปที่ 1 ปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (RSCC) [11]-[15]



รูปที่ 2 การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาของบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคา RSCC [8], [11]-[15]

อากาศภายในบ้าน จึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของอากาศภายในช่องว่างหลังคาสองชั้นก่อให้เกิดการระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในบ้านและห้องใต้หลังคา กรณีที่สองเป็นการระบายอากาศแบบบังคับ [11],[15] หรือเป็นระบบร่วมระหว่างระบายอากาศแบบธรรมชาติกับแบบบังคับโดยใช้พัดลมกระแสตรงที่ได้แหล่งพลังงานไฟฟ้ามาจากแผงโซลาร์เซลล์โดยตรงตลอดเวลาที่มีแสงแดด พัดลมไฟฟ้ากระแสตรงทำงาน จะช่วยระบายอากาศจากภายในและห้องใต้หลังคาของบ้านออกสู่สิ่งแวดล้อมได้เร็วขึ้น ทำให้อุณหภูมิของอากาศภายในห้องใต้หลังคาและภายในบ้านลดลง ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในบ้านดีขึ้น ส่งผลทำให้ช่วยประหยัดพลังงานจากการระบายอากาศภายในบ้านพักอาศัยได้อีกทางหนึ่ง

2.2 การวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิตหรือความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิตหรือความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยนำผลค่าความร้อนผ่านหลังคาจากการทดลองของบ้านจำลองทั้งสองหลัง มาทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของหลังคาทั้งสอง เพื่อหาระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period: PBP) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) [9]–[11],[16] คำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2) ส่วนอัตราผลตอบแทนภายในสามารถหาได้จากสมการที่ (2) เมื่อหาอัตราดอกเบี้ยที่ทำให้ $NPV = 0$

ระยะเวลาคืนทุน

$$PBP = \frac{A_O}{A_S} \quad (1)$$

และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$$NPV = A_O + A_S \frac{[(1+i)^n - 1]}{i(1+i)^n} \quad (2)$$

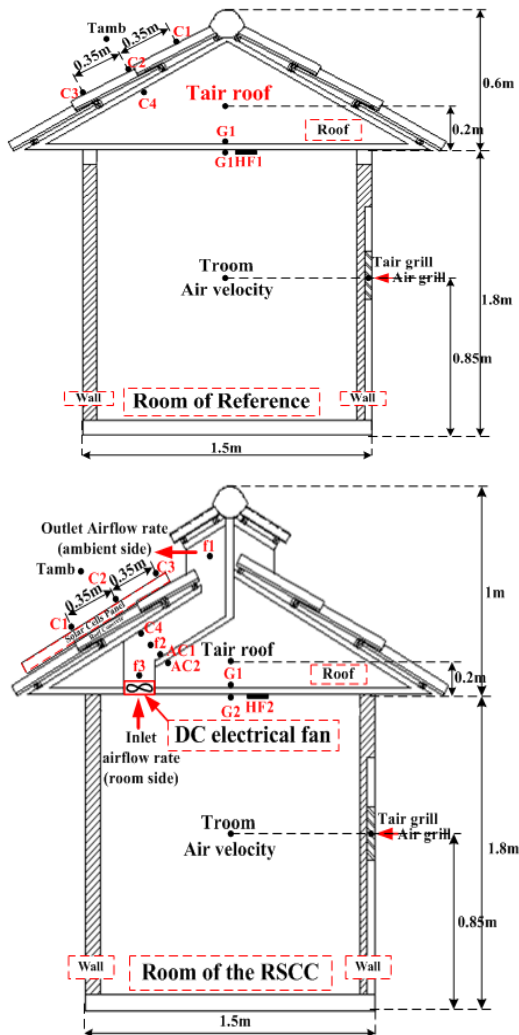
3. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

บ้านจำลองทั้งสองหลังสร้าง ณ บริเวณชั้นดาดฟ้าอาคาร 63 วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร สำหรับปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC ร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (ดังแสดงในรูปที่ 1) ปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC มีขนาดความยาว 1.0 ม. ความกว้าง 0.70 ม. โดยลักษณะโครงสร้างประกอบด้วย หลังคาชั้นนอกเป็นแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับกระเบื้องคอนกรีตซีแพคโมเนียสีแดงมีความหนาประมาณ 0.015 ม. สำหรับแผงโซลาร์เซลล์มีความหนา 0.03 ม. ผลิตด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคริสตัลไลน์ซิลิกอน (Crystalline Silicon) มีขนาด 0.670×0.656 ม. และแผงโซลาร์เซลล์ มีลักษณะพิเศษกำลังไฟฟ้าสูงสุด 50 วัตต์ แรงดันมาตรฐาน 17 โวลต์ กระแสไฟฟ้าปกติ 2.95 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าปกติ 12.0 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 3.25 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า

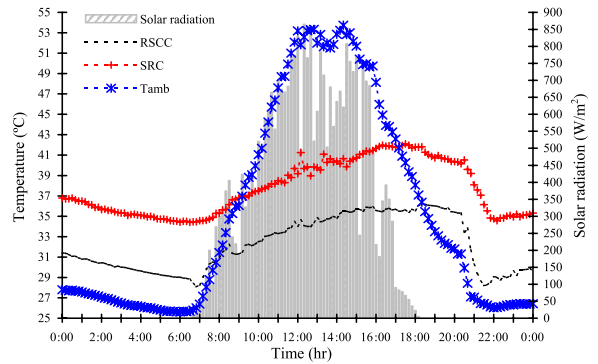
วงจรเปิด 21.5 โวลต์ และหลังคาชั้นใน เป็นแผ่นคอนกรีตมวลเบามีความหนาประมาณ 0.07 ม. และมีช่องว่างอากาศประมาณ 0.01 ม. และ ปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC มีช่องเปิดด้านล่างอยู่ภายในบ้านมีขนาดพื้นที่ประมาณ 0.10 ม. X 0.3 ม. และติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5.76 วัตต์ (จำนวน 2 ตัว) เพื่อช่วยระบายอากาศจากภายในห้องของบ้านผ่านช่องว่างอากาศและห้องใต้หลังคาออกสู่สิ่งแวดล้อมทางด้านช่องเปิดด้านบนได้เร็วขึ้นและช่วยทำให้เกิดการไหลเวียนภายในบ้านได้ดีขึ้น ด้านบนมีขนาดพื้นที่และตายายสำหรับป้องกันแมลงขนาดประมาณ 0.10 ม. X 0.3 ม. เป็นช่องเปิดใช้ระบายอากาศร้อนสู่สิ่งแวดล้อมหลังคาทั่วไป (SRC) มีโครงสร้างเป็นกระเบื้องซีแพคโมเนียสีแดงบุด้วยแผ่นอลูมิเนียมพอยด์สะท้อนความร้อนฝ้าเพดานเป็นยิปซัมมีความหนา 0.01 ม. โดยทำการศึกษาทดสอบปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC และหลังคาทั่วไป (SRC) ติดตั้งอยู่บนหลังคาเฉพาะทางด้านทิศใต้ของบ้านจำลองทำมุมเอียง 30° จะมีขนาดพื้นที่ประมาณ 0.52 ตร.ม. บ้านสำหรับทดสอบมีโครงสร้างประกอบด้วยผนังมวลเบาฉาบปูนด้านนอกทั้ง 4 ด้าน และทาสีภายนอกด้วยสีขาว มีขนาดพื้นที่ของผนังแต่ละด้านเท่ากับ 1.5 ม. X 1.8 ม. ความหนา 0.10 ม. (ดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4) โดยจะทำการทดลองในลักษณะเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Khedari และคณะ [7] และ Chantawong [8],[11]–[15] โดยจะทำการศึกษาทดสอบภายใต้สภาวะอากาศปกติสองกรณี คือกรณีแรกโดยปิดเครื่องปรับอากาศ จากผลทดลองภายในวันที่ 6 กันยายน 2553 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่างๆ ของบ้านจำลองทั้งสองหลังที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC และหลังคาทั่วไป (SRC) เฉพาะด้านทิศใต้ เช่น อุณหภูมิบนปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC อุณหภูมิอากาศภายในปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC อุณหภูมิบนหลังคาทั่วไป อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาและภายในบ้าน อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ความร้อนไหลผ่านหลังคา ความเร็วลมภายใน ภายในนอกของบ้าน ทดสอบทั้งสองหลัง ความเร็วลมของปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC และความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ กรณีที่สอง



รูปที่ 3 บ้านทดสอบทั้งสองหลัง [8], [11]-[15]



รูปที่ 4 การติดตั้งเครื่องมือวัดของบ้านจำลอง [8], [11]



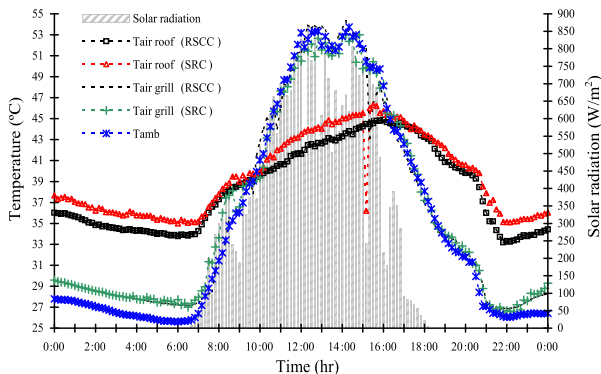
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิภายในบ้านจำลองทั้งสองหลัง

ทดสอบโดยเปิดเครื่องปรับอากาศ (เครื่องปรับอากาศแบบส่วนขนาด 12,638 บีทียูต่อชั่วโมง) จากผลทดลองภายใน วันที่ 8 กันยายน 2553 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านทดสอบทั้งสองหลัง ทำการวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิตหรือต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างหลังคาของบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาทั้งสองหลัง โดยนำค่าการถ่ายความร้อนผ่านหลังคาด้านทิศใต้จากการทดสอบรวมทั้งค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการปรับปรุงหลังคาทั้งสองแบบมาวิเคราะห์

4. ผลการทดลอง

ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Tamb) และความเข้มของรังสีอาทิตย์ (Solar Radiation) และการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในของบ้านจำลองระหว่างบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป (SRC) กับบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (RSCC) แสดงได้ดังรูปที่ 5 พบว่าบ้านจำลองที่ติดตั้งด้วยหลังคาทั่วไป SRC จะมีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิภายในของบ้านที่ติดตั้งด้วยปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC ประมาณ 0-6°C

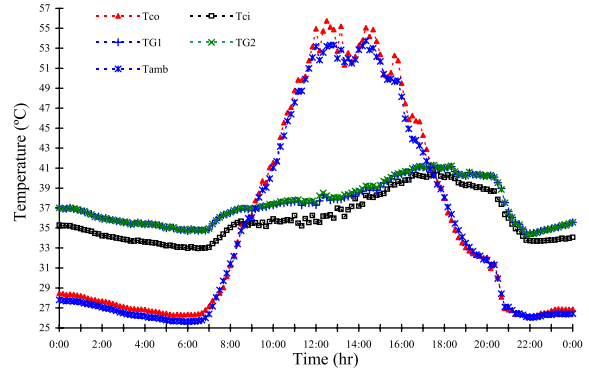
เนื่องจากบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC มีการไหลเวียนของอากาศภายในสู่ภายนอกได้



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาของบ้านจำลองทั้งสองหลัง

และสามารถลดการสะสมความร้อน สำหรับบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป SRC เกิดการสะสมความร้อนภายในห้องใต้หลังคาและถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน เข้าสู่ภายในโดยตรง ทำให้อุณหภูมิภายในบ้านสูงขึ้น และบ้านจำลองทั้งสองหลังมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 12–17°C จากช่วงเวลากลางวัน และมีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อม ในช่วงเวลากลางคืนตลอดเวลา ขณะทำการทดสอบ ณ บริเวณชั้นดาดฟ้า อาคาร 63 ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 25–55°C เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนสูงมากของวัตถุจากภายในบริเวณที่ทำการทดสอบส่งผลให้อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงและความเข้มแสงรังสีอาทิตย์ประมาณ 6–865 W/m²

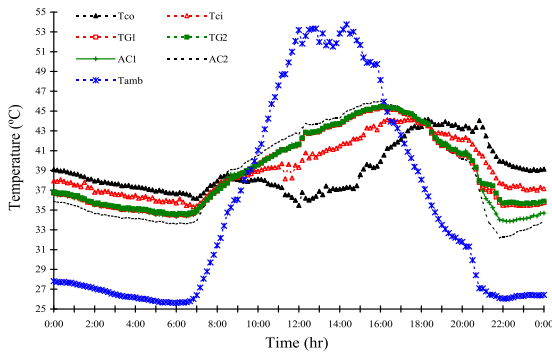
การเปลี่ยนแปลงรายชั่วโมงของอุณหภูมิของบ้านจำลองทั้งสองหลังระหว่างบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป (SRC: Home 1) ประกอบด้วย อุณหภูมิของภายในห้องใต้หลังคา (Tair roof: SRC) และอุณหภูมิอากาศตรงบานเกล็ดของประตูบ้าน (Tair grill: SRC) อุณหภูมิเฉลี่ยบนหลังคาด้านบนและด้านล่าง (Tco, Tci) อุณหภูมิบนฝ้าเพดานด้านบนและด้านล่าง (TG1, TG2) และอุณหภูมิของบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ ร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (RSCC: Home 2) ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคา (Tair roof: RSCC) อุณหภูมิอากาศตรงบานเกล็ดของประตูบ้าน (Tair grill: RSCC) และอุณหภูมิภายในบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคา RSCC



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในของบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป SRC

อุณหภูมิบนหลังคาชั้นนอกทั้งภายในและภายนอก (Tco, Tci) อุณหภูมิบนหลังคาชั้นในทั้งภายในและภายนอก (AC1, AC2) อุณหภูมิอากาศภายในช่องว่างอากาศ (Tin, Tmiddle, Tout) อุณหภูมิบนฝ้าเพดานด้านบนและด้านล่าง (TG1, TG2) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Tamb) จากรูปที่ 6 พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาของบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ (Tair roof: RSCC) จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องใต้หลังคาของบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป (Tair roof: SRC) ประมาณ 2–4°C เนื่องจากปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC สามารถระบายอากาศจากภายในห้องออกสู่สิ่งแวดล้อมและช่วยลดการสะสมความร้อนภายในและอุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาของบ้านจำลองทั้งสองหลังจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Tamb) และอุณหภูมิอากาศตรงบานเกล็ดของประตูบ้านของบ้านจำลองทั้งสองหลัง (Tair grill: SRC, RSCC) ตลอดช่วงเวลากลางวัน

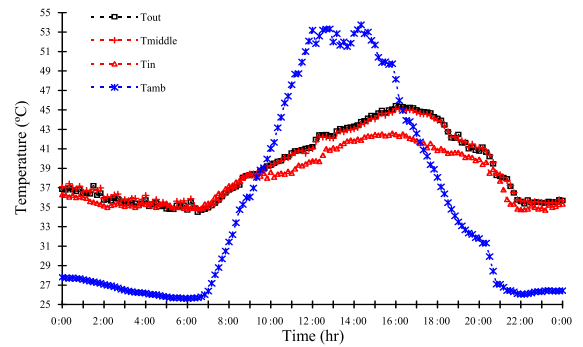
การเปลี่ยนแปลงของบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป (SRC) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันบนหลังคาด้านนอกประมาณ 56°C (Tco) และสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและฝ้าเพดานด้านล่าง (TG1) และอุณหภูมิหลังคาด้านใน (Tci) ประมาณ 3–20°C บ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไปเกิดการสะสมและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายใน ทำให้ภายในบ้านมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อผู้พักอาศัยโดยตรง



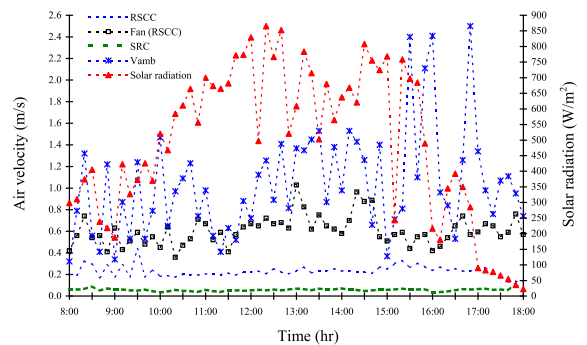
รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC

จากรูปที่ 8 และรูปที่ 9 พบว่าบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ อุณหภูมิเฉลี่ยบนหลังคาชั้นนอก (Tco, Tci) อุณหภูมิบนหลังคาชั้นใน (AC1, AC2) และอุณหภูมิบนฝ้าเพดาน (TG1, TG2) มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 1-16°C เนื่องจากปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC มีการระบายความร้อนด้วยพัดลม และบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป (SRC) มีอุณหภูมิสูงกว่าบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ประมาณ 5-11°C (รูปที่ 7-8) และจากรูปที่ 9 พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ (Tin, Tmiddle, Tout) ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมจากช่วงเวลากลางวันเนื่องจากปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC ช่วยระบายและลดการสะสมความร้อนภายในบ้าน

จากรูปที่ 10 ในช่วงเวลา 8:00-18:00 น. พบว่าบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป มีความเร็วลมภายในห้อง 0.01-0.067 m/s ต่ำกว่าบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC ซึ่งมีความเร็วลมภายในห้อง 0.18-0.438 m/s และพัดลมระบายอากาศของปล่องที่ทางออกประมาณ 0.36-1.03 m/s และ ความเร็วลมภายนอกประมาณ 0.34-2.5 m/s ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC ที่สามารถระบายอากาศจากภายในห้องของบ้านพักอาศัยสู่สิ่งแวดล้อมได้ ทำให้เกิดการไหลเวียนภายในดีขึ้น และดีกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป SRC และการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาของบ้านจำลองทั้งสองหลังสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11



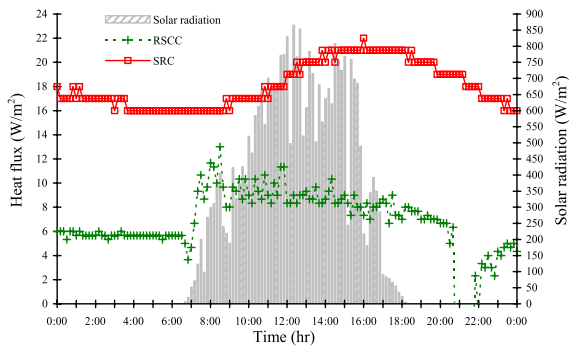
รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมภายในและสิ่งแวดล้อมของบ้านจำลองทั้งสองหลัง

พบว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป SRC มีค่าการนำความร้อนผ่านหลังคาด้านทิศใต้สูงกว่าปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC ร้อยละ 10-68.2 แสดงให้เห็นได้ว่า ปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC สามารถลดความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวบ้านได้ดีกว่า

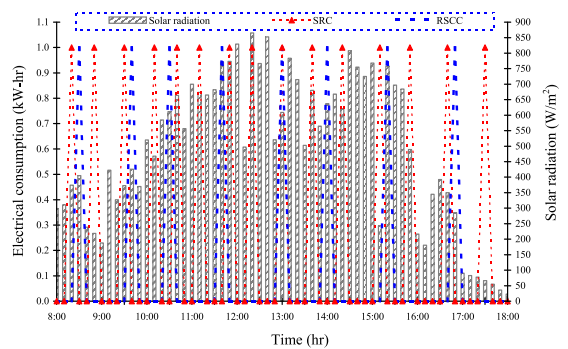
จากรูปที่ 12 ผลการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศระหว่างบ้านจำลองทั้งสองหลัง กรณีเปิดเครื่องปรับอากาศโดยตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศภายในบ้านจำลองทั้งสองหลังที่ 25-26°C มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 26-58°C และความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ 36-890 W/m² (วันที่ 8 กันยายน 2553 ตลอดช่วงเวลา 8:00-18:00 น.) พบว่าบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC จะมีการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป (SRC) เนื่องจากหลังคาทั่วไปมีการสะสมความร้อนภายใน



รูปที่ 11 ผลเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาของบ้านจำลองทั้งสองหลัง

ทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักมาก เนื่องจากไม่มีการระบายความร้อนออกสู่ภายนอก ซึ่งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลม จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศได้ร้อยละ 47 เมื่อเทียบกับหลังคาทั่วไปของบ้านจำลอง จากศึกษาทดลองนี้แสดงให้เห็นได้ว่าปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC สามารถใช้งานได้อย่างจริง

ผลการวิเคราะห์ห้วงจรชีวิตหรือทางเศรษฐศาสตร์โดยนำค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาของบ้านจำลองทั้งสองหลังจากทดลองในรูปที่ 11 มาคำนวณค่าไฟฟ้า การคำนวณค่าใช้จ่ายของบ้านจำลองรวมกับค่าติดตั้ง ค่าแรงงาน และค่าอื่นๆ จากการปรับปรุงระบบดังกล่าว ทำการวิเคราะห์ห้วงจรชีวิตหรือทางเศรษฐศาสตร์ค่าใช้จ่ายจากตารางที่ 1 พบว่าบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC ช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศได้มากกว่า บ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป (SRC) ร้อยละ 10–68.2 และปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC จะสามารถคืนทุนได้ภายในเวลาประมาณ 32.7 ปี และใช้เวลาน้อยกว่าหลังคาทั่วไป SRC และปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC สามารถให้ผลตอบแทนสุทธิมากกว่าหลังคาทั่วไป SRC ร้อยละ 37 และอัตราผลตอบแทนภายในของปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC จะมีค่าสูงกว่าหลังคาทั่วไป SRC ร้อยละ 37 เนื่องจากในการลงทุนเริ่มต้น มีราคาแพงกว่าหลังคาทั่วไป SRC แต่ให้ผลกำไรจากการสามารถคืนทุนเร็วกว่าหลังคาทั่วไป SRC ดังนั้นการเลือกใช้ระบบปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC มาใช้งานจะ



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศระหว่างบ้านจำลองทั้งสองหลัง

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยประหยัดเงินค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบการปรับอากาศของผู้อยู่อาศัยในบ้าน และยังช่วยประหยัดพลังงาน

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนวงจรชีวิตหรือเชิงเศรษฐศาสตร์ [11]

หลังคาแบบทดสอบ	SRC	RSCC
เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นต่อตารางเมตร, (บาท)	1300	1500
อัตราดอกเบี้ยต่อปี, (%)	6	6
อายุการใช้งาน, (ปี)	20	20
อัตราไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อตารางเมตร, (บาท) / ปี	21.02	45.83
ระยะเวลาคืนทุน, (ปี)	61.8	32.7
มูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อตารางเมตร, (บาท) / ปี	1541.14	2025.69
อัตราผลตอบแทนภายในต่อตารางเมตร, (%)	34	37

5. สรุป

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการป้องกันความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ภายในบ้านจำลองระหว่างบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นหลังคาแบบเปิดและบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไปซึ่งเป็นหลังคาเปิดระบบปิดที่มีผลต่อ

การลดการสะสมความร้อน ภายในและห้องใต้หลังคาของบ้าน พบว่าอุณหภูมิภายในและห้องใต้หลังคาของบ้านจำลองและมีค่าความร้อนไหลผ่านหลังคาของบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป มีค่าสูงกว่าบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC และทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในห้องช่วยระบายอากาศ จากภายในบ้านสู่สิ่งแวดล้อม เกิดสภาวะความสบายต่อผู้พักอาศัย ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศ และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง และผลการวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิตหรือวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อตารางเมตรของหลังคาบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ RSCC สามารถคืนทุนได้เร็วกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนเพื่อการส่งเสริมงานวิจัยในลักษณะนักวิจัยทั่วไปประจำปีงบประมาณ 2553 ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีชา อ่องอารี คณบดีวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่อนุญาตให้ใช้สถานที่สำหรับทำการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูล และขอบคุณคณาธิศึกษาสาขาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลังอุตสาหกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลังวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัยนี้

7. สัญลักษณ์และคำย่อ

A_o	เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นต่อตารางเมตร, บาท
A_s	อัตราไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อตารางเมตร, บาท
n	อายุการใช้งาน 20 ปี
i	อัตราดอกเบี้ย 6% ต่อปี
NPV	มูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อตารางเมตร, บาท
IRR	อัตราผลตอบแทนภายในต่อตารางเมตร, %
PBP	ระยะเวลาคืนทุน, ปี
AC1	อุณหภูมิบนหลังคาชั้นในทั้งภายใน, °C
AC2	อุณหภูมิบนหลังคาชั้นในทั้งภายนอก, °C

Tamb	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, °C
Tair roof	อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคา, °C
Tco	อุณหภูมิเฉลี่ยบนหลังคาด้านบน, °C
Tci	อุณหภูมิเฉลี่ยบนหลังคาด้านด้านล่าง, °C
TG1	อุณหภูมิบนฝ้าเพดานด้านบน, °C
TG2	อุณหภูมิบนฝ้าเพดานด้านล่าง, °C
Troom	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง, °C
Tin	อุณหภูมิอากาศภายในช่องว่างอากาศตรงทางเข้า, °C
Tmiddle	อุณหภูมิอากาศภายในช่องว่างอากาศตรงกลางปล่อง, °C
Tout	อุณหภูมิอากาศภายในช่องว่างอากาศตรงทางออก, °C
Tair grill	อุณหภูมิอากาศตรงบานเกล็ดของประตูบ้าน, °C
SRC	หลังคาทั่วไป (Simple Roof Concrete)
RSCC	ปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (Roof Solar Cells Chimneys assisted with DC fan)

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Michels, et al, "Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs," *Journal of Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 445-451, 2008.
- [2] J. Khedari, et al, "Thailand climatic zones," *Journal of Renewable Energy*, vol. 25, pp.267-280, 2001.
- [3] S. Chirarattananon, et al, "Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok," *Journal of Renewable Energy*, vol. 26, pp. 69-89, 2002.
- [4] D. M. Ogoli, "Predicting indoor temperatures in closed building with high thermal mass,"

- Journal of Energy and Buildings*, vol. 35, pp. 99-108, 2003.
- [5] R. Levinson, et al, "Cool tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings," *Journal of Building and Environment*, vol. 42, pp. 2591-2605, 2007.
- [6] R. Hendron, et al, "Thermal performance of unvented attic in hot-dry climates: Results from building America," *Transactions of the ASME*, vol. 126, pp. 732-737. May 2004.
- [7] J. Khedari, et al, "Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new houses," *Journal of Energy and Buildings*, vol. 26, pp.159-164, 1997.
- [8] P. Chantawong, "Field measurements of thermal performance of roof concrete solar chimney of house model under hot humid climate of Thailand," Paper reports, New researcher grant 2009, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2009, 128 pp (in Thai).
- [9] K. Suksongyat, et al, "Economical Comparative Analysis between House Built Using Red Clay Bricks Wall and Aerated Concrete Wall for Heat Transfers and Thermal Properties," *The Journal of KMUTNB*, vol. 17, no. 2, pp. 34-42, May-Aug 2007 (in Thai).
- [10] Y. Ungkoon, et al, "Study of Thermal Performance and Economic Analysis of Cost Aerated Concrete Walls," *The Journal of Applied Science*, vol. 8, no. 2, pp. 22-28. 2009 (in Thai).
- [11] P. Chantawong, "Investigation of thermal performance of study of Roof Solar Cells Chimney with house model under hot humid climate of Thailand, Paper reports," General researcher grant 2010, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2010, 112 pp. (in Thai).
- [12] P. Chantawong, et al, "A Study of Thermal Performance of Roof Solar Cells Chimney in Hot and Humid Climate," *The Journal of KMUTNB*, vol. 21, no. 3, pp. 559-568, September-December 2012 (in Thai).
- [13] P. Chantawong, et al, "Natural Ventilation of Houses by a Roof Autoclaved Aerated Concrete Solar Chimney Under Hot Humid Climate of Bangkok," *KKU Sci. J.*, vol. 40 no. 1, pp. 83-94, 2012 (in Thai).
- [14] P. Chantawong, et al, "Study of Roof Concrete Solar Chimney of House Model Under Hot Humid Climate of Thailand," *Journal of Science Ladkrabang*, vol. 19, no. 2, pp. 21-32, July-December 2010 (in Thai).
- [15] P. Chantawong, "Investigation of Thermal Performance of Roof Solar Cells Chimney assisted with DC fan Under the Climate of Bangkok," *Ladkrabang Engineering Journal*, vol. 28, no. 1, pp. 19-24, March 2011 (in Thai).
- [16] S. Maneewan, et al, "Investigation on generated power of thermoelectric roof solar collector," *Journal of Renewable Energy*, vol. 29, Issue 5, pp. 743-752, April 2004.