

การเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของผ้าไวไนลกับฝ้ายิปซัม

จิระศักดิ์ พุกคำ^{1*}, ดิณณภาพ แพงผม²

^{1*} สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล

Email : Jirasak.puk@rmutr.ac.th

Received: March 18, 2021

Revised: May 18, 2021

Accepted: June 4, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านโดยใช้ผ้าเพดานที่ทำมาจากวัสดุไวไนลเปรียบเทียบกับผ้าเพดานยิปซัม โดยวิเคราะห์ผลของการถ่ายเทความร้อนผ่านผ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านด้วยวิธีการพาความร้อน และพฤติกรรมการคายความร้อนของวัสดุในช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน บ้านสองหลังถูกสร้างขึ้นมาใช้ในทดลอง โดยแต่ละหลังมีขนาด 1 m x 1 m x 1m มุงหลังคาด้วยกระเบื้องคอนกรีตแบบลอน โดยด้านใต้หลังคาไม่มีการติดตั้งฉนวนและมีมุมหลังคา 30° ผลการศึกษาพบห้องใต้หลังคามีค่าอุณหภูมิ 43.7-44 °C อุณหภูมิที่ผ้าเพดานไวไนลด้านบนและด้านล่างสูงกว่าผ้าเพดานยิปซัมในช่วงเวลากลางวันมีค่าเฉลี่ย 0.42 °C และ 0.65 °C ขณะที่ในช่วงกลางคืนมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าผ้าเพดานยิปซัมเฉลี่ย 1.15 °C และ 1.1 °C อุณหภูมิห้องของบ้านทดสอบมีค่าต่ำกว่าบ้านอ้างอิงในช่วงเวลากลางคืนเฉลี่ย 0.8 °C ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนของผ้าไวไนลสูงกว่าผ้าเพดานยิปซัมเฉลี่ยตลอดทั้งวัน 2.37 W/m².K และมีค่าต่ำกว่าในเวลากลางคืน 1.81 W/m².K ในขณะที่ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยใช้หัววัดมีค่าการคายความร้อนออกได้ดีกว่าฝ้ายิปซัมเฉลี่ย 1.64 W/m² ในเวลากลางคืน

คำสำคัญ : ผ้าเพดาน, ไวไนล, การถ่ายเทความร้อน, การพาความร้อน, การคายความร้อน

Comparison of heat transfer of the vinyl ceiling to the gypsum ceiling

Jirasak Pukdum^{1*}, Tinnapob Phengpom²

^{1*}Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Design Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Salaya, Puthamonthon, Nakhonpathom, Thailand

²Institute for Innovative Learning, Mahidol University

Email : Jirasak.pukdum@rmutr.ac.th

Received: March 18, 2021

Revised: May 18, 2021

Accepted: June 4, 2021

Abstract

The objective of this research is to study the effect of heat transfer through the house by using the ceiling made of vinyl material compared with the gypsum ceiling. The results of heat transfer through the ceiling into the house were analyzed by convection method and material exothermic behavior during the day and night. Two houses were built for experiments. Each house has a room size of 1 m x 1 m x 1m. Both houses thatched with corrugated concrete roof tiles. The attic did not attach the insulation and the angle of the roof was declined 30°. The experimental results showed that the attic temperature indicated in the range of 43.7-44 °C. Obviously, the upper side and lower side of the vinyl ceilings were higher than gypsum ceilings during the day at 0.42 °C and 0.65 °C. However, the upper side and lower side of the vinyl ceilings at night showed averaged temperatures lower than gypsum ceilings at 1.15 °C and 1.1 °C. The room temperature of the test house was lower than the reference house during the night at 0.8 °C. The convective heat transfer value of vinyl ceilings was 2.37 W/m²K which higher than the average gypsum ceiling throughout the day and lower than the gypsum ceiling at night 1.81 W/m²K. The value of heat transfer using the heat flux sensor for measuring. It was found that the exothermic of the vinyl ceiling during the night was higher than the gypsum ceiling about 1.64 W/m².

Keywords : ceiling, vinyl, Heat transfer, convective heat transfer, exothermic

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสภาพอากาศร้อนชื้นจึงมีสภาพอากาศร้อนเกือบทั้งปี และการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้การออกแบบอาคาร ที่พักอาศัยจึงต้องคำนึงถึงการป้องกันหรือลดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารให้ได้มากที่สุดในการสร้างสภาวะความสบายให้กับผู้อยู่อาศัย อีกทั้งยังต้องพิจารณาการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ และลดปัญหาค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้นจากการใช้พลังงานภายในอาคาร ที่พักอาศัย โดยเฉพาะการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศ จากปัญหาดังกล่าวทำให้นักวิจัยในประเทศมีการศึกษาและพัฒนาวัสดุเพื่อลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านที่เข้าสู่ที่พักอาศัยอย่างต่อเนื่องโดย Khedari และคณะ[1] ใช้วัสดุ Roof Solar Collector (RSC) สำหรับระบายความร้อนในที่อยู่อาศัยโดยธรรมชาติโดยใช้ชั้นแผ่นสองแผ่น การใช้ประโยชน์จากการที่อากาศผลการศึกษาพบว่าวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศตามธรรมชาติที่ดีขึ้นควรเป็นกระเบื้องคอนกรีตซีแพคโมเนียด้านนอกและแผ่นยิปซัมด้านใน โดยอัตราการระบายอากาศตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นคือประมาณ $0.08-0.15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ต่อมา Phiraphat และคณะ [2] พัฒนาหลังคาระบายอากาศแบบใช้ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งแทนแผ่นหลังคาคอนกรีตโดยตัวหลังคานี้ประกอบด้วยแผง PV ติดตั้งไว้ที่ด้านบน และด้านล่างเป็นแผ่นอลูมิเนียมมีช่องว่างอากาศ 5 cm ซึ่งเรียกว่า photovoltaic roof solar collector (PV-RSC) การทดลองนี้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการระบายความร้อนของวัสดุ PV-RSC พบว่าวัสดุดังกล่าวสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนบนฝ้าเพดานได้นอกจากนี้วิธีการใช้กระเบื้องหลังคาระบาย

อากาศด้านบนสันหลังคา เพื่อดึงความร้อนอากาศภายในห้องใต้หลังคา และบริเวณฝ้าเพดานก่อนถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวห้อง [3] โดยวัสดุประกอบด้วยช่องว่างอากาศขนาด 3 cm สำหรับการไหลของอากาศ ขนาดคือ $40 \times 40 \text{ cm}^2$ ติดตั้งที่ด้านบนสุดของหลังคา ผลการวิจัยระบุว่าหลังคากระเบื้องระบายอากาศ ให้การระบายอากาศที่สูงและลดการการถ่ายเทความร้อนจากเพดานด้านบนเข้าไปสู่ตัวห้อง

ในส่วนของฝ้าเพดาน Diaz และคณะ [4] นำเสนอการศึกษาทดลองเพื่อพัฒนาแบบจำลองการคำนวณของระบบฝ้าเพดานทำความเย็นแบบระบายความร้อนเป็นครีป การทดลองระบบฝ้าเพดานทำความเย็นที่แตกต่างกัน 4 แบบ ถูกนำเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระบบในการทำทำความเย็น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนบนพื้นผิวเพดานสามารถเพิ่มขึ้นอย่างมาก ต่อมาการศึกษาประสิทธิภาพความร้อนบนฝ้าเพดานโดยกา แผ่รังสีผ่านแผงระบายความร้อนถูกศึกษาโดย Yuan และคณะ [5] โดยสร้างห้องทดสอบสภาพภูมิอากาศที่มีแผงระบายความร้อนบนเพดานระบายความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดมีความผันผวนเล็กน้อยเมื่อแหล่งความร้อนภายในมีการกระจายสม่ำเสมอ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดมีความผันผวนตั้งแต่ 6.5 ถึง $9.7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ และค่าเฉลี่ยคือ $8.5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ผลการทดลองสามารถให้คำแนะนำสำหรับการประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรมอีกด้วย ต่อมามีการพัฒนาเพดานทำด้วยแผ่นไม้ซีเมนต์โดย Zhang และคณะ[6] ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการระบายอากาศ เพื่อตรวจสอบผลกระทบของพื้นที่เปิดฝ้าเพดานแบบกระจายต่อความสามารถในการทำทำความเย็นของระบบและความสะดวกสบายในการระบายความร้อน ในการศึกษาทดลองใช้เพดานแบบกระจาย 3 แบบ

โดยมีพื้นที่เปิด 100%, 50% และ 18% แผ่นฝ้าเพดานแต่ละแผ่นมีขนาดความหนา 35 mm กว้าง 600 mm และยาว 1200 mm ความหนาแน่นของแผงเพดานวัดได้ที่ 359 kg/m^3 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการระบายอากาศบนเพดานแบบกระจายช่วยให้ระดับความสะดวกสบายในการระบายความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ Kristensen และคณะ [7] ประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศฝ้าเพดานโดยทำการการวัดอุณหภูมิอากาศ ความเข้มข้นของ CO_2 และความเร็วของอากาศสำหรับการวิเคราะห์การกระจายของอากาศ ตลอดจนประสิทธิภาพการระบายอากาศและการประเมินความสบายทางความร้อนภายในห้องเรียน ประสิทธิภาพของการระบายอากาศค่อนข้างเหมาะสม ความรู้สึกไม่สบายตัวและความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งมีน้อยมาก

สำหรับในประเทศไทยการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวฝ้าเพดานนั้นได้มีการพัฒนาการระบายอากาศบริเวณเพดาน โดยเจาะรูและฝ้าเพดานช่องระบายอากาศ [8] ถูกนำมาติดตั้งทดสอบ โดยบ้านที่ใช้สำหรับการทดสอบตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร บ้านหลังนี้มีสองชั้น หลังคาใช้กระเบื้องคอนกรีตซีแพคโมเนีย (กระเบื้องลอน) สีแดงเข้ม ช่องระบายอากาศแบบเจาะรูเต็มรูปแบบทำด้วยไม้ถูกติดตั้งในตำแหน่งของฝ้าเพดานยิปซัม การทดลองเน้นการวิเคราะห์อุณหภูมิที่วัดได้และความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวบ่งชี้ผลรวมของการระบายอากาศแบบเต็มเพดาน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าฝ้าเพดานมีประสิทธิภาพมากในการลดอุณหภูมิของอากาศในห้องใต้หลังคาและการสะสมความชื้นในห้องน้ำ ต่อมา Jantana และ Pukdum [9] นำเสนอการลดความร้อนบริเวณเพดานโดยใช้ฝ้าเพดานแบบไวนิลที่มีการเจาะรูเพื่อช่วยระบายอากาศ ติดตั้งในบ้านจำลองสองหลังที่ถูกสร้างเพื่อทดสอบโดยมีพื้นที่เพดาน

ประมาณ 1.44 ตร.ม. ฝ้าเพดานทำจากแผ่นไวนิลโดยการทดลองและเปรียบเทียบกับฝ้าเพดานทั่วไป (แผ่นยิปซัม) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าฝ้าเพดานไวนิลสามารถลดการความร้อนของเพดานและอุณหภูมิห้องใต้หลังคาอยู่ที่ $1\text{--}7 \text{ W/m}^2$ และ $1\text{--}4 \text{ }^\circ\text{C}$ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ของการลดความร้อนบนเพดานนั้นอยู่ในช่วง 10-80 % นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการลดความร้อนและการพาความร้อนผ่านฝ้าเพดานที่มีการระบายอากาศซึ่งใช้ระบบระบายอากาศเซลล์แสงอาทิตย์ [10] โดยติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 32 W ฝังไว้บริเวณฝ้าเพดาน เพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากฝ้าเพดานและตัวบ้าน พบว่าการเปลี่ยนอากาศภายในบ้านทดสอบ $127\text{--}132 \text{ m}^3/\text{hr}$ และทำให้อุณหภูมิที่ผิวเพดานด้านบนและด้านล่างภายในบ้านทดสอบมีค่าลดลงประมาณ $1.9\text{--}2 \text{ }^\circ\text{C}$ และการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานเฉลี่ย ทั้งวันมีค่า 30-34 % จึงส่งผลให้อุณหภูมิห้องของบ้านทดสอบมีค่าต่ำกว่าบ้านอ้างอิง เฉลี่ย $2.9 \text{ }^\circ\text{C}$

จากที่กล่าวมานั้นจะเห็นได้ชัดว่าการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานลงไปสู่ตัวบ้านนั้น มีผลต่อภายในบริเวณที่พักอาศัยหรือภายในห้อง ดังนั้นการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวฝ้าเพดานจึงเป็นอีกสิ่งหนึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในที่พักอาศัย ทั้งนี้สถาปนิกและวิศวกรจึงพยายามศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านทั้งในรูปแบบตามธรรมชาติและแบบบังคับ รวมไปถึงจนถึงการใช้วัสดุที่มีความเป็นฉนวนกันความร้อนเพื่อต่าง ๆ ทดแทนฝ้าเพดานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ในการระบายอากาศแบบบังคับนั้นจะให้พัดลมเป็นตัวดึงอากาศร้อนที่สะสมภายในห้องออกไปยังภายนอกได้รวดเร็วกว่า แต่จะใช้พลังงานเยอะกว่าการเจาะช่องระบายอากาศแบบธรรมชาติที่บริเวณฝ้าเพดานแต่ข้อเสียของการ

ระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในบ้านจะเป็นการสะสมของมลพิษและฝุ่นละอองซึ่งต้องเป็นภาระในการทำความสะอาดให้กับผู้อยู่อาศัย ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุฝ้าเพดาน โดยใช้วัสดุฝ้าเพดานไวนิลนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุฝ้าเพดานที่ใช้ในปัจจุบัน คือแผ่นฝ้าเพดานยิปซัม เพื่อให้เห็นถึงพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนของวัสดุทั้งสองชนิด โดย พิจารณาพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อไปนี้ อุณหภูมิห้องใต้หลังคา อุณหภูมิฝ้าเพดาน อุณหภูมิภายในตัวบ้าน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนจากห้องใต้หลังคาผ่านฝ้าเข้าสู่ตัวบ้าน โดยใช้ฝ้าเพดานที่ทำมาจากวัสดุไวนิลเปรียบเทียบกับฝ้าเพดานยิปซัม เพื่อวิเคราะห์ผลของการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านด้วยวิธีการการพาความร้อน และพฤติกรรมการคายความร้อนออกที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน และ กลางคืน

ลักษณะของบ้านทดสอบและการติดตั้งเครื่องมือสำหรับทดลอง

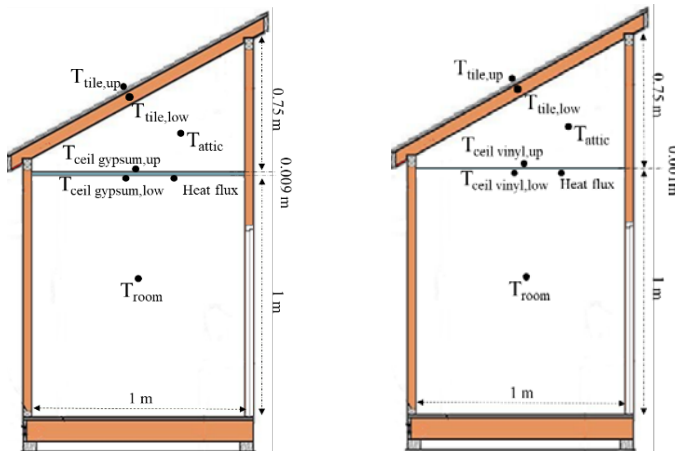
บ้านขนาดเล็กจำนวนสองหลังถูกสร้างขึ้นมาใช้ในการดำเนินการทดลองซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 โดยแต่ละหลังมีขนาด 1 m^2 ($1\text{ m} \times 1\text{ m}$) หลังคาบ้านทดสอบทำจากกระเบื้องคอนกรีตแบบลอน และมีมุมหลังคา 30° โดยด้านใต้หลังคาไม่มีการติดตั้งฉนวน สำหรับฝ้าเพดานที่ใช้ในการทดสอบมี 2 ชนิดคือ 1) ยิปซัมมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity; k) $0.17\text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (emissivity, ϵ) 0.93 [11] โดยมีขนาด $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ ความหนา 0.009 m ถูกติดตั้งภายในบ้าน

ตัวอย่างสำหรับการทดสอบ 2) แผ่นไวนิลมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity; k) $0.19\text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (emissivity, ϵ) 0.93 [11] โดยมีขนาด $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ ความหนา 0.001 m ถูกติดตั้งภายในบ้านอีกหลัง โดยฝ้าเพดานทั้ง 2 ชนิดถูกใช้ติดตั้งสูงจากพื้น 1 m ผนังทั้งสี่ด้านของบ้านทั้ง 2 หลังทำจากแผ่นสมาร์ทบอร์ด โดยที่บ้านตัวอย่างจะติดตั้งแผ่นฝ้ายิปซัม และบ้านทดสอบจะติดตั้งแผ่นฝ้าแบบ ไวนิลไว้เป็นเพดานสำหรับการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบ โดยวัสดุฝ้าเพดานไวนิลซึ่งเป็นฝ้าที่ทำจากวัสดุไวนิล และมีจุดเด่นคือสามารถติดตั้งได้ง่าย และเป็นฝ้าที่ซ่อนรอยต่อมีน้ำหนักรเบา จึงสามารถติดตั้งได้หลากหลายพื้นที่ เช่น ใช้ในส่วนของงานเพดานและติดตั้งไฟดาวน์ไลท์ ทั้งสามารถนำไปติดตั้งเป็นฝ้าผนัง หรือโซนกันห้องก็ได้ ใช้ได้ทุกพื้นที่ ไม่เว้นแม้แต่ติดตั้งเป็นฝ้าภายในห้องน้ำ เนื่องจากตัวไวนิลมีคุณสมบัติที่ทนต่อความชื้น ทำความสะอาดได้ง่ายและกันปลวก ด้วยความที่ฝ้ามีน้ำหนักที่เบา จึงไม่ค่อยมีผลต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร

การเก็บข้อมูลนั้นสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (ช่วง: $0 - 800\text{ }^\circ\text{C}$, $\pm 0.4\text{ }^\circ\text{C}$) ถูกติดตั้งเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ตำแหน่งผิวด้านบน-ล่างของวัสดุผนังหลังคา อุณหภูมิอากาศของพื้นที่ห้องใต้หลังคา อุณหภูมิพื้นผิววัสดุฝ้าเพดานด้านบนและด้านล่าง อุณหภูมิภายในตัวบ้านตัวอย่างและบ้านทดสอบ อุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ (Kipp & Zonen : รุ่น CMP11, $< 2\%$) ถูกติดตั้งอยู่บนหลังคาของบ้านตัวอย่างและเอียงทำมุมเดียวกันกับหลังคาบ้าน อุปกรณ์วัดค่าการถ่ายเทความร้อน (EKO: MF-180 $\pm 2\%$) ซึ่งจะทำหน้าที่วัดการถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดาน ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดทั้งหมดจะถูกเชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล (Hioki : รุ่น LR8422-20, $\pm 0.7\%$) และทำการบันทึก

ข้อมูลทุก 5 นาที โดยตำแหน่งการวัดอุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำการทดลองที่ละจุดจุด 13 ° 47'41.3 "N และลองจิจูด 100 ° 17'56.7" E ในช่วงเดือนเมษายน 2563 ณ ชั้น 10 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ อำเภอสาลายา

จังหวัดนครปฐม เป็นพื้นที่แดดฟ้าเปิดโล่ง โดยข้อมูลที่เก็บได้นั้นจะเลือกข้อมูลเพียง 1 วัน ที่นำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ โดยเป็นวันที่มีข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ (ท้องฟ้าโปร่งใส และมีเมฆมาบดบังพื้นที่ทำการทดสอบน้อยที่สุด) และอุณหภูมิสถานะแวดล้อมที่เหมาะสม



รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดของบ้าน

ความร้อนจะสามารถไหลผ่านหลังคาเข้าสู่ภายในบ้านพักอาศัยในช่วงเวลากลางวันได้ เมื่อความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์มาตกกระทบบนผิวภายนอกหลังคา ทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่ผิวภายนอกบางส่วนถูกดูดกลืน และแผ่รังสีผ่านผิวด้านล่างของวัสดุหลังคาจึงทำให้เกิดการพาความร้อน ระหว่างอากาศใต้หลังคากับผิวหลังคาด้านล่าง เข้าสู่พื้นที่ห้องใต้หลังคา บริเวณห้องใต้หลังคาก็จะสะสมความร้อนจนส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นสูงขึ้น จากนั้นความร้อนดังกล่าวถูกถ่ายเทไปยังผิวด้านบนของฝ้าเพดาน และถ่ายเทความร้อนผ่านความหนาของฝ้าเพดานโดยการนำความร้อนสู่ผิวด้านล่างของฝ้าเพดานซึ่งอยู่ภายในตัวบ้าน ทำให้เกิดการพาความร้อน การแผ่รังสี ความร้อนจากฝ้าเพดานด้านล่างและเกิดการสะสมความร้อนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้น

ความร้อนจะถูกถ่ายเท โดยการพาให้กับอากาศภายในตัวบ้าน ทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนโดยวิธีธรรมชาติหรือค่า (q) ระหว่างพื้นผิวเพดานและอากาศภายในห้องสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (1)

$$q = h_c A (t_s - t_a) \quad (1)$$

เมื่อ h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวเพดานและอากาศภายในห้อง ($W/m.K$)

A คือ พื้นที่ของเพดาน (m^2)

t_s คือ อุณหภูมิผิวเพดาน ($^{\circ}C$)

t_a คือ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง ($^{\circ}C$)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวเพดานและอากาศภายในห้องระหว่างพื้นผิวเพดานและชั้นอากาศที่อยู่ใกล้เคียง (h_c) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ [10]

$$Nu = \frac{h.L}{k} \quad (2)$$

เมื่อ Nu คือ ค่านัสเซลล์เบอร์

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวเพดานและชั้นอากาศใกล้เคียง ($W/m.K$)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m.K$)

ค่าเรย์เลห์ (Rayleigh Number) หรือค่า Ra_L สามารถหาได้จาก

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\alpha)L^3}{\alpha\nu} \quad (3)$$

เมื่อ g คือ ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง (m/s^2)

B คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ ($1/K$)

L คือ ค่าความยาวของฝ้าเพดาน (m)

T_s คือ อุณหภูมิผิวเพดาน ($^{\circ}C$)

T_α คือ อุณหภูมิอากาศใกล้เคียงผิวเพดาน ($^{\circ}C$)

α คือ ค่าการแพร่ความร้อน (m/s^2)

ν คือ ความหนืดคินแมติก (m/s^2)

โดยค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ (β) หาได้จากสมการ

$$\frac{1}{T_f} \quad (4)$$

เมื่อ T_f คือ อุณหภูมิที่ใช้พิจารณาค่าสมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\frac{T_s + T_\alpha}{2} \quad (5)$$

สำหรับค่า $10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}$ เนื่องจากลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านมีลักษณะการจัดวางเป็นแบบผิวร้อนคว่ำลง ดังนั้น

$$Nu = 0.27 Ra_L^{1/4} \quad (6)$$

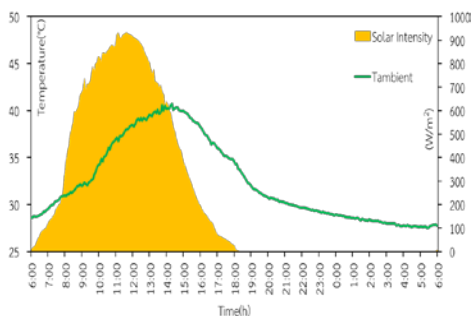
ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ระหว่างพื้นผิวเพดานและชั้นอากาศใกล้เคียง (h) จากสมการที่ (2) คือ

$$h = \frac{Nu.k}{L} \quad (7)$$

ผลการวิจัย

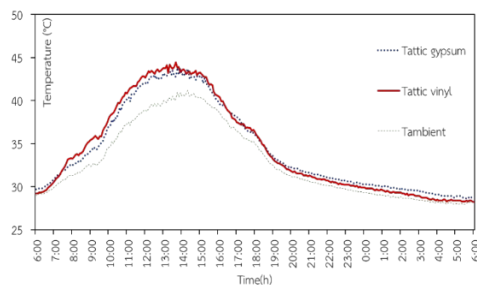
ค่าความการเปลี่ยนแปลงของเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดทั้งวันแสดงดัง รูปที่ 2 พบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องใช้เวลาเข้าตั้งแต่ 6.00 น. จนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่ $930 W/m^2$ ที่เวลา 11:40 น. จากนั้นช่วงบ่ายค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ค่อย ๆ มีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ที่เวลา 18:20 น. โดยค่าความเข้มแสงรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งวันประมาณ $675 W/m^2$ สำหรับค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีจะค่อย ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นแต่มีค่าสูงสุดคนละช่วงเวลากับค่ารังสีอาทิตย์เนื่องจากพื้นรอบ ๆ ได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ในตอนที่ดวงอาทิตย์ตั้งแต่วางเช้าและดูดซับความร้อนนั้นไว้จนกระทั่งมีการสะสมพลังงานความร้อนไว้สูงที่สุดคือช่วงบ่ายนั่นเอง

จึงทำให้อุณหภูมิอากาศในช่วงเวลา 14:20 น. มีอุณหภูมิสูงที่สุดในรอบวันที่ 40.7 °C และมีค่าเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันประมาณ 35.6 °C ช่วงเวลาที่อุณหภูมิต่ำที่สุดคือ ช่วง 5:00 น.



รูปที่ 2 ค่ำรังสีอาทิตย์ ค่ำอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

ในบริเวณห้องใต้หลังคาค่ำความร้อนหรือค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะได้รับอิทธิพลโดยตรงจากอุณหภูมิพื้นผิวด้านล่างของแผ่นวัสดุผนังหลังคา ซึ่งทำมาจากแผ่นกระเบื้องคอนกรีตซึ่งแสดงดังรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในบริเวณห้องใต้หลังคาของบ้านอ้างอิงและบ้านทดสอบจะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงเช้า จนกระทั่งในช่วง 7.40 น. ห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบ ($T_{attic \text{ Vinyl}}$) เริ่มมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบ้านอ้างอิงเล็กน้อย ($T_{attic \text{ gypsum}}$) เล็กน้อย โดยบ้านทั้ง 2 หลัง มีการสะสมความร้อนเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลากลางวัน โดยมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุดอยู่ประมาณ 44 องศาเซลเซียส สำหรับห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบและ 43.7 องศาเซลเซียส สำหรับห้องใต้หลังคาของบ้านอ้างอิง ในขณะที่บ้านทดสอบจะมีค่าอุณหภูมิสะสมที่ห้องใต้หลังคาสูงกว่าบ้านอ้างอิงตลอดทั้งวันเฉลี่ย 0.5 องศาเซลเซียส

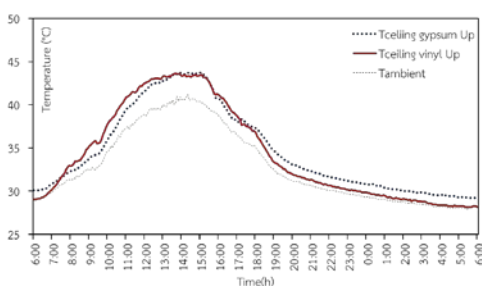


รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิห้องใต้หลังคา

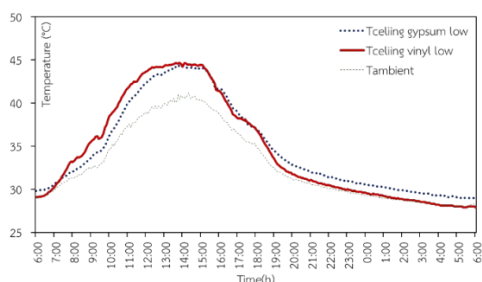
การถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิอากาศบริเวณแผ่นฝ้าเพดาน เมื่อพิจารณาแล้ว อุณหภูมิผิวเพดานด้านบนและผิวเพดานด้านล่างซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 และ 5 โดยที่ฝ้าเพดานด้านบนในช่วงเวลาเริ่มต้นตั้งแต่ 06:00 - 7:30 น. มีอุณหภูมิสะสมที่บริเวณพื้นผิวด้านบนของฝ้าเพดานชนิดไวโนล ($T_{ceiling \text{ vinyl Up}}$) มีอุณหภูมิก่อ ๆ เพิ่มสูงขึ้นกว่าฝ้าเพดานยิปซัม ($T_{ceiling \text{ gypsum Up}}$) ตั้งแต่ในช่วงเวลา 7:30-13:45น. โดยเฉลี่ย 1.1°C เนื่องจากผิวของวัสดุไวโนลนั้นมีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่าวัสดุยิปซัม สำหรับอุณหภูมิแตกต่างของวัสดุทั้งสองตลอดทั้งวัน (6.00-18.00 น.) มีค่าเฉลี่ย 0.42 °C แต่หลังจากนั้นอุณหภูมิพื้นผิวด้านบนของฝ้าเพดานชนิดไวโนลค่อย ๆ ลดลงตามค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จนมีค่าเท่ากับพื้นผิวด้านบนของฝ้าเพดานยิปซัม โดยเฉพาะในช่วงตอนเย็นตั้งแต่หลังเวลา 18:00 น. เป็นต้นไป อุณหภูมิผิวด้านบนที่ฝ้าเพดานชนิดไวโนลมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวด้านบนของฝ้าเพดานยิปซัม ซึ่งจะเห็นได้ตั้งแต่เวลา 19:00-5:30 น. เฉลี่ย 1.15 °C ซึ่งเป็นผลมาจากความบางของตัววัสดุไวโนลที่สามารถคายความร้อนออกไปได้ดีกว่าตัววัสดุยิปซัม

ในขณะที่อุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดานจะได้รับการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวด้านบนโดยการนำความร้อนผ่านเนื้อวัสดุลงทำให้อุณหภูมิสะสมจนสูงกว่าผิวด้านบน และมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นและลดลงไปในทิศทาง

เดียวกันกับผิวด้านบน โดยผิวด้านล่างของฝ้าเพดานไวนิล ($T_{\text{ceiling vinyl low}}$) มีค่าอุณหภูมิในเวลากลางวันสูงสุดที่ 45°C ที่เวลา 14:00 น. ขณะที่ผิวฝ้าเพดานยิปซัม ($T_{\text{ceiling gypsum low}}$) มีค่าอุณหภูมิสูงสุด 44.3°C และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวด้านล่างของวัสดุฝ้าเพดานในช่วงเวลากลางวัน (6:00-18:00 น.) มีค่าเฉลี่ย 0.65°C ในช่วงเวลากลางคืนจะเห็นได้อย่างชัดเจนถึงการคายความร้อนออกจากผิวด้านล่างตั้งแต่ช่วงเวลา 19:00-5:30 น. ซึ่งอุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดานไวนิลมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าผิวด้านล่างของฝ้าเพดานยิปซัม 1.1°C



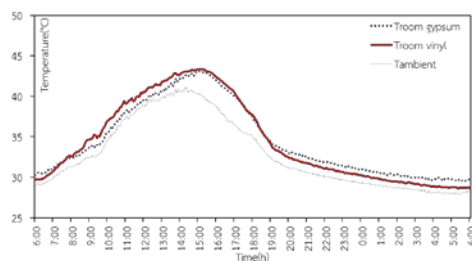
รูปที่ 4 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวเพดานด้านบน



รูปที่ 5 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวเพดานด้านล่าง

อุณหภูมิที่กลางห้องทดสอบของบ้านแสดงดังรูปที่ 6 เมื่อความร้อนจากผิวด้านล่างถ่ายเทเข้ามายังภายในตัวห้อง ทำให้ห้องที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวนิล ($T_{\text{room vinyl}}$) และห้องที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัม ($T_{\text{room gypsum}}$) มีค่าอุณหภูมิสูงสุด

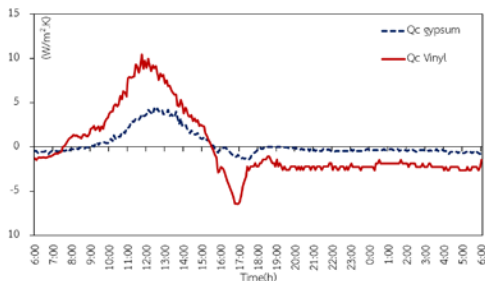
43.3°C และ 43.1°C ที่เวลา 15:00 น. โดยบ้านที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวนิล มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6:00-18:00 น.) 38.2°C ขณะที่ห้องที่ติดตั้งฝ้ายิปซัมมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน 37.6°C โดยอุณหภูมิภายในห้องที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวนิลจะสูงกว่า 0.55°C มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.4 และเกิดขึ้นในช่วงเวลา 7:30-15:00 น. จากนั้นอุณหภูมิภายในห้องที่ติดตั้งไวนิลจะลดลงและมีอุณหภูมิต่ำกว่าบ้านที่ติดตั้งฝ้ายิปซัมในช่วงเวลากลางคืน (19:00-5:30 น.) เฉลี่ย 0.8°C มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.135 เนื่องจากการดึงความร้อนผ่านฝ้าเพดานของวัสดุไวนิลจากภายในห้องออกไปยังภายนอกของบ้านทดสอบ ทั้งนี้จากอุณหภูมิห้องที่ต่ำกว่าในช่วงเวลากลางคืนของบ้านที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวนิลจะส่งผลต่อการลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิห้อง

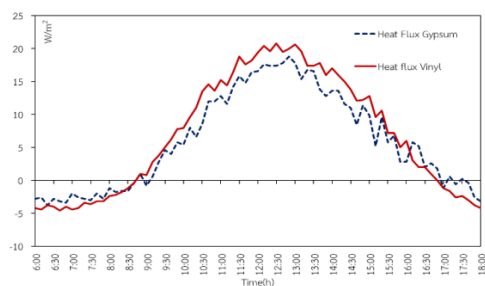
จากการติดตั้งฝ้าเพดานแบบไวนิลส่งผลให้การพาความร้อนผ่านผิวด้านล่างของบ้านทั้ง 2 หลังมีค่าที่แตกต่างกันทั้งในเวลากลางวันและการคืน โดยค่าการพาความร้อนของบ้านที่ติดตั้งด้วยแผ่นฝ้าไวนิลจะมีค่าสูงสุด $10.44 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (10:44 น.) สูงกว่าบ้านที่ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมเฉลี่ยตลอดทั้งวัน (7:00-16:00 น.) $2.37 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ และบ้านที่ติดตั้งแผ่นเพดานยิปซัมมีค่าการพาความร้อนในช่วงเวลากลางวันสูงสุด $4.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (12:36 น.) ในเวลากลางคืนการถ่ายเท

ความร้อนโดยการพาความร้อนของแผ่นผ้าไวนิล จะมีค่าที่ต่ำกว่าแผ่นผ้าใยปซัมเฉลี่ย $1.81 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ เนื่องจากความร้อนที่ถูกคายกลับไปยังผิวด้านบนของแผ่นไวนิล ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7

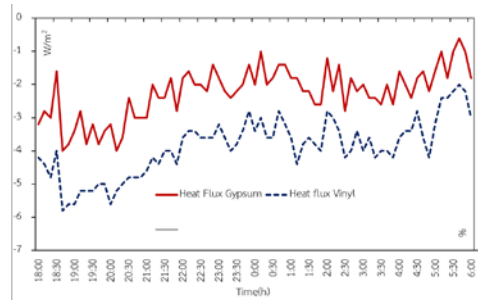


รูปที่ 7 เปรียบเทียบการพาความร้อนผ่านฝ้าเพดาน

การถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานด้านล่าง ในเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 9:00-16:00 น. โดยใช้หัววัดการถ่ายเทความร้อนติดตั้งที่บริเวณด้านล่างของผิวฝ้าเพดานทั้ง 2 ชนิด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 8 ค่าการถ่ายเทความร้อนของบ้านที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวนิลมีค่าสูงกว่าฝ้าเพดานใยปซัม เฉลี่ย 1.6 W/m^2 สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานด้านล่างในเวลากลางคืนจะแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนถึงพฤติกรรมการคายความร้อนออกจากตัววัสดุไวนิลสามารถทำได้ดีกว่าผ้าใยปซัมเฉลี่ย $1-1.64 \text{ W/m}^2$ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.41 แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวด้านล่างฝ้าเพดานเวลากลางวัน



รูปที่ 9 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวด้านล่างฝ้าเพดานเวลากลางคืน

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองเพื่อศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านวัสดุฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านโดยใช้วัสดุที่ทำจากแผ่นไวนิลเปรียบเทียบกับใยปซัม เพื่อวิเคราะห์ผลของการถ่ายเทความร้อนผ่านเข้าสู่ตัวบ้านด้วยวิธีการพาความร้อน พบว่าอุณหภูมิฝ้าเพดานด้านบนของฝ้าเพดานชนิดไวนิลสูงชันกว่าฝ้าเพดานใยปซัมตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ย $0.42 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ขณะที่ในช่วงกลางคืนค่าอุณหภูมิต่ำกว่าฝ้าเพดานใยปซัม เฉลี่ย $1.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากการถ่ายเทความร้อนลงสู่ผิวด้านล่างทำให้อุณหภูมิที่ผิวด้านล่างของวัสดุฝ้าเพดานไวนิลมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเพียงเล็กน้อยคือ $0.65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ในเวลากลางวัน และมีค่าต่ำกว่าผิวด้านล่างของฝ้าเพดานใยปซัม $1.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ในเวลากลางคืน สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานด้านล่างโดยใช้หัววัดการถ่ายเทความร้อนบ้านที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวนิลมีค่าสูงกว่าฝ้าเพดานใยปซัมเฉลี่ย 1.6 W/m^2 มีค่าการคายความร้อนออกได้ดีกว่าผ้าใยปซัมเฉลี่ย 1.64 W/m^2 ในเวลากลางคืน ทั้งนี้ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนของผ้าไวนิลสูงกว่าฝ้าเพดานใยปซัมเฉลี่ยตลอดทั้งวัน $2.37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และลดต่ำกว่าในเวลากลางคืน $1.81 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ จึงส่งผลให้อุณหภูมิห้องของบ้านทดสอบมีค่าต่ำกว่าบ้านอ้างอิงในช่วงเวลากลางคืนเฉลี่ย $0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งผล

จากการติดตั้งใช้งานตัววัสดุโวนิลสามารถลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่ตัวบ้านพักอาศัยได้ในช่วงเวลากลางวันแต่มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้จุดเด่นของฝ้าเพดานที่ทำมาจากวัสดุโวนิลคือ ความแข็งแรง ทนต่อความชื้น ไม่หักงอ และความบางของตัววัสดุโวนิลที่สามารถคายความร้อนออกไปได้ดีกว่าตัววัสดุยิปซัม ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานในการปรับอากาศในอาคารหรือบ้านพักอาศัยในเวลากลางคืนได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ “สวนสุดกำแพง” (SoodKamphaeng) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำในการดำเนินการเกี่ยวกับข้อมูลและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] Joshep Khedari, Jongjit Hirunlabh, Tika Bunnag. “Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new houses”, *Energy and Building*, Vol.26, pp.159-164, May 1997.
- [2] Phiraphat S, Prommas R, Tondee T, Puangsombut W., “Thermal performance of the PV roof solar collector”, in *Proceeding of 5th International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture, Smart Technologies and Built Environment, Bangkok, September 27-29, 2016*, pp. 315-322.
- [3] Amornleetrakul O, Puangsombut W, Hirunlabh J., “Field investigation of the small house with the ventilated roof tile”, *Advanced Materials Research*, vol. 931-932, pp. 1233-1237, May 2014.
- [4] Ne’stor Fonseca Diaz , Jean Lebrun, and Philippe Andre´, "Experimental study and modeling of cooling ceiling systems using steady-state analysis", *international journal of refrigeration*, vol.33, pp. 793–805, June 2010.
- [5] Yong-Li Yuan, Xiang Zhou, and Xu Zhang, "Experimental Study of Heat Performance on CeilingRadiant Cooling Panel", *9th International Symposium on Heating, Ventilation, and Air Conditioning (ISHVAC) and the 3rd. International Conference on Building Energy and Environment (COBEE), Tianjin, China, 12 - 15 July 2015*, *Procedia Engineering*, vol. 121, pp. 2176 – 2183.
- [6] Chen Zhang, Martin Heine Kristensen, Jakob Søland Jensen, Per Kvols Heiselberg, Rasmus Lund Jensen, and Michal Pomianowski, "Parametrical analysis on the diffuse ceiling ventilation by experimental and numerical studies", *Energy and Buildings*, Vol 111, pp. 87–97, Jan 2016.
- [7] Martin Heine Kristensen, Jakob Søland Jensen, and Per Kvols Heiselberg, "Field study evaluation of diffuse ceiling ventilation in classroom during real operating conditions", *Energy and Buildings*, vol.138, pp. 26–34, Mar 2017.

- [8] Nankongnab N, Puangsombut W, Insiripong S, Hirunlabh J, Khedari J, Shin UC., “Field investigation on hygrothermal performance of fullvent perforated soffit and ceiling”, *Solar Energy*, Vol. 80, pp. 936-948, Aug. 2006.
- [9] Kwanchai Jantana and Jirasak Pukdum, “Experimental investigation on heat gain reduction using a vinyl perforated ceiling”, *International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies*, May 25-26, 2017, Bangkok Thailand, pp. 586-591.
- [10] Jirasak Pukdum, Somchai Thiyepe, and Tinnapob Phengpom, “Heat gain reduction through ceiling by PV ventilation system.” *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University*, vol. 8, no. 1, pp. 39-47, Jun. 2020.
- [11] J. Yu, L. Sun, C. Ma, Y. Qiao, H. Yao, “Thermal degradation of PVC: a review”, *Waste Manage*, vol. 48, pp. 300–314, Feb. 2016.