วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2563

การลดความร้อนผ่านห้องใต้หลังคาโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ

คงฤทธิ์ จึงพิมลยานนท์[1*], ดิษฐา นนธิวรวงศ์[2], ธนา อนันต์อาชา[3]

[1*]บริษัท แชนด์บิวท์ จำกัด ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ
[2]บริษัท อาร์ช จี เทค จำกัด ซอยพัฒนาการ 38 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพฯ
[3]คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Email: thermalcomfortable@gmail.com[1*], switched2020@gmail.com

Received: October 6, 2020
Revised: December 3, 2020
Accepted: December 7, 2020

บทคัดย่อ

กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการลดการสะสมความร้อนในพื้นที่ห้องใต้หลังคาและยังช่วยลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในอาคารกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศถูกสร้างขึ้นจากคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้กันมากในการผลิตกระเบื้องหลังคา ช่องระบายอากาศของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีขนาด 0.009 m^2/ tile ventilator และการระบายอากาศเป็นการระบายอากาศแบบธรรมชาติ บ้านหลังเล็กสองหลังถูกสร้างขึ้นโดยใช้วัสดุทั่วไป หนึ่งในนั้นเป็นบ้านอ้างอิงและอีกหลังหนึ่งใช้ในการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ หลังคาบ้านทดสอบเป็นหลังคาทรงจั่วทำมุมเอียง 25 องศา ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศห้องใต้หลังคาของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีค่าน้อยกว่ากระเบื้องคอนกรีตทั่วไปประมาณ 1-4°C ด้วยเหตุนี้จึงลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงเข้าสู่ภายในอาคารได้ประมาณ 4-40 W/m^2 ทำให้มั่นใจได้ว่ากระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีอัตราการระบายอากาศที่สูงซึ่งจะช่วยเพิ่มจำนวนการเปลี่ยนของอากาศผ่านพื้นที่ห้องใต้หลังคาได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงขอแนะนำกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศสำหรับการออกแบบในงานวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม ท้ายสุดการติดกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศได้

คำสำคัญ : กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ, ห้องใต้หลังคา, ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน, จำนวนการเปลี่ยนอากาศ, อัตราการระบายอากาศ

Attic heat gain reduction using a concrete tile ventilator

Kongrit Juengpimonyanon[1*], Dittha Nonthiworawong[2], Thana Ananacha[3]
[1*]Sand Built Co.,Ltd. Ramkamhaeng Rd, Huamark, Bangkapi, Bangkok
[2]Arch G Tech Co., Ltd., Soi Patthanakarn 38, Patthanakarn Rd., Suanluang, Bangkok
[3]Faculty of Architecture and Design, King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Email : thermalcomfortable@gmail.com[1*], switched2020@gmail.com

Received: October 6, 2020
Revised: December 3, 2020
Accepted: December 7, 2020

Abstract

A concrete tile ventilator is an effective device to reduce the heat accumulation in attic space and also reduced heat gain through the ceiling into the indoor. A concrete tile ventilator has been built from concrete which is the most common material used in the manufacturing of roof tile. The vent area of each concrete tile ventilator is 0.009 m^2/ tile ventilator, and natural ventilation was applied. Two small houses were built using common materials. One of them surved as a reference house, and another one was used to install the tile ventilator. The roof was a gable roof with 25 degree of inclination angle. The results from this study showed that the attic air temperature of a concrete tile ventilator was lower than the common concrete tile by about 1-4°C. With this reason, it is reduced the hourly ceiling heat gain into an indoor by about 4-40 W/m^2. It could ensure that, the concrete tile ventilator is a high ventilation rate that improve the number of air change through the attic space. Therefore, it is highly recommended for engineering and architectural designs of building components. Finally, installation of tile ventilator will use to save electricity cost for air conditioner.

Keywords : Concrete tile ventilator, Attic, Ceiling heat gain, number of air change, ventilation rate

บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก 70% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศ [1] ภาระความร้อนส่วนใหญ่เกิดจากรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่กรอบอาคารและถูกดูดกลืนด้วยวัสดุประกอบอาคาร เช่น หลังคา ผนัง ประตูและหน้าต่าง เป็นต้น อย่างไรก็ตามหลังคาเป็นส่วนที่รับรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ความร้อนส่วนใหญ่จึงถ่ายเทผ่านหลังคาเข้าสู่ภายในตัวอาคารทำให้เกิดความร้อนสะสมและเป็นภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศ ในห้องพักอาศัย โดยทั่วไปการลดความร้อนผ่านหลังคาสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันมากในปัจจุบันคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนในพื้นที่ห้องใต้หลังคา ส่วนใหญ่เป็นการวางฉนวนบนฝ้าเพดานซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวกต่อการติดตั้ง อีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากคือการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนบนแปของหลังคา (ด้านใต้แผ่นกระเบื้อง) และวิธีการแบบดั้งเดิม คือการระบายอากาศ ซึ่งเป็นวิธีการที่ยังมีการใช้แต่ไม่ได้รับความนิยมมากนักในปัจจุบัน ในปี พ.ศ. 2543 Withaya Puangsombut [2] และ และปี พ.ศ. 2545 Hirunlabh et al. [3] ได้ศึกษาการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็นโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาโดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นต้นกำลังในการขับพัดลมระบายอากาศ กับการใช้ฉนวนกันความร้อนและแผ่นสะท้อนความร้อน ทั้งกรณีวางฉนวนกันความร้อนและแผ่นสะท้อนความร้อนไว้บนฝ้าเพดานและบนแปของหลังคา จากการศึกษาพบว่าการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน ได้ 3-5 W/m^2 และลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาและอุณหภูมิห้อง ได้ 3-4^{o}C และในกรณีการระบายอากาศที่ใช้อากาศแบบไหลตามขวาง (Cross flow) สามารถลดความร้อนสะสมภายในห้องพักอาศัยและทำให้เกิด ความสบายเชิงความร้อนภายในห้องพักอาศัยได้

ในปี พ.ศ. 2557 ได้มีการศึกษาออกแบบกระเบื้องหลังคาระบายอากาศ [4] ประกอบด้วยแผ่นคอนกรีต 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นคอนกรีตทั้ง 2 ชั้นสำหรับระบายอากาศ จากการศึกษาพบว่ากระเบื้องหลังคาระบายอากาศสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยผ่านฝ้าเพดานได้ 1-3 W/m^2 และสร้างอัตราการระบายอากาศได้ในช่วง 10.5-50 m^3/hr ต่อพื้นที่ 2.25 m^2 หรือคิดเป็น 4.7-22.2 m^3/hr ต่อพื้นที่ 1 m^2 ที่ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบบนหลังคาในช่วง 100-1000 W/m^2 และในปีเดียวกันได้ทำการศึกษาออกแบบและประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องระบายอากาศ [5] ซึ่งกระเบื้องระบายอากาศผลิตจากคอนกรีตและออกแบบให้มีช่องระบายอากาศขนาด 0.009 m^2/tile vent. ทดสอบกับบ้านทดสอบขนาดเล็กที่มีปริมาตรห้องใต้หลังคา 1.21 m^3 โดยทำการติดตั้งกระเบื้องระบายอากาศจำนวน 1 แผ่น จากการทดสอบพบว่าสามารถลดอุณหภูมิในห้องใต้หลังคาได้ในช่วง 1-3^{o}C และสร้างอัตราการไหลของอากาศผ่านห้องใต้หลังคาได้ในช่วง 14-40 m^3/hr หรือคิดเป็นจำนวน การเปลี่ยนอากาศภายในห้องใต้หลังคาเท่ากับ 4-8 ACH

ต่อมาได้มีการศึกษาออกแบบท่อนำแสงระบายอากาศเพื่อลดภาระการทำความเย็นภายในอาคาร [6] โดยท่อนำแสงระบายอากาศทำจากแผ่นอลูมิเนียมเคลือบพื้นผิวด้วยเงิน ท่อนำแสงระบายอากาศประกอบด้วยท่อแนวตั้งและแนวเอียงที่มีความยาว 40 และ 80 cm ตามลำดับและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 15 cm ถูกติดตั้งกับบ้านทดสอบขนาดเล็กมีหลังคาเพิงหมาแหงนทำมุม 30 องศากับแนวระดับ จากการทดสอบบ้านที่ติดตั้งท่อนำแสงระบายอากาศให้ค่าความส่องสว่างภายในต่ำสุดและสูงสุดในช่วง 60-190 Lux และ 230-320 Lux ตามลำดับ และอัตราการระบายอากาศผ่านท่อนำแสงระบายอากาศอยู่ ในช่วง 1.8-5.4 m^3/hr ใน

ส่วนการลดความร้อนส่งผ่านฝ้าเพดานนั้นบ้านทดสอบที่ติดตั้งท่อนำแสงระบายอากาศสามารถลดได้ 1-5 W/m^2 หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นการลดความร้อนส่งผ่านฝ้าเพดานอยู่ที่ 8-32% หลังจากนั้น [7] ได้ศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานด้วยระบบระบายอากาศเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดสอบสามารถลดอุณหภูมิห้องทดสอบได้สูงสุด 4.2°C และเปอร์เซ็นต์การลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้ในช่วง 30-35%

Medina et al. [8] ได้ทำการศึกษาผลของการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาที่มีผลต่อสมรรถนะของแผ่นสะท้อนความร้อนในการศึกษาได้ทำการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน (Radiant barrier) ในพื้นที่ห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบและใช้อัตราการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาที่ 0, 0.64, 1.3, 2.5 และ 5.1 l/s. $m^2_{ceiling}$ เปรียเทียบกับบ้านทดสอบที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน จากการศึกษาพบว่าที่อัตราการระบายอากาศ 0 และ 0.64 l/s. $m^2_{ceiling}$ มีผลต่อค่าการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้ดี โดยให้ช่วงของค่าการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานอยู่ที่ 25-35% ในขณะที่อัตราการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคา 1.3, 2.5 และ 5.1 l/s. $m^2_{ceiling}$ ไม่มีผลต่อค่าการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดาน ต่อมา Medina et al. [9, 10] ได้ศึกษาแบบ จำลองการถ่ายเทความร้อนและมวลในสภาวะไม่คงตัวของห้องใต้หลังคาบ้านพักอาศัยที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนโดยสมการการถ่ายเทความร้อนประกอบด้วย การนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนที่พื้นผิวของส่วนประกอบต่าง ๆ ของห้องใต้หลังคาและสมการการถ่ายเทมวลที่เกิดจากการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคา จากการศึกษาแบบจำลองถ่ายเทความร้อนและมวลภายในห้องใต้หลังคาพบว่าแบบจำลองมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

ในงานวิจัยนี้ได้นำกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติติดตั้งกับบ้านทดสอบขนาดเล็กและทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับบ้านทดสอบขนาดเล็กที่ไม่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศเพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิในห้องใต้หลังคาและการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานของบ้านทดสอบ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาและลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่มีการระบายอากาศแบบวิธีธรรมชาติ

ทฤษฎีและอุปกรณ์

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนหลังคาการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปสู่แหล่งอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ซึ่งกลไกการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นประกอบด้วย การนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ในขณะเดียวกันอากาศในพื้นที่ห้องใต้หลังคาได้รับความร้อนจากกลไกการถ่ายเทความร้อนทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนาแน่นของอากาศมีค่าต่ำลงและลอยตัวสูงขึ้นอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่ ซึ่งกลไกนี้เรียกว่าการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาแบบวิธีธรรมชาติในกรณีที่นำผลกระทบของลมภายนอกเข้ามาร่วมด้วย การระบายอากาศในห้องใต้หลังคา สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ [11]

$$Q_{vent} = \sqrt{Q_{buoy}^2 + Q_{wind}^2} \qquad (1)$$

เมื่อ

Q_{vent} คือ อัตราการระบายอากาศ (m^3/s)

Q_{buoy} คือ อัตราการระบายอากาศเนื่องจากแรงลอยตัว (m^3/s)

Q_{wind} คือ อัตราการระบายอากาศเนื่องจากลม (m^3/s)

อัตราการระบายอากาศเนื่องจากแรงลอยตัว คำนวณได้จาก

$$Q_{buoy} = A_i\sqrt{gH_s\frac{(T_d - T_a)}{T}} \qquad (2)$$

เมื่อ

A_i คือ พื้นที่ช่องเปิดทางเข้าของอากาศที่ฝ้าชายคา (m^2)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

H_s คือ ความสูงของระนาบเป็นกลาง (m) (ระยะที่ความดันเป็นศูนย์)

T_d คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิวดาดฟ้า (K)

T_a คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศแวดล้อม (K)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิวดาดฟ้าหรืออากาศแวดล้อม (K)

คำนวณ H_s จาก

$$H_s = \frac{H}{1+\left(\frac{A_i}{A_o}\right)^2\left(\frac{T_o}{T_i}\right)} \qquad (3)$$

เมื่อ

H คือ ระยะห่างระหว่างทางเข้าและทางออกของอากาศในห้องใต้หลังคา (m)

A_o คือ พื้นที่ช่องเปิดทางออกของอากาศที่กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ (m^2)

T_i คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศที่ทางเข้า (ฝ้าชายคา), (m^2)

T_o คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศที่ทางออก (กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ), (m^2)

อัตราการระบายอากาศเนื่องจากลม คำนวณได้จาก

$$Q_{wind} = CA_iV_i \qquad (4)$$

เมื่อ

C คือ สัมประสิทธิ์การไหลผ่าน

V_i คือ ความเร็วลมที่ทางเข้าฝ้าชายคา (m/s)

เปอร์เซ็นต์การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานสามารถคำนวณจาก [8]

$$\%HG\ reduction = \left(\frac{HG_{com} - HG_{CTV}}{HG_{com}}\right) \times 100 \qquad (5)$$

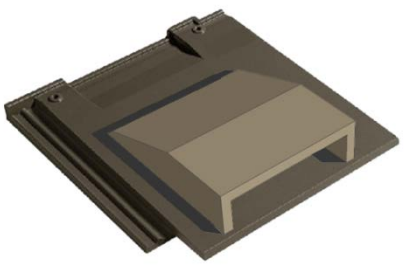
เมื่อ

$\%HG\ reduction$ คือ เปอร์เซ็นต์การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน (%)

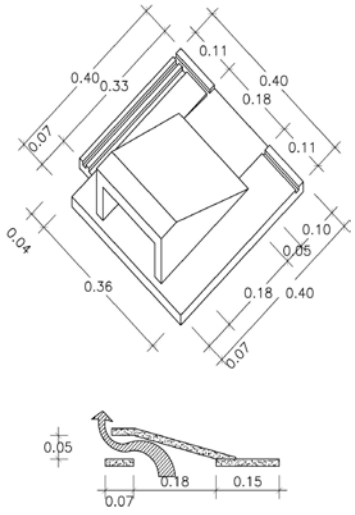
HG_{com} คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานของบ้านที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตปกติ (W/m^2)

HG_{CTV} คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานของบ้านที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ (W/m^2)

กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ที่ใช้สำหรับการทดลองในรูปที่ 1 (a) แสดงลักษณะของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ และรูปที่ 1 (b) แสดงขนาดของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ซึ่งได้รับการออกแบบโดยใช้อากาศจากภายนอกไหลผ่านช่องระบายอากาศที่ฝ้าชายคาเข้าสู่พื้นที่ห้องใต้หลังคา และไหลออกที่กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งอยู่บนหลังคาบ้านทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาเป็นการระบายอากาศแบบวิธีธรรมชาติ



(a) แสดงลักษณะของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ

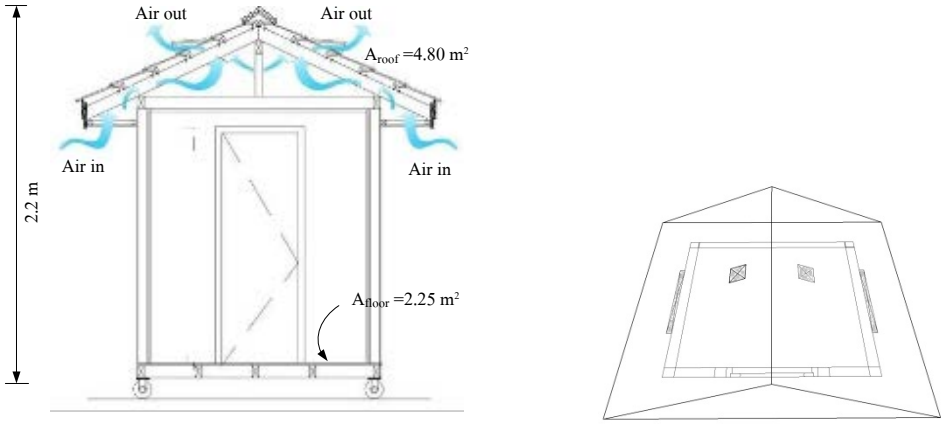


(b) ขนาดของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ (หน่วย: m)

รูปที่ 1 กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ

ระเบียบวิธีวิจัย

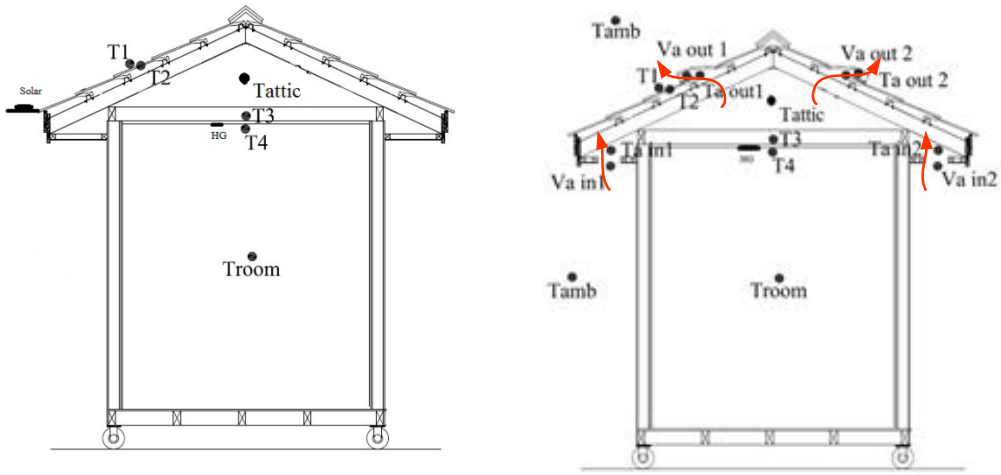
งานวิจัยนี้ได้เสนอกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศติดตั้งกับบ้านทดสอบขนาดเล็กเพื่อศึกษาถึงสมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ในตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหลเชิงปริมาตร หรืออัตราการระบายอากาศ และการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดาน ในการทดลองครั้งนี้บ้านทดสอบขนาดเล็กมีหลังคาเป็นแบบทรงจั่ว มีมุมหลังคา 25 องศา บ้านทดสอบแต่ละหลังมีพื้นที่ฐาน 2.25 m^2 สูง 2.2 m พื้นที่ผิวหลังคาแต่ละหลังเท่ากับ 4.8 m^2 ส่วนกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีขนาดช่องเปิดสำหรับระบายอากาศเท่ากับ 0.009 m^2/ tile vent.



(a) แสดงลักษณะการไหลของอากาศ (b) แสดงลักษณะช่องเปิดระบายอากาศ

รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งช่องเปิดสำหรับระบายอากาศและรูปแบบการไหลของอากาศ

จาก [11] ได้ทำการตรวจสอบเชิงตัวเลขสำหรับตำแหน่งของช่องระบายอากาศโดยทำการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่หลังคาด้านละ 1 แผ่นทั้ง 2 ด้านของหลังคาทรงจั่ว (0.009×2 = 0.018 m^2) และทำการเปิดช่องระบายอากาศที่ฝ้าชายคาขนาด 0.009 m^2 ต่อฝ้าชายคา (0.009×2 = 0.018 m^2) ดังแสดงในรูปที่ 2 และในรูปที่ 3 แสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ความเร็วลมอากาศที่ทางเข้า (ฝ้าชายคาทั้ง 2 ด้าน) ที่ทางออก (กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ทั้ง 2 ด้าน) ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน และค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหลังคาบ้านทดสอบ



(a) บ้านทดสอบอ้างอิง

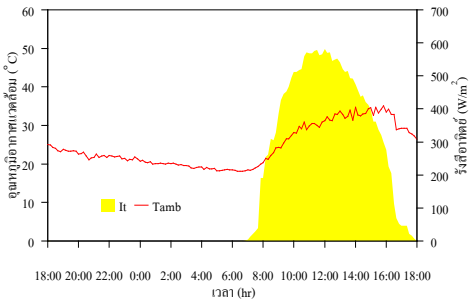
(b) บ้านทดสอบที่มุงกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ

รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์

อุปกรณ์การตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการทดลอง ประกอบด้วย สายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K (ช่วงการวัด: 0-1250°C) ต่อตรงเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Hioki: Model 8422-52) อุปกรณ์วัดความเร็วลมของอากาศ (KIMO: model. VT 100) อุปกรณ์วัดความร้อนผ่านฝ้าเพดาน (EKO: FM-180) และอุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ (Kipp & Zonen: Model CMP11) โดยทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 10 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง

ผลการวิจัย

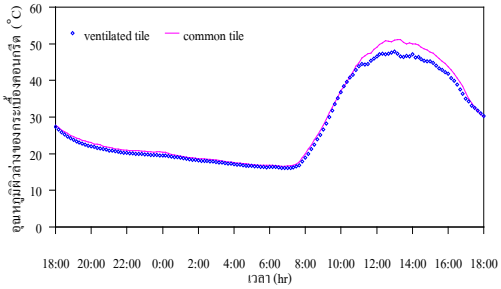
ในการทดสอบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศกับบ้านทดสอบขนาดเล็ก เพื่อศึกษาการลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาและการลดความร้อนส่งผ่านฝ้าเพดานโดยการระบายอากาศแบบวิธีธรรมชาติ ได้ดำเนินการทดสอบและเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ในรูปที่ 4 แสดงค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหลังคาและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม จะเห็นว่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 600 W/m^2 และ 35°C ตามลำดับ และในช่วงเวลา 18:00-06:00 น. อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าอยู่ในช่วง 20-25°C



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

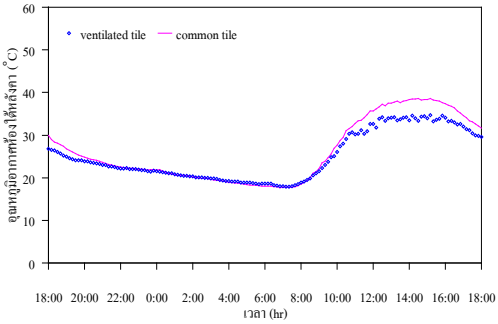
1. อุณหภูมิ

จากที่ได้กล่าวในตอนต้นถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนและการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคานั้น พิจารณาในรูปที่ 5



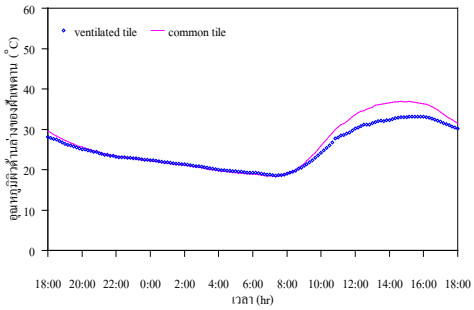
รูปที่ 5 อุณหภูมิผิวกระเบื้องคอนกรีต (ผิวด้านล่างกระเบื้องคอนกรีต, T_2)

จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ มีอุณหภูมิต่ำกว่ากระเบื้องคอนกรีตปกติตลอดช่วงเวลาเก็บข้อมูลและมีค่าอยู่ในช่วง 1-5°C ทั้งนี้เกิดจากการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาโดยความร้อนที่ผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศถ่ายเทความร้อนโดยการพาให้กับอากาศที่ไหลผ่านภายในห้องใต้หลังคาจึงทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่ากระเบื้องคอนกรีตปกติ และเมื่อพิจารณารูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศในห้องใต้หลังคา บ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศจะมีอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาต่ำกว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนรีตปกติที่ 1-4°C และในช่วงเวลา 18:00-22:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่น่าสนใจเนื่องจากในกิจวัตรจริงผู้คนส่วนใหญ่มีกิจกรรมภายในบ้านพักอาศัยซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับสร้างความสบายเชิงความร้อน เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศ จะเป็นผลทำให้ความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านและเป็นภาระความร้อนให้กับเครื่องปรับอากาศได้

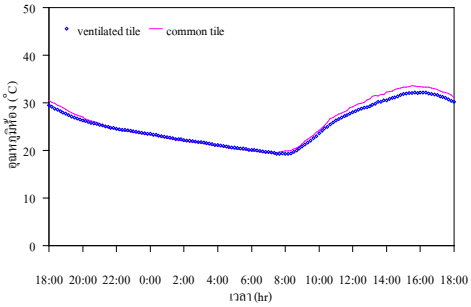


รูปที่ 6 อุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคา (T_{attic})

ในรูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดานของบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าบ้านทดสอบปกติเช่นเดียวกับอุณหภูมิภายในห้อง (ดูรูปที่ 8) อย่างไรก็ตามเนื่องจากการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาเป็นการระบายอากาศเฉพาะในส่วนห้องใต้หลังคาทำให้อุณหภูมิภายในห้องพักอาศัยมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก คืออยู่ในช่วง 0.5-1.5°C ซึ่งถ้าหากการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาตามอ้างอิง [2, 3] จะสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องพักอาศัยและสร้างความสบายเชิงความร้อนภายในห้องพักอาศัยได้ ซึ่งจะนำเสนออยู่ในหัวข้อเสนอแนะสำหรับการทำงานวิจัยครั้งต่อไป



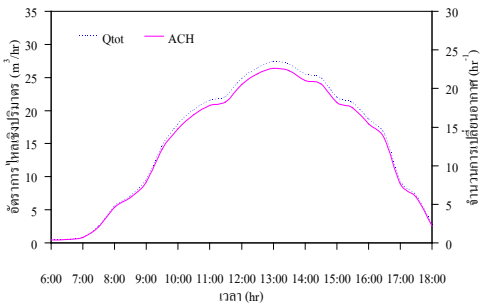
รูปที่ 7 อุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดาน (T_4)



รูปที่ 8 อุณหภูมิห้อง (T_{room})

2. อัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศ

ในหัวข้อก่อนหน้าอธิบายถึงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่สำคัญของการทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศสามารถลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาได้ และในหัวข้อนี้แสดงค่าอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศผ่านห้องใต้หลังคาโดยวิธีระบายอากาศแบบธรรมชาติ และเพื่อให้เห็นข้อมูลที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในหัวข้อนี้จะแสดงข้อมูลในช่วงเวลากลางวัน (12 ชั่วโมง) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดกลไกการระบายอากาศและการถ่ายเทความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากกลไกการระบายอากาศมีผลมาจากค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในห้องใต้หลังคา



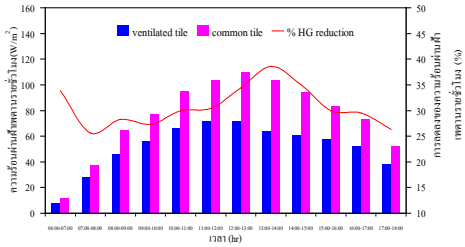
รูปที่ 9 อัตราการไหลเชิงปริมาตรและจำนวนการเปลี่ยนอากาศ

ในรูปที่ 9 แสดงอัตราการไหลเชิงปริมาตรและจำนวนการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (number of air change per hour, ACH) จะเห็นว่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรหรือเราสามารถเรียกว่าอัตราการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคามีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาและมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-27.5 m^3/hr และสามารถคิดเป็นจำนวนการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงของห้องใต้หลังคาได้จาก $ACH=Q_{tot}/V$, [12] โดยที่ Q_{tot} คือ ผลรวมของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศผ่านกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ (m^3/hr) และ V คือ ปริมาตรของห้องใต้หลังคา (m^3) ดังแสดงในรูปที่ 9 และจะเห็นได้ว่าจากอัตราการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคานั้นสามารถทำให้เกิดจำนวนการเปลี่ยนอากาศของห้องใต้หลังคาอยู่ในช่วง 0.35-22.3 เท่าของปริมาตรห้องใต้หลังคาภายใน เวลา 1 ชั่วโมง

3. ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน

จากการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศจึงเกิดอัตราการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาทำให้ความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคามีค่าลดลง ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานจึงมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน

ในรูปที่ 10 แสดงค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงของบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศและบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตปกติ จะเห็นได้ว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงน้อยกว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตปกติในช่วง 4-40 W/m^2 และมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงอยู่ในช่วง 25-39% ซึ่งเมื่อดูรูปที่ 6 และ รูปที่ 9 ประกอบ จะเห็นว่าในช่วงเวลา 11:00-15:00 น. บ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศสามารถสร้างอัตราการระบายอากาศได้ดีและส่งผลให้อุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาบ้านที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีค่าลดลง



รูปที่ 10 ความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมง

สรุปและอภิปรายผล

การใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศเพื่อลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาและลดความร้อนส่งผ่านฝ้าเพดานนั้นเป็นวิธีการหนึ่งในการลดการใช้พลังงานภายในบ้านพักอาศัยและเพิ่มความสบายเชิงความร้อนต่อผู้อยู่อาศัยได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศกับบ้านทดสอบและเปรียบเทียบกับบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตแบบปกติ จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศสามารถลดอุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีต (T_2) ได้อย่างเห็นได้ชัด ทำให้อุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคา (T_{attic}) มีค่าลดลงและส่งผลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดาน (T_4) มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถลดค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงได้ในช่วง 4-40 W/m^2 ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานแล้วอยู่ในช่วง 25-39%

เมื่อนำผลการทดลองจากงานวิจัยเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองของงานวิจัย [5] จะเห็นได้ว่าผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือบ้านที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาต่ำกว่าบ้านที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตปกติ แต่เนื่องจากเป็นการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาแบบวิธีธรรมชาติ ดังนั้นอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาและค่ารังสีอาทิตย์จึงมีผลต่อการสร้างอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศผ่านห้องใต้หลังคาด้วย แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศสามารถลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาและลดความร้อนส่งผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงเข้าสู้ภายในห้องพักอาศัยได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย ติดตั้งสะดวกและสามารถดัดแปลงใช้งานได้กับหลังคาทุกประเภท

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบกับบ้านทดสอบขนาดเล็ก ซึ่งมีข้อเสนอในการศึกษาครั้งต่อไป คือ

1. ศึกษาการใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศกับบ้านพักอาศัยจริงร่วมกับการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ
2. ศึกษาการใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศกับบ้านพักอาศัยจริงร่วมกับการระบายอากาศแบบไหลตามขวาง (cross flow) ทั้งในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศและกรณีที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ
3. ศึกษาขนาดช่องเปิดของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศและตำแหน่งการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่เหมาะสมกับขนาดของหลังคา

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ “สุดกำแพง” ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการออกแบบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศและขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทยา พวงสมบัติ ที่ให้คำแนะนำเชิงวิชาการสำหรับงานวิจัยนี้ และ อาจารย์ ดร.จิระศักดิ์ พุกดำ

อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สำหรับการให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์การตรวจข้อมูลในงานวิจัยนี้

References

[1] T. Taengchum, S. Chirarattana-non, R. H. B. Excell, K. Kubaha and P. Chaiwiwatworakul, "A study on a ventilation stack integrate with a light pipe," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 50, no. 1, pp. 546-554, January 2013.

[2] Withaya Puangsombut, *"Cool-ing Load Reduction by PV Attic Ventilation"*, Master of Engineering Thesis (Thermal Technology), King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, TH, 2000.

[3] J. Hirunlabh, W. Puangsombut, J. Waewsak and J. Khedari, "PV attic ventilation: a simple tool for reducing cooling load and providing comfort," *Interna-tional Journal of Ambient Energy, Vol.* 23, no 3, pp. 159-168, Jul. 2002.

[4] O. Amornleetrakul, W. Puang-sombut and J. Hirunlabh, "Field investigation of the small house with the ventilate roof tiles," *Advance Materials Research*, Vols. 931-932, pp. 1233-1237, 2014.

[5] K. Juengpimonyanon, W. Puang-sombut and T. Ananacha, "Field investigation on thermal performance of the tile ventilator," *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 619, pp. 73-77, 2014.

[6] D. Nonthiworawong, *"Design of a light-vent pipe (LVP) to reduce building cooling load"*, Ph.D. Thesis (Sustainable Energy and Environment Technology and Management), Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, TH, 2017.

[7] J. Pukdum, S. Thipeye and T. Phengpom, "Heat gain reduction through ceiling by PV ventilation system," *The Journal of Industrial Technolo-gy*, Vol. 8, no. 1, pp. 39-47, January-June 2020.

[8] M. A. Medina, D. L. O'Neal and W. D. Turner, "Effect of attic ventilation on the performance of radiant barrier," *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 114, pp. 234-239, November 1992.

[9] M. A. Medina, D. L. O'Neal and W. D. Turner, "A Transient Heat and Mass Transfer Model of Residential Attics Used to Simulate Radiant Barrier Retrofits, Part I: Development," *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 120, pp. 32-38, February 1998.

[10] M. A. Medina, D. L. O'Neal and W. D. Turner, "A Transient Heat and Mass Transfer Model of Residential Attics Used to Simulate Radiant Barrier Retrofits, Part II: Validation and Simulations," *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 120, pp. 39-44, February 1998.

[11] Kongrit Juengpimonyanon, *"Design and Thermal Performance Evaluation of Tile Ventilators"*, Ph.D. Thesis (Sustainable Energy and Environment Technology and Management), Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, TH, 2016.

[12] F. C. McQuiston an J.. Parker, *Heating Ventilating and Air Conditioning: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1994.