

การใช้ม่านบังผนังกระจกและปล่องระบายอากาศเพื่อลดอุณหภูมิภายในห้องไม่ปรับอากาศ

Utilization of a Glass Wall Curtain in the Ventilated Chimney to Reduce Temperature in Non-air Conditioned Room

ประภัสสร แซ่มมงคณ* และ สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ

Praphatsorn Saemmongkhon* and Sudaporn Sudprasert

สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Department of Architecture, Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University

* Corresponding author e-mail: 6saemson9@gmail.com

Received 24/2/2020 Revised 19/6/2020 Accepted 23/6/2020

บทคัดย่อ

ม่านบังแดดที่ผนังกระจกนั้นมีอุณหภูมิผิวม่านสูงและมีอากาศร้อนในช่องอากาศระหว่างกระจกกับม่านไหลเข้ามาภายในห้อง งานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้ช่องอากาศระหว่างกระจกกับม่านเป็นปล่องระบายอากาศเพื่อลดอุณหภูมิภายในห้อง โดยทดลองตัวอย่างม่าน 3 ชนิดคือม่านตัดแสง ม่านทึบแสงและม่านสะท้อนความร้อนที่มีลูมิเนียมเคลือบผิวด้านนอก การทดลองประกอบด้วยการติดตั้งม่านเป็นผนังด้านในของปล่องและเปิดช่องเปิดที่ด้านบนกระจกและที่ด้านล่างของม่านเป็นทางออกและทางเข้าของอากาศตามลำดับ ผลการศึกษานำไปเปรียบเทียบกับกรณีเปิดช่องเปิดทางออก-เข้าปล่องไม่ให้อากาศไหลผ่าน ผลการศึกษาที่ค่ารังสีอาทิตย์คงที่ 600 W/m^2 พบว่าอุณหภูมิผิวของม่านเมื่อเปิดใช้ปล่องระบายอากาศมีค่าต่ำกว่าเมื่อมีการปิดช่องระบายอากาศอยู่ $2.2 - 5.4 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยม่านสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุด อุณหภูมิผิวม่านทั้ง 3 ชนิดสูงกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ $7.6 - 12.4 \text{ }^\circ\text{C}$ อย่างไรก็ตามพบว่ามีการรั่วซึมของอากาศร้อนออกจากปล่องผ่านรูพรุนของผ้าและการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในกล่องทดลอง งานวิจัยนี้ได้พบว่าม่านตัวอย่างนั้นมีความต้านทานความร้อนต่ำซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะของปล่องระบายอากาศ ดังนั้นจึงได้แนะนำให้ใช้วัสดุฉนวนที่เคลือบผิวด้านนอกด้วยลูมิเนียมสะท้อนความร้อนมีค่าการต้านทานความร้อนรวมอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ $0.94 - 1.0 \text{ }^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$ แทนการใช้ม่านทั่วไปที่ทำมาจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ สามารถลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านในของม่านและอุณหภูมิห้องลงได้ $6 \text{ }^\circ\text{C}$

คำสำคัญ

การระบายอากาศ

ปล่องรังสีอาทิตย์

ความต้านทานความร้อน

ม่านสะท้อนความร้อน

Abstract

The high temperature of the curtain surface and the warm air in the gap between the glass and the curtain flows into the room. This research studies utilization of the air gap for ventilation to reduce room temperature. The thermal performance of dim-out, blackout and aluminum-coat reflective curtains, are studied. The curtain was installed at 14 cm from the glass pane to perform an inner wall of the air gap. There were two openings, one at the top of the glass to let warm air flowing out of the air gap and one opening at the bottom of the curtain to let room air flowing into the air gap. The results of ventilated air gap were compared with the closed air gap. For a constant solar intensity of 600 W/m^2 , the results showed that the surface temperature of the curtains with ventilated air gap is lower than those with closed air gap by $2.2 - 5.4 \text{ }^\circ\text{C}$. The surface temperature of aluminum-coat reflective curtains is lowest among three curtains. The surface temperatures of all curtains were $7.6 - 12.4 \text{ }^\circ\text{C}$ higher than room temperature because the hot air leaked through the cloth pores and flowed into the room. The typical curtain clothes with low thermal resistance affects the ventilation performance. Therefore, this research recommended insulation materials with thermal reflective coating on the outer surface for a widow curtain. The minimum thermal resistance of $0.94\text{-}1.0 \text{ }^\circ\text{Cm}^2 / \text{W}$ was suggested to reduce room air temperature by $6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Keywords

Ventilation

Solar Chimney

Thermal Resistance

Reflective Curtain

1. บทนำ

ห้องไม่ปรับอากาศในสภาวะภูมิอากาศร้อนชื้นที่มีการใช้งานในเวลากลางวัน เช่น ห้องนั่งเล่น ห้องทำงาน ห้องเก็บของนั้น จำเป็นต้องรักษาระดับอุณหภูมิในห้องให้สามารถใช้งานห้องได้ตามลักษณะของกิจกรรม การใช้ม่านกันผนังกระจก หน้าต่างกระจกมีส่วนช่วยรักษาระดับอุณหภูมิในห้องได้เนื่องจากสามารถกันรังสีอาทิตย์ไม่ให้เข้ามาในห้อง (Cengel & Ghajar, 2014) อย่างไรก็ตามม่านมีการดูดซับความร้อนไว้ในวัสดุจนมีอุณหภูมิสูง รวมทั้งการติดตั้งม่านที่มีช่องอากาศอาจทำให้ความร้อนไหลผ่านเข้ามาในห้อง ความหนาแน่นของเส้นใยและสีของผ้าม่านก็มีส่วนในการลดการดูดซับความร้อนและการซึมผ่านของอากาศภายในได้ รักษาระดับอุณหภูมิในห้องไม่ปรับอากาศ งานวิจัยนี้จึงจะศึกษาผลของการใช้ม่าน 3 ประเภทคือ ผ้าม่านตัดแสง ผ้าม่านทึบแสง และผ้าม่านสะท้อนความร้อน ต่อค่าอุณหภูมิผิวม่านและอุณหภูมิห้องทดลอง โดยนำหลักการชั้นอากาศร้อน (stack ventilation) มาใช้กับช่องอากาศระหว่างกระจกกับม่านเพื่อให้อากาศร้อนไหลออกไปจากห้อง ในการนำหลักการดังกล่าวมาใช้งานจำเป็นต้องเปิดช่องด้านบนของบานกระจกเพื่อให้เป็นทางออกของอากาศร้อน ในการทดลองการใช้ปล่องรังสีอาทิตย์ซึ่งใช้หลักการชั้นอากาศร้อนเช่นเดียวกัน พบว่าสามารถระบายอากาศได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเพิ่มปล่องระบายอากาศ นอกจากนี้การใช้ปล่องจำนวน 1 ปล่อง 2 และ 3 ปล่องสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องได้ 6% 10% และ 12% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศแบบไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ (Hassanein & Abdel-Fadeel, 2012) โดยพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะนิยมใช้แผ่นดูดซับความร้อนที่มีลักษณะทึบตันเพื่อรักษาความต่างของความดันภายในปล่องเพื่อเพิ่มการไหลของอากาศจากปล่องออกสู่ภายนอก ดังนั้นจึงต้องศึกษาถึงผลที่ได้จากการเปิดช่องเปิดดังกล่าวเปรียบเทียบกับกรณีติดตั้งม่านแบบทั่วไปที่ไม่มีการเปิดช่องเปิดด้วย

2. การทบทวนวรรณกรรม

ม่านหมายถึงเครื่องกันบัง โดยปกติทำด้วยผ้าใช้ห้อยกันห้องหรือประตูหน้าต่าง เป็นต้น (Office of the Royal Society, 2011) วัตถุประสงค์หลักในการใช้ม่านคือบังแสง กันความร้อนจากรังสีอาทิตย์และบังสายตาเพื่อความเป็นส่วนตัว ผ้าม่านบังแสงสามารถผลิตได้จาก

พอลิเอสเตอร์ ทอเป็นแผ่นสีเข้มและเคลือบเรซินเพื่อให้ได้ม่านทึบ กันแสงได้ดี (Inoue, 2015) ผ้าม่านกันความร้อนใช้หลักการสะท้อนความร้อนจากผิวที่เคลือบด้วยอลูมิเนียม ซึ่งมีสิทธิ์บัตร์ที่ยืนยันว่าสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 1.7 °C (Woodthanan, 2012) ผ้าม่านใช้สำหรับบังตาเป็นม่านตัดแสงนั้นมีความโปร่งมากกว่าผ้าม่านบังแสงซึ่งอาจผลิตได้จากผ้าเกือบทุกชนิด กระดาษ และพลาสติก เป็นต้น จากการสำรวจราคาผ้าม่านที่จำหน่ายอยู่พบว่าผ้าม่านสะท้อนความร้อนมีราคาสูงกว่าผ้าม่านประเภททึบแสงและผ้าม่านตัดแสง จึงทำให้ผู้ใช้งานอาคารเลือกใช้วัสดุประเภทอื่น ๆ ในการบังตาและกันแสงหรือใช้แผ่นพอลิเมอร์เคลือบอลูมิเนียมมาติดตั้งที่กระจกแทนการใช้ผ้าม่านเคลือบอลูมิเนียม การใช้งานม่านใด ๆ ก็ตามมีส่วนช่วยลดความร้อนและช่วยประหยัดพลังงานภายในห้องได้ 5 - 20% ในฤดูร้อนเนื่องจากลดการกระทบของรังสีอาทิตย์กับพื้นผิวภายในอาคารซึ่งจะเกิดเป็นภาระการปรับอากาศในอาคาร (Cengel & Ghajar, 2014) ผ้าโดยทั่วไปจะมีความบางและมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำเท่ากับ 0.015 - 0.058 °Cm²/W (Ongwuttivat, Sudprasert & Leephakpreeda, 2018) ส่งผลให้ม่านทั่วไปไม่ได้ช่วยกันความร้อน นอกจากนี้อากาศในช่องระหว่างกระจกกับม่านซึ่งสามารถนำหน้าที่เป็นฉนวนนั้นก็สามารถไหลผ่านเข้ามาในห้องได้ เนื่องจากการติดตั้งโดยการแขวนหรือห้อยโดยไม่ปิดช่องอากาศ ดังนั้นการนำหลักการของปล่องระบายอากาศโดยอาศัยชั้นอากาศจะกำหนดทิศทางให้อากาศร้อนไหลขึ้นและการเพิ่มช่องเปิดที่ด้านบนของหน้าต่างจะช่วยขับอากาศร้อนออกไปนอกห้องได้โดยจะมีอากาศในห้องไหลเข้าไปแทนที่ ซึ่งเป็นหลักการของปล่องรังสีอาทิตย์ (solar chimney) นั่นเอง

ในประเทศไทยมีการศึกษาปล่องรังสีอาทิตย์มาโดยตลอดและพบว่ามีศักยภาพในการระบายอากาศได้ดี โดยการติดตั้งปล่องบนหลังคา (Khedari, Hirunlabh & Bunnag, 1997) และผนังอาคาร โดยจะสามารถระบายอากาศได้ดีที่สัดส่วนความสูงต่อความกว้างปล่องเท่ากับ 14:1 (Sudprasert & Luukkanen, 2017) การใช้งานผ้าม่านเกล็ดแนวตั้งในปล่องระบายอากาศพบว่าสามารถลดความร้อนลงได้ 14.2% เมื่อเทียบกับการใช้งานม่านเกล็ดแนวตั้งที่ไม่มีปล่องระบายอากาศ (Chantawong, 2012) งานวิจัยนี้ใช้ม่านเป็นผนังปล่องจึงแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้า (Chantawong, 2012) ที่ติดตั้งม่านเกล็ดแนวตั้งเข้าไปกลางปล่อง ประสิทธิภาพการระบายอากาศของปล่องรังสีอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น ความเข้มรังสี

อาทิตย์ มุมเอียงของปล่อง ความสูงปล่อง พื้นที่ช่องเปิด สมบัติเชิงความร้อนวัสดุผนังปล่องภายนอกและภายใน (Shi, Zhang, Yang, Huang, Cheng & Setunge, 2018) ดังแสดงได้ตามสมการที่ 1 ดังต่อไปนี้ (Bansal, Mathur & Bhandari, 1993)

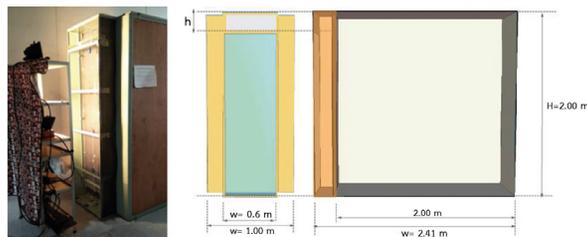
$$\dot{Q} = A_0 C_D \sqrt{\frac{2gL \sin \theta \frac{(T_o - T_i)}{T_i}}{1 + A_r^2}} \quad (1)$$

โดยที่ \dot{Q} คืออัตราไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/s) C_D คือค่า Discharge Coefficient ของปล่อง A_0 คือพื้นที่ช่องเปิด (m^2) g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก L คือความยาวของปล่อง (m) θ คือมุมเอียงของปล่อง T_i คืออุณหภูมิอากาศทางเข้าปล่อง (K) T_o คืออุณหภูมิอากาศทางออกปล่อง (K) และ A_r คือสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทางออกต่อทางเข้าปล่อง งานวิจัยนี้จะดำเนินการทดลองในกล่องทดลองซึ่งมีช่องเปิดทางเข้า-ออกขนาดเท่ากัน ปล่องแนวตั้งมีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างคงที่เท่ากับ 14:1 ผนังภายนอกเป็นกระจกใสหนา 0.004 m ส่วนผนังภายในจะติดตั้งม่าน 3 ชนิดสำหรับเป็นกรณีศึกษา ผลการศึกษาวิจัยจะสามารถนำไปสู่ข้อแนะนำในการใช้ม่านและปล่องระบายอากาศสำหรับลดอุณหภูมิภายในห้องไม่ปรับอากาศ

3. วิธีการวิจัย

3.1 กล่องทดลอง

กล่องทดลองประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนที่ 1 กล่องทดลอง ขนาด กว้าง 1.00 เมตร ยาว 2.00 เมตร สูง 2.00 เมตร โครงทำจากเหล็กกล่องผนังกรุด้วยไม้อัด ส่วนที่ 2 ปล่องรังสีอาทิตย์ ขนาดกว้าง 0.20 เมตร ยาว 0.60 เมตร สูง 2.00 เมตร โครงทำจากเหล็กฉาก เชื่อมต่อกับสกรูกรุด้วยกระจกเทมเปอร์หนา 4 มิลลิเมตร การวิจัยนี้ใช้หลอดฮาโลเจน 500 W จำนวน 4 ดวงโคมเป็นรังสีอาทิตย์จำลอง ซึ่งให้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่ที่ 600 W/m^2 เมื่อวัดที่แผ่นกระจก รูปที่ 1 แสดงการทดลองใช้รังสีอาทิตย์จำลอง และขนาดของกล่องทดลองในงานวิจัยนี้



รูปที่ 1 ลักษณะของกล่องทดลอง (Characteristics of the experimental box)

3.2 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

ค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองและปล่องระบายอากาศใช้เครื่อง Kestrel DROP ประเภท sensor ตรวจจับค่าอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ที่มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ถึง 55 องศาเซลเซียส ค่าความแม่นยำ ± 0.5 อุณหภูมิผิวกล่องทดลองวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด แบบไม่สัมผัส ใช้ Thermocouple type k ค่าความแม่นยำ ± 0.5 องศาเซลเซียสวัดอุณหภูมิผิว ความเข้มรังสีอาทิตย์ (W/m^2) ใช้เครื่อง Lt-Lutron รุ่น SPM-116SD ค่าความแม่นยำ 10 วัตต์ต่อตารางเมตรหรือ 5% ของค่าที่อ่านได้ อุปกรณ์วัดความเร็วลมได้แก่เครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire ยี่ห้อ TESTO รุ่น 435-2 ความเร็วลม 0 ถึง 20 เมตร/วินาที ค่าความละเอียด 0.01 เมตร/วินาที โดยเครื่องมือทั้งหมดได้รับการสอบเทียบแล้วก่อนจะนำมาใช้ในงานทดลอง

3.3 ม่าน

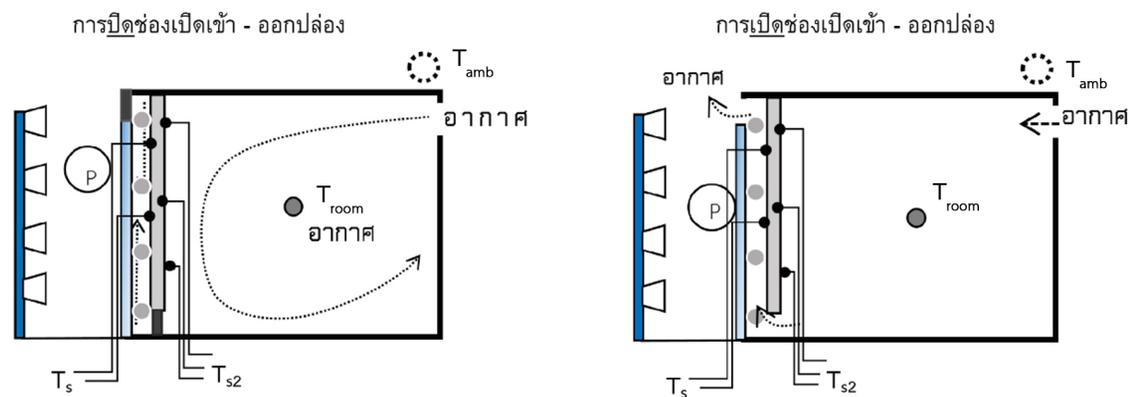
ม่านที่ใช้ในการทดลองคัดเลือกจากม่านที่แสงสามารถผ่านตัวม่านเข้ามายังภายในได้ มีความหนาที่ใกล้เคียงกัน และมีความเข้มของสีใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 1

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย การติดตั้งม่านในกล่องทดลองโดยซึ่งให้ตั้งที่ระยะ 0.14 m จากแผ่นกระจก การติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 2 ประกอบด้วย การวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิอากาศปล่องรังสีอาทิตย์ 4 จุด ($T_{a1}, T_{a2}, T_{a3}, T_{a4}$) อุณหภูมิอากาศในกล่องทดลอง 1 จุด (T_{room}) อุณหภูมิอากาศนอกกล่องทดลอง 1 จุด (T_{amb}) อุณหภูมิผิวม่านภายนอกและภายใน 2 จุด (T_{s1}, T_{s2}) การเก็บข้อมูลในงานวิจัยเริ่มด้วยการเปิดไฟเพื่อให้แสงอาทิตย์จำลองที่ 600 W/m^2 เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศให้บันทึกอุณหภูมิผิวทุก ๆ 15 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง การทดลองประกอบด้วย 1) ทดลองการปิดปล่อง ไม่มีอากาศไหลจากภายในห้อง

ตารางที่ 1 ลักษณะของม่านและคุณสมบัติการผ่านของแสงที่ใช้ในการทดลอง 3 ประเภท (Curtain characteristics and light transmission properties used in 3 types of experiments)

	ม่านตัดแสง (Dim-out)	ม่านทึบแสง (Black-out)	ม่านสะท้อนความร้อน (Reflect)
ลักษณะของผ้า			
คุณสมบัติการผ่านของแสง (ภาพถ่ายจากด้านใน)	ตัดแสง 	กันแสงได้ 	แสงสว่างเข้าได้ 



- (P) Pyranometer วัดความเข้มรังสีเฉลี่ย 600 W/m^2 บนผนังกระจก
- อุณหภูมิอากาศในปล่อง T_{a1} T_{a2} T_{a3} T_{a4}
- อุณหภูมิอากาศในห้อง T_{room}
- อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง T_{amb}
- อุณหภูมิผิวม่าน T_{s1} T_{s2}

รูปที่ 2 การบันทึกข้อมูลในกล่องทดลอง (Data recording of experimental box)

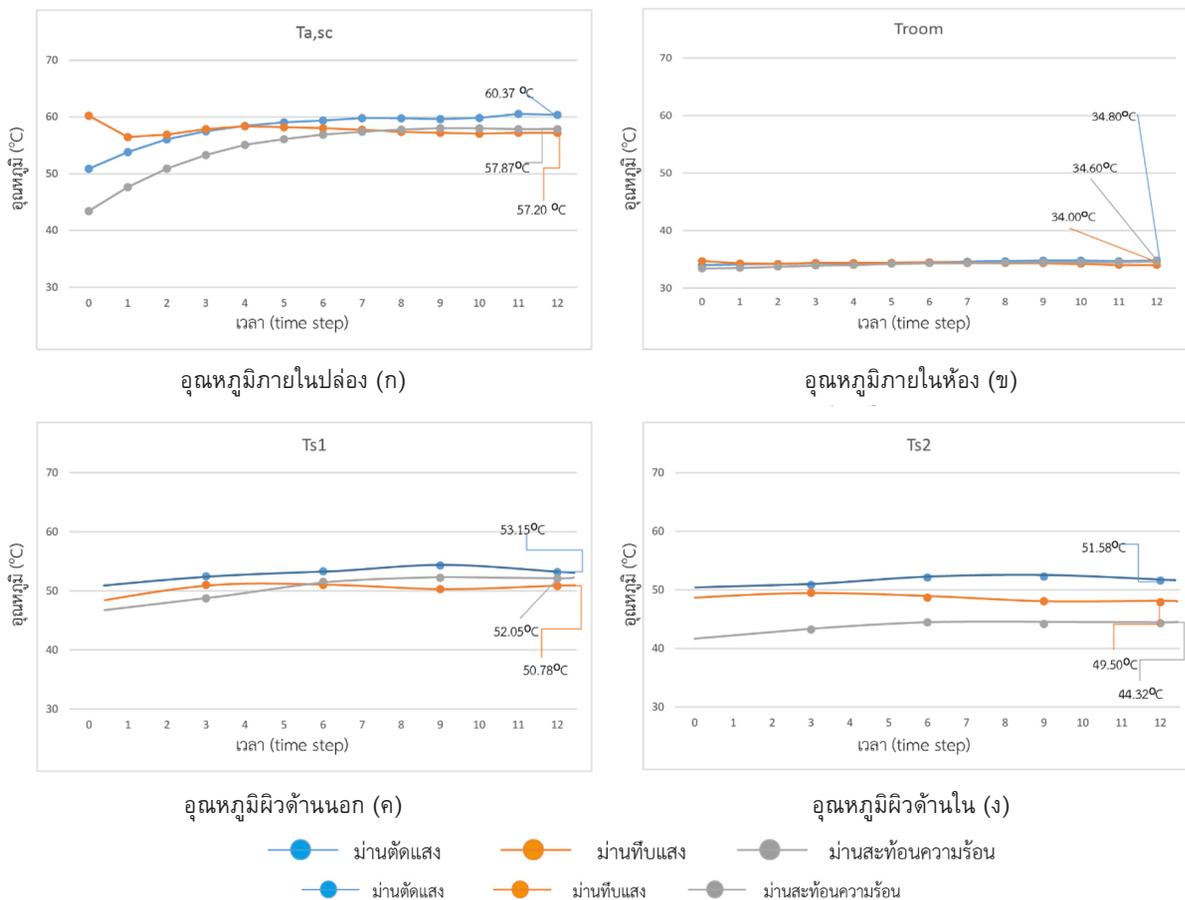
และจากปล่องออกสู่ภายนอก ทดลองผ้าม่านที่ละประเภท จนครบ 3 ประเภท 2) การทดลองการเปิดปล่องระบายอากาศ เพื่อให้อากาศสามารถไหลออกสู่ภายนอก ทดลองผ้าม่านที่ละประเภทจนครบ 3 ประเภท และทดลองใช้แผ่นไม้อัดซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่มีอากาศร้อนซึมผ่านในเพิ่มอีก 1 ประเภทเพื่อนำ

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวเมื่อปิดปล่อง

รูปที่ 3 แสดงผลการทดลองเมื่อปิดช่องเปิดปล่องระบายอากาศ ผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวม่านค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 40 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในปล่อง ($T_{a,sc}$) และอุณหภูมิผิวม่าน (T_{s1} , T_{s2}) ของม่านตัดแสงมีค่าสูง

ที่สุด รองลงมาคือม่านทึบแสงและม่านสะท้อนความร้อน อุณหภูมิอากาศในห้อง (T_{room}) มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (T_{amb}) โดยมีค่าระหว่าง 34.0 – 34.8 °C จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิผิวด้านในของผ้าม่านมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในห้องมากถึง 16.8 °C ดังเช่นในกรณีม่านตัดแสงที่อุณหภูมิผิวด้านในของม่านสูงถึง 51.6 °C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศในห้องอยู่ที่ 34.8 °C แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงนั้นผ้าม่านยังคงป้องกันไม่ให้อากาศร้อนไหลเข้ามาในห้องได้ อย่างไรก็ตามผิวผ้าม่านที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนเข้ามาภายในห้องทำให้ผู้ใช้งานในห้องรู้สึกร้อน เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นการให้รังสีอาทิตย์ค่าเดิมจะทำให้อากาศในห้องและพื้นผิวในห้องจะค่อย ๆ ร้อนขึ้น จากผลการทดลองนี้จะพบว่าผิวด้านในของผ้าม่านสะท้อนความร้อนมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าม่านตัดแสงและทึบแสง

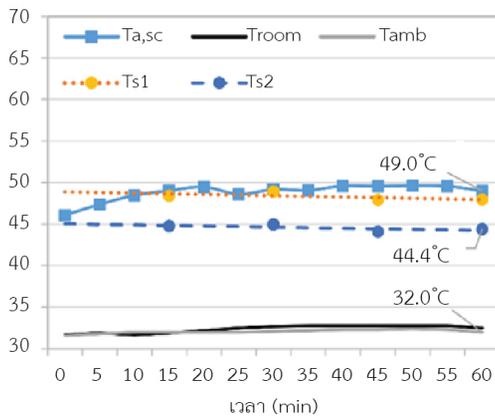


รูปที่ 3 ผลการทดลองเมื่อปิดปล่องระบายอากาศที่ใช้ม่านเป็นผนังภายใน (The results of the experiment when the ventilation chimney was closed with the curtain as the interior wall)

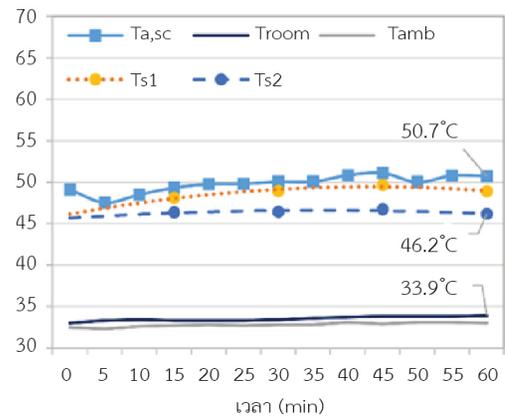
4.2 อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวเมื่อเปิดปล่อง

เมื่อเปิดช่องเปิดที่ด้านล่างและด้านบนของปล่องระบายอากาศจะพบว่าอุณหภูมิอากาศในปล่อง อุณหภูมิผิวผาน และอุณหภูมิอากาศในห้องมีค่าลดลงดังรูปที่ 4 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในปล่องมีค่าประมาณ 50 °C อุณหภูมิผิวผานภายใน 42.1 – 46.2 °C และอุณหภูมิอากาศในห้องอยู่ที่ 32.0 – 34.5 °C ในกรณีผานตัดแสงและผานทึบแสงอุณหภูมิผิวผานนอกมานั้นมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในปล่อง ในกรณีผานสะท้อนความร้อนนั้น อุณหภูมิผิวผานนอกของผานมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอย่างเห็นได้ชัดถึง 5 – 6 °C ดังนั้นการใช้ผานสะท้อนความร้อนส่งผลดีต่อการลดอุณหภูมิผิวของตัวผาน ซึ่งจะลดการแผ่รังสีความร้อนเข้ามาภายในห้องด้วย อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่ใช้ผานสะท้อนความร้อนมีค่าสูงกว่าผานชนิดอื่นประมาณ 0.6 – 2.5 °C

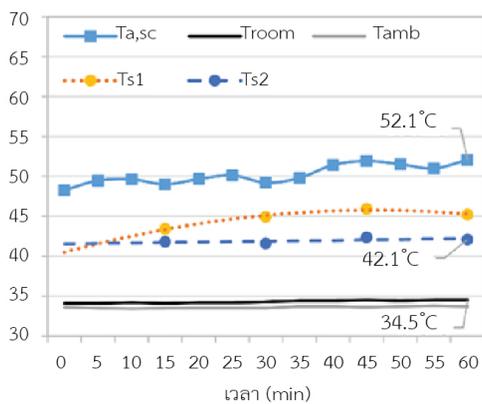
ซึ่งอาจเกิดจากผานผ่านสะท้อนความร้อนในงานวิจัยนี้มีเนื้อผ้าโปร่งทำให้อากาศร้อนทะลุผ่านรูผานเข้ามาในห้องได้มากกว่าผานทึบแสงที่เส้นใยผ้าหนาแน่นกว่า การทดลองใช้ไม้อัดหนา 4 mm ทาสีดำเป็นผนังภายในของปล่องระบายอากาศใช้เวลาในทดลองให้รังสีอาทิตย์จำลอง 600 W/m² ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ตามรูปที่ 4 เช่นเดียวกับผานผาน การทดลองใช้ไม้อัดนี้เป็นการทดลองปล่องรังสีอาทิตย์แบบต้นฉบับที่ใช้วัสดุแผ่นไม้รั้วซิมมาเป็นผนังภายในของปล่อง จากรูปที่ 4(ง) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิผิวของไม้อัดทาสีดำมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในปล่อง ดังนั้นจะมีการถ่ายเทความร้อนจากผิวมาสู่อากาศแม้ว่าจะมีการไหลของอากาศที่เย็นกว่าเข้ามาแทนที่ภายในปล่อง เป็นการรักษาระดับของอุณหภูมิอากาศที่จุดใด ๆ ในปล่องได้ดีกว่าการใช้ผานผาน



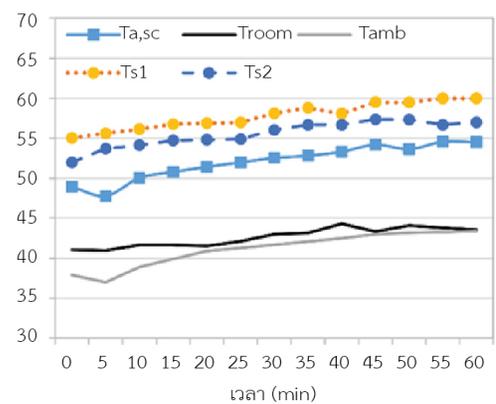
(ก) ผานตัดแสง



(ข) ผานทึบแสง



(ค) ผานสะท้อนความร้อน

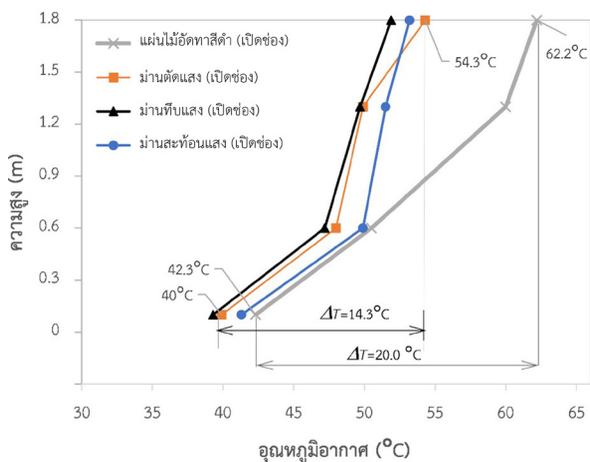


(ง) ผ่านไม้ทึบแสง

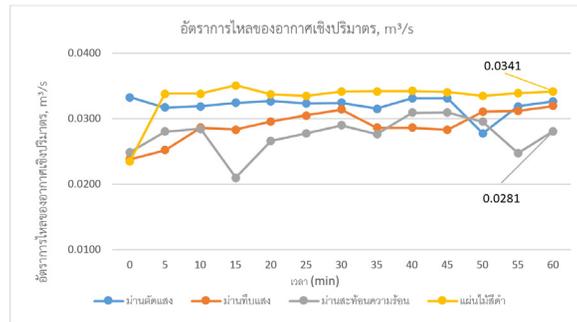
รูปที่ 4 ผลการทดลองเมื่อเปิดปล่องระบายอากาศ
(Experimental results when opening the ventilation chimney)

4.3 ผลการระบายอากาศเมื่อเปิดปล่อง

ตามสมการที่ 1 อัตราการระบายอากาศออกจากปล่องขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศทางเข้าและออกจากปล่อง และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในปล่อง รูปที่ 5 แสดงค่าอุณหภูมิที่ระดับความสูงต่างๆ ในปล่องผลการทดลองแสดงว่าอากาศทางเข้าออกจากปล่องที่ใช้ไม้อัดเป็นผนังภายในมีความแตกต่างกันมากที่สุดถึง 20.7 °C สำหรับปล่องที่ใช้ผ้ามันดัดแสงมีความแตกต่างอุณหภูมิทางออก-เข้า (ΔT) มากที่สุดเท่ากับ 14.2 °C รองลงมาคือปล่องที่ใช้ผ้ามันทึบแสง $\Delta T = 12.6$ °C และผ้ามันสะท้อนความร้อน $\Delta T = 11.9$ °C ตามลำดับ ดังนั้นการใช้ผ้ามันเป็นผนังภายในให้ผลในการระบายอากาศใกล้เคียงกันอยู่ที่ 0.0281, 0.0319, 0.0326 m³/s และจะมีอัตราการระบายอากาศน้อยกว่าการใช้ผนังไม้อัดทาสีดำ ที่มีค่า 0.0341 m³/s ดังรูปที่ 6 ค่าขนาดจากสมการที่ 1 โดยมีค่า CD เท่ากับ 0.4 (Chungloo & Limmeechokchai, 2007) และการใช้ผ้ามันสะท้อนความร้อนที่มีการเคลือบอลูมิเนียมจะให้อัตราการระบายอากาศน้อยลง แต่ก็จะให้ผลด้านการลดอุณหภูมิด้วยดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อน การใช้ผ้าเป็นผนังภายในอาจจะเกิดการรั่วซึมของอากาศระหว่างภายในปล่องกับภายในห้องส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิทางออก-เข้ามีค่าน้อยกว่าการใช้ผนังไม้อัดที่ทึบตัน



รูปที่ 5 อุณหภูมิอากาศที่ระยะความสูงต่าง ๆ ในปล่องระบายอากาศ (Air temperature at different heights in the ventilation chimney)



รูปที่ 6 อัตราการไหลของอากาศเชิงปริมาตร (Volumetric air flow rate)

4.4 วิเคราะห์ความต้านทานความร้อนของม่านที่ควรใช้

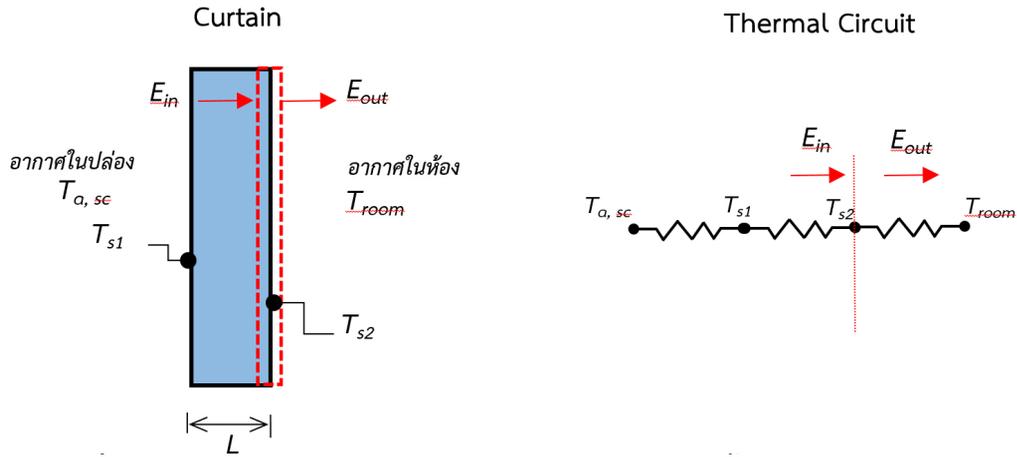
จากการศึกษาอุณหภูมิผิวของม่านจะพบว่าอุณหภูมิผิวภายในม่านมีค่าสูง 50 - 55 °C เมื่อปิดปล่องระบายอากาศ และเมื่อเปิดปล่องระบายอากาศที่อุณหภูมิผิวม่านจะอยู่ที่ 42 - 46 °C ซึ่งยังคงมีค่าสูงส่งผลให้เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวภายในห้องก็จะมีค่าสูงขึ้นอีกด้วย ดังนั้นในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์หาค่าความต้านทานความร้อนของม่าน $R_{curtain}$ ที่ควรนำมาใช้งานโดยคำนึงถึงความต้านทานความร้อนที่มากพอที่จะทำให้อุณหภูมิผิวม่านมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (T_{amb}) ซึ่งค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในงานวิจัยนี้มีค่าประมาณ 35 °C รูปที่ 7 แสดงแผนภาพของการถ่ายเทความร้อนแบบคงตัว 1 มิติผ่านผ้าม่านที่มีความหนา L (m) ทำจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน k (W/mK) สมการสมดุลความร้อนที่ผิวด้านในของผ้าม่านในกรอบเส้นประหาได้จากพลังงานความร้อนไหลเข้ากรอบ (E_{in} , W/m²) เท่ากับพลังงานความร้อนไหลออกจากกรอบ (E_{out} , W/m²) ดังสมการที่ 2

$$E_{in} = E_{out} \quad (2)$$

โดยที่ E_{in} หาได้จาก

$$E_{in} = \frac{T_{a,sc} - T_{s2}}{\sum R_{curtain}} \quad (3)$$

โดย $T_{a,sc}$ คือ อุณหภูมิอากาศภายในปล่องอากาศ
 T_{s2} คือ อุณหภูมิผิวม่านภายใน



รูปที่ 7 แผนภาพการถ่ายเทความร้อนคงตัวผ่านม่านในงานวิจัยนี้ (The diagram of steady heat transfers through curtain in this research)

โดยที่ $R_{curtain}$ คือความต้านทานความร้อนรวมคิดจากความต้านทานความร้อนฟิล์มอากาศที่ผิวม่านภายนอก+ค่าความต้านทานความร้อนของม่าน ดังนี้

$$\sum R_{curtain} = \frac{1}{h_i} + \frac{L}{k} \quad (4)$$

โดย k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของม่าน
 h_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของฟิล์มอากาศ
 L คือ ความหนาของม่าน

E_{out} หาได้จาก

$$E_{out} = h_o (T_{s2} - T_{room}) \quad (5)$$

โดยที่ h_o คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่ขอบด้านพลังงานไหลออก เมื่อพลังงานไหลเข้าเท่ากับพลังงานไหลออก จะได้ว่า สมการที่ 3 เท่ากับสมการที่ 5 :

$$\frac{T_{a,sc} - T_{s2}}{\sum R_{curtain}} = h_o (T_{s2} - T_{room}) \quad (6)$$

ค่า h_o จะหาได้จาก

$$h_o = \frac{k_{a,room}}{H} Nu \quad (7)$$

ซึ่ง $k_{a,room}$ คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศในห้องมีค่าประมาณ $0.02625 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$ ที่อุณหภูมิ 35 °C
 Nu คือเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number) หาได้จากเลขเรย์ลี (Rayleigh number, Ra) สำหรับผนังตั้งที่มีการพาความร้อนแบบอิสระที่ผิว (Cengel & Ghajar, 2014) เลขนัสเซลท์คำนวณจาก

$$Nu = 0.59 Ra^{1/4} \quad (8)$$

ซึ่งเลขเรย์ลีหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างอุณหภูมิผิวกับอุณหภูมิอากาศ ($T_{s2} - T_{room}$) ความสูงของผนัง (H) สัมประสิทธิ์การขยายตัว (Expansion coefficient, β) ความเร่งโน้มถ่วง (g) ความหนืดสถิตย์ของอากาศ (Kinematic viscosity, ν) และเลขพรันด์เทิล (Prandtl number, Pr) ดังนี้

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{s2} - T_{room}) \cdot H^3}{\nu^2} \cdot Pr \quad (9)$$

เมื่ออุณหภูมิผิวม่านด้านในแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศในห้อง ($T_{s2} - T_{room}$) ประมาณ 12.3 °C (249.3 K) ความสูงผนัง $H=2 \text{ m}$ สัมประสิทธิ์การขยายตัวของอากาศ $\beta=0.00320 \text{ (K}^{-1}\text{)}$ ความเร่งโน้มถ่วง $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ความหนืดสถิตย์อากาศเท่ากับ $\nu = 1.691 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ และเลข $Pr=0.727$ สำหรับอากาศที่อุณหภูมิ 35 °C แทนค่าลงในสมการที่ 9 จะได้เลขเรย์ลี $Ra= 7.84 \times 10^9$ ซึ่งสามารถใช้สมการที่ 8 คำนวณหาค่าเลขนัสเซลท์ได้เท่ากับ 175.6

จากนั้นแทนค่า Nu ค่า $k_{a,room}$ และ ความสูงผนัง (H) ลงไปในสมการที่ 7 จะได้ค่า $h_o = 2.30 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ เมื่อแทนค่า h_o ลงในสมการที่ 6 จะได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 2 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานความร้อนของผ้าม่านที่ใช้ในงานวิจัยนี้ซึ่งมีค่าประมาณ 0.16 - 0.64 $^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$ ผ้าม่านสะท้อนความร้อนจะให้ผลการคำนวณความต้านทานความร้อนสูงกว่าผ้าม่านชนิดอื่นเล็กน้อย

ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของม่านที่ควรใช้นั้น จะกำหนดให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวม่านด้านในกับในห้องลดลงเป็น 6 $^\circ\text{C}$ ดังตารางที่ 3 ซึ่งจะส่งผลให้ค่า $\Sigma R_{curtain}$ ที่ต้องเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ได้แสดงว่าต้องใช้วัสดุที่มีค่า $\Sigma R_{curtain}$ ระหว่าง 0.94 - 1.0 $^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$ ในการป้องกันความร้อน คิดเป็นการเพิ่มความต้านทานความร้อน 5.9 เท่าของผ้าม่านทั่วไป และคิดเป็น 1.6 เท่าของผ้าม่านที่เคลือบผิวสะท้อนความร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงแนะนำเลือกใช้ม่านที่ทำจากวัสดุฉนวนที่ปิดผิวหรือเคลือบผิวสะท้อนความร้อน

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานความร้อนของม่าน ($\Sigma R_{curtain}$) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (The thermal resistance analysis result of curtain ($\Sigma R_{curtain}$) used in this research)

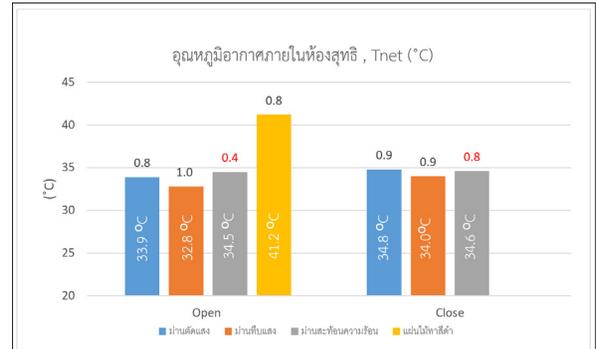
วัสดุผ้าม่าน	อุณหภูมิอากาศในปล่อง $T_{a,sc}$ ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิผิวม่านด้านใน (เดิม) T_{s2} ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง (เดิม) T_{room} ($^\circ\text{C}$)	$T_{a,sc} - T_{s2}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{s2} - T_{room}$ ($^\circ\text{C}$)	Ra	h_o	$\Sigma R_{curtain}$ ($^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$)
พอลิเอสเตอร์	50.7	46.2	33.9	4.5	12.3	7.84×10^9	2.30	0.16
พอลิเอสเตอร์	49	44.4	32	4.6	12.4	7.95×10^9	2.31	0.16
พอลิเอสเตอร์ + สะท้อนความร้อน	52.1	42.1	34.5	10	7.6	4.87×10^9	2.05	0.64

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานความร้อนของม่าน ($\Sigma R_{curtain}$) ที่ควรใช้เพื่อลดอุณหภูมิผิวด้านใน (The thermal resistance analysis result of curtain ($\Sigma R_{curtain}$) should be used to reduce the inner surface temperature)

อุณหภูมิอากาศในปล่อง $T_{a,sc}$ ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิผิวม่านด้านใน (ปรับปรุง) T_{s2} ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง (เดิม) T_{room} ($^\circ\text{C}$)	$T_{a,sc} - T_{s1}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{a,sc} - T_{s2}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{s2} - T_{room}$ ($^\circ\text{C}$)	Ra	h_o	$\Sigma R_{curtain}$ ($^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$)
50.7	39.9	33.9	1.8	10.8	6	3.76×10^9	1.917	0.94
49	38	32	1.05	11.0	6	3.78×10^9	1.920	0.96
52.1	40.5	34.5	6.88	11.6	6	3.75×10^9	1.916	1.01

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ทดลองสมรรถนะทางความร้อนของผ้า ม่านบังแดดที่ผนังกระจก 3 ประเภทคือ ผ้าม่านตัดแสง ผ้าม่านทึบแสงและผ้าม่านสะท้อนความร้อน การศึกษาใช้ การเปรียบเทียบระหว่างการไม่ใช้และการใช้ช่องอากาศ ระหว่างผ้าม่านกับกระจกเป็นปล่องระบายอากาศต่อการ ลดอุณหภูมิผิวและอุณหภูมิอากาศ ปล่องระบายอากาศ สามารถระบายอากาศออกได้เองโดยอาศัยความแตกต่าง อุณหภูมิระหว่างช่องเปิดเข้า-ออกปล่องตามหลักการของ ปล่องรังสีอาทิตย์ ผลการวิจัยพบว่าผ้าม่านที่ติดตั้งโดย ให้มีระยะห่างจากกระจก 14 cm ที่ไม่ได้มีการระบายอากาศ ระหว่างกระจกกับม่านจะมีอุณหภูมิอากาศในปล่องและ ผิวผ้าม่านสูงถึง 52 °C และ 42 °C ตามลำดับ ผ้าม่านที่มีการ เคลือบผิวด้านนอกด้วยอลูมิเนียมจะมีค่าอุณหภูมิผิว ด้านในต่ำกว่าผ้าม่านชนิดอื่น ๆ 3.6 – 7.3 °C เมื่อมีการ เปิดช่องเปิดที่ด้านบนกระจกและที่ด้านล่างของผ้าม่านจะ ทำให้อุณหภูมิผิวผ้าม่านลดลงเป็น 42.1 – 46.2 °C โดย ผ้าม่านที่มีการเคลือบผิวด้านนอกด้วยอลูมิเนียมจะมีค่า อุณหภูมิผิวด้านในต่ำกว่าผ้าม่านชนิดอื่น ๆ 2.3 – 4.6 °C การเปิดปล่องระบายอากาศมีส่วนช่วยลดอุณหภูมิผิวผ้า ม่านลงได้เนื่องจากมีอากาศร้อนไหลออกไปจากช่อง อากาศและมีอากาศในห้องไหลเข้าไปแทนที่ อุณหภูมิห้อง มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมนอกห้องเนื่องจาก มีอากาศไหลเข้ามาทดแทนในห้องตลอดเวลา ดังภาพที่ 8 แสดงถึงอุณหภูมิสุทธิ คัดจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ภายในห้องกับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่องในเวลานั้นๆ พบว่าอุณหภูมิสุทธิอากาศภายในห้องในกรณีใช้ม่าน สะท้อนความร้อนแบบเปิดช่องอากาศมีอุณหภูมิต่ำ กว่ากรณีอื่น ๆ อยู่ที่ 0.4 °C เมื่อเทียบกับอากาศภายนอก จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในห้องมีค่า ใกล้เคียงกับอากาศภายนอกซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่า อุณหภูมิภายในห้อง ในกรณีที่เปิดช่องอากาศ อากาศ ภายนอกจะไหลเข้ามาทดแทนอากาศภายในห้องทำให้อุณหภูมิตั้งต้นของอากาศภายในห้องจะมีค่าใกล้เคียงกับ ภายนอก แต่ในกรณีที่ปิดช่องอากาศภายในห้องจะ เพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนที่ถูกสะสมบริเวณตัวม่านและ ผังของกล่องทดลองที่ไม่สามารถระบายออกไปภายนอก ได้ ดังนั้นการใช้ช่องอากาศระหว่างกระจกเป็นปล่องระบาย อากาศร้อนสามารถใช้งานได้



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องสุทธิ ในกรณี เปิดและปิดช่องอากาศ ของม่านทั้ง 3 ชนิดและแผ่นไม้ทาสีดำ (The net room air temperature comparison in the case of opening and closing ventilation chimney of all 3 types of sheet)

ในการวิเคราะห์อุณหภูมิภายในห้อง (T_{room}) พบว่า อุณหภูมิผิวของม่าน คุณสมบัติทางความร้อนและลักษณะ ของผิววัสดุที่นำมาทำม่าน ส่งผลให้เกิดการสะสมของ ความร้อนบริเวณผิวม่านทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน สู่อากาศในห้อง จากการทดลองพบว่า การเปิดช่องอากาศ ร่วมกับผนังไม้้อัดทาสีดำที่ติดตั้งมีอัตราการระบายอากาศ 0.0341 m³/s ซึ่งสูงกว่าม่านสะท้อนความร้อนที่ผิวด้านนอก เคลือบอลูมิเนียมซึ่งคุณสมบัติสะท้อนความร้อนก่อนจะ ถูกดูดซับ ม่านทึบแสง ม่านตัดแสง มีค่าอัตราการระบาย อากาศ 0.0281, 0.0319, 0.0326, m³/s ซึ่งน้อยกว่าผนัง ไม้ทาสีดำที่ติดตั้ง 17%, 6%, 4% ตามลำดับ ผลของการ ระบายอากาศดังกล่าวส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในที่ค่า ใกล้เคียงกับการปิดช่องอากาศโดยคิดเป็นอุณหภูมิสุทธิ ต่างกันเพียง 0.1 °C ซึ่งจากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า อากาศร้อนภายในปล่องไหลเข้ามาในในห้อง พบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในปล่องและ อุณหภูมิในห้องการใช้ม่านตัดแสง ม่านทึบแสง มีค่าต่าง กัน 16 °C ม่านสะท้อนความร้อน มีค่าต่างกัน 15 °C

ดังนั้นการเลือกวัสดุใช้ทำม่านควรมีค่าการต้าน ความร้อน (R) ที่มีค่าสูง มีคุณสมบัติในการดูดซับความ ร้อนต่ำ ส่วนลักษณะของผ้าม่านควรมีลักษณะที่ติดตั้งมี รูพรุนน้อย การติดตั้งผ้าม่านควรปิดม่านให้สนิทเพื่อลดการ ไหลผ่านของอากาศร้อนเข้าสู่ภายในห้อง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้จะสำเร็จไม่ได้หากขาดการแนะนำของ รองศาสตราจารย์อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทสพล เขตเจนการ และนายวรัช ปิ่นปิติ ที่ให้ความช่วยเหลือ

ให้คำปรึกษาและมอบความรู้ด้านวิชาการ ตลอดจนแนวคิดทางด้าน สถาปัตยกรรม โอกาสในการศึกษาโปรแกรมพลังงาน EnergyPlus 8.4v โดยผลงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนทุนการวิจัย ประเภททุนวิจัยทั่วไป สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตามสัญญาเลขที่ TUGG 30/2562 และงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประเภททุนวิจัยเพื่อพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ เลขที่สัญญา TUIN 5/2562

References

- Bansal, N. K. Mathur, R., & Bhandari, M. S. (1993). Solar chimney for enhanced stack ventilation. *Building and Environment*, 373-377.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2014). *Heat and Mass Transfer*. Singapore: McGraw-Hill.
- Chantawong, P., Ungkoon, Y., Vimanja, V., Sotprawati, B., Chumchan, C., Krasaelom, N., Phuetsaka, P., Saengviroon, P., Thantong, P., Sompat, K., Aranyik, P., & Thepwacharakarun, M. (2012). Natural Ventilation of House Models Utilizing Glazed Solar Chimney Walls with Vertical Blinds for the Hot Humid Climate of Bangkok. *The Journal of KMUTNB*, 22(3).
- Chungloo, S., & Limeechokchai, B. (2007). Application of passive cooling systems in the hot and humid climate: The case study of solar chimney and wetted roof in Thailand. *Building and Environment*, 42, 3341-3351.
- Hassanein, S. A., & Abdel-Fadeel, W. A. (2012). Improvement of Natural Ventilation in Building Using Multi Solar Chimneys at Different Directions. *Journal of Engineering Sciences, Assiut University*, 40(6), 1661-1677.
- Inoue, K. (2015). *Specification of the blackout curtain*. Retrieved from <https://www.scientex.co.jp/english/blackoutcurtain.html>
- Khedari, K., Hirunlabh, J., & Bunnag T. (1997). Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new houses. *Energy and Buildings*, 159-164.
- Office of the Royal Society. (2011). *Royal Institute Dictionary*. Bangkok: Office of the Royal Society.
- Ongwuttivat, K., Sudprasert, S., & Leephakpreeda, T. (2018). Determination of human thermal comfort due to moisture permeability of clothes. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 462-476.
- Shi, L., Zhang, G., Yang, W., Huang, D., Cheng, X., & Setunge, S. (2018). Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 223-238.
- Sudprasert S., & Luukkanen J. (2017). Comparison of Ventilation with Moist and Dry Air in the Room Connecting to a Solar Chimney. *BUILT: International Journal of Building, Urban, Interior and Landscape Technology*, 8-15.
- Woodthanan, S. (2012). *The production process for energy-saving curtains and curtains obtained from this*