

## พัฒนาระบบผนังน้ำหมุนเวียนเพื่อลดการสะสมความร้อนภายในอาคาร

สุคนธ์รินทร์ เพชรรัตน์<sup>1</sup> รุ่งอรุณ บุญถ่าน<sup>2</sup> และปรกรณ์ภัทร บุตชา<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

องครักษ์ นครนายก 26120; <sup>2</sup> 93 หมู่ 15 ตำบลตะเคียน ตำบลขุนทด นครราชสีมา 30210;

<sup>3</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ นครนายก 26120

\*E-mail: sudniran@swu.ac.th

รับบทความ: 6 พฤษภาคม 2565 แก้ไขบทความ: 8 กุมภาพันธ์ 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 27 กุมภาพันธ์ 2566

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบผนังน้ำหมุนเวียนในการลดการสะสมความร้อนภายในอาคาร โดยสร้างอาคารจำลองขนาด 60×60×80 ซม. ด้วยคอนกรีตมวลเบา ติดตั้งระบบน้ำหมุนเวียนด้วยการฝังท่อทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3/8 นิ้ว ในชั้นปูนฉาบของผนังภายนอก เปิดระบบน้ำหมุนเวียนเวลา 09:00–16:30 น. บันทึกอุณหภูมิตลอดทั้งวัน เปรียบเทียบอุณหภูมิกับผนังปกติ วิเคราะห์ด้วยการทดสอบแบบจับคู่ด้วยสถิติที ค่าพหุคูณการถ่ายเทความร้อนและวิเคราะห์ต้นทุนค่าก่อสร้างผนังกับการลดรายจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศ ผลการวิจัย พบว่า การประยุกต์ใช้ระบบผนังน้ำหมุนเวียนช่วงเวลา 09:00–16:30 น. มีประสิทธิภาพในลดความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยลดอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวผนังด้านในร้อยละ 3.69 ลดค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยร้อยละ 32.43 ทั้งนี้ผนังน้ำหมุนเวียนมีต้นทุนค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นร้อยละ 34.20 การสร้างอาคารที่ติดตั้งระบบผนังน้ำหมุนเวียนที่ผนังภายนอกในทิศทางที่รับแสงแดดมากที่สุด 1 ด้าน มีต้นทุนค่าก่อสร้างผนังเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.55 โดยผลประโยชน์จากการลดค่าไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศร้อยละ 8.11 นอกจากนี้ ผนังน้ำหมุนเวียนยังช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทำให้รู้สึกสบายได้โดยไม่ต้องเปิดเครื่องปรับอากาศ

**คำสำคัญ:** ผนัง การถ่ายเทความร้อน ประหยัดพลังงาน ระบบน้ำหมุนเวียน

## Development of Water Circulating Wall System to Reduce Heat Accumulation inside the Building

Sudniran Phetcharat<sup>1\*</sup>, Rongarun Buntan<sup>2</sup> and Pagornphat Budcha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Ongkharak, Nakornnayok, 26120, Thailand; <sup>2</sup> 93 Moo 15 Takhian, Dankhunthot, Nakhonratchasima, 30210 Thailand; <sup>3</sup>Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Ongkharak, Nakornnayok, 26120, Thailand

\*E-mail: sudniran@swu.ac.th

Received: 6 May 2022 Revised: 8 February 2023 Accepted: 27 February 2023

### Abstract

The objective of this research was to assess the efficiency of the circulating water wall system in reducing heat accumulation inside the building. Model buildings size 60×60×80 cm. were built using aerated concrete. A circulating water system was installed on one side of the wall using a 3/8–inch copper pipe in the exterior plaster layer and solar-powered water pump. The circulating water system was operated during 09:00 a.m.–04:30 p.m. The temperature changes were recorded throughout the day and compared it with the conventional wall. Results were analyzed using paired *t*–test, the heat transfer was calculated, and the construction cost was analyzed against the benefits and cost reduction from electricity consumption from air conditioning found that the application of the water circulating wall during 09:00 a.m.–04:30 p.m. showed efficiency in reduction of heat transfer with a statistically significant level of 0.05. The average temperature at the inner wall was reduced by 3.69% and averaged heat transfer was reduced by 32.43%. The installation of the circulating water wall system had an increase of 34.20% in investment but installing a circulating water system wall only on the side which received the most sunlight will increase the construction cost by 8.55%. Meanwhile the benefit from the reduced cost of electricity consumption for air conditioning was calculated at 8.11% and the circulating water wall system will reduce the amount of heat transfer into the building providing comfortable atmosphere without air conditioning.

**Keywords:** Wall, Heat transfer, Energy saving, Circulating water system

## บทนำ

แนวทางการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน สามารถทำได้ 2 วิธี คือ 1) การออกแบบเพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร เช่น การทำชายคา ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแสงแดดเข้าสู่อาคาร เพิ่มอัตราส่วนพื้นที่ผนังที่บดบังโปร่งแสง เพิ่มช่องว่างอากาศในผนังและหลังคา และการก่อผนังสองชั้น (Phetcharat, 2013) และ 2) การเลือกใช้วัสดุรอบอาคารที่มีสมบัติป้องกันความร้อน เช่น การใช้ฉนวนกันความร้อนพอลิเอทิลีนร่วมกับคอนกรีตมวลเบาในส่วนผนัง การเพิ่มฉนวนใยแก้วบริเวณพื้นที่หลังคา (Wongyen and Yongcharoen, 2015) แต่ทั้งนี้วัสดุที่มีสมบัติในการป้องกันความร้อนได้ดีจะมีราคาแพง จึงมีงานวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างให้มีสมบัติการป้องกันความร้อนที่ดี และมีราคาถูก เช่น การปรับปรุงด้วยวัสดุที่มีสมบัติเป็นฉนวน เช่น ใยผ้าแปก หรือเศษไม้ไผ่ (Pakdee and Rattanaplome, 2018) แผ่นบุผนังจากขี้ข้าวโพด (Woraput *et al.*, 2016) การพัฒนาฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าว (Taemthong, 2013) อย่างไรก็ตาม วัสดุก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารนั้น ทำให้เกิดกลไกหลบหนีความร้อนเวลาในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งช่วยประหยัดเวลาในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในตอนกลางวัน (Sungkakul and Jindawoit, 2011) ส่วนตอนกลางคืนที่อากาศภายนอกเย็นกว่าภายในอาคารวัสดุจะถ่ายเทความร้อนออก และเมื่อถ่ายเทความร้อนแล้วจะกลายเป็นตัวสะสมความร้อน และช่วยดูดซับความร้อนในตอนกลางวันต่อไป วัสดุที่มีการหนีความร้อนนานเป็นผลดีต่อผู้ใช้อาคารในเวลากลางวัน แต่ตอนกลางคืนวัสดุจะถ่ายเทความร้อนทำให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิสูงและ

หน่วงเหนี่ยวเวลาในการถ่ายเทความร้อนออกไปภายนอก (Saennual *et al.*, 2016) ดังนั้นกลไกการหนีความร้อนถ่ายเทความร้อนนี้มีผลทำให้ตอนกลางคืนมีผลทำให้ผู้ที่อาศัยในอาคารรู้สึกไม่สบายและความร้อนที่สะสมภายในอาคารก็เป็นภาระของเครื่องปรับอากาศ

จากประเด็นปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวทางการวิจัยโดยการใช้หน้าเป็นตัวกลางในการดึงความร้อนออกจากอาคาร เนื่องจากสมบัติของน้ำที่มีค่าความจุความร้อนสูง โดยที่อุณหภูมิ 293 K (20°C) น้ำมีค่าความจุความร้อนจำเพาะเท่ากับ 4,182 J/kg·K (Poirier and Geiger, 1994) และสามารถพาความร้อนออกจากมวลของวัสดุได้ดี ซึ่งเทคนิคที่ประยุกต์ใช้น้ำลดความร้อนผ่านผนังมีหลายแบบ เช่น การใช้ท่อน้ำฝังอยู่ในผนังโดยใช้ระบบทำความเย็นให้น้ำเย็นเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอาคาร ซึ่งเรียกว่า การแผ่ความร้อน หรือการใช้ผนังนำหมุนเวียน ที่สามารถลดความร้อนผิวผนังภายในได้มากกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนได้ดีในช่วงแสงอาทิตย์ตกกระทบ (Potchanasilp, 2008) ผนังทำความเย็นด้วยการต่อวงจรทำน้ำเย็น (Simmonds, 1996) สามารถดึงความร้อนออกจากอาคารได้ และการใช้แผงเย็นให้ความเย็นในอาคารโดยวิธีธรรมชาติ (Taweekun, 2005) ที่ระบบการแผ่รังสีความร้อนสามารถทำงานได้ดีในช่วงเวลากลางคืนและช่วงเวลาเช้าไม่เกิน 10:00 น. โดยระบบแผ่รังสีความร้อนต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 541.06 วัตต์ ซึ่งหากเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบทั่วไปพบว่าประหยัดพลังงานได้ ร้อยละ 40 ของการใช้พลังงานทั้งหมด

จากแนวทางการวิจัยที่ผ่านมารูปแบบการใช้หน้าในการถ่ายความร้อนออกจากอาคารนี้

จะมีต้นทุนการติดตั้งระบบซึ่งจัดเป็นต้นทุนคงที่แล้วยังมีต้นทุนผันแปรจากการใช้พลังงาน ทั้งเพื่อทำความเย็น และปั๊มน้ำ ซึ่งเป็นต้นทุนผันแปรตามปริมาณการใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบผนังน้ำหมุนเวียนที่มีประสิทธิภาพในการดึงความร้อนออกจากอาคารโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการสูบน้ำ การลดความร้อนของน้ำที่เป็นตัวกลางในการดึงความร้อนจากผนัง ด้วยการให้น้ำไหลเข้าสู่ข้อพับที่มีร่มเงาก่อนสูบกลับเข้าสู่ระบบผนังน้ำหมุนเวียนซึ่งเป็นแนวทางการลดการพลังงานในส่วนของต้นทุนผันแปร โดยประยุกต์ใช้ผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตมวลเบา ซึ่งเป็นวัสดุก่อที่มีสมบัติเป็นฉนวนที่ดีและมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่จะเลือกใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในการป้องกันความร้อน (Phetcharat, 2013) พร้อมทั้งวิเคราะห์ต้นทุนค่าก่อสร้างผนังน้ำหมุนเวียน และผลประโยชน์จากการลดรายจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับประชาชนใช้ประกอบการพิจารณาเลือกกระบวนผนังน้ำหมุนเวียนเป็นวิธีการลดความร้อนภายในอาคาร

## วิธีการวิจัย

1. สร้างอาคารจำลอง 2 หลัง กว้าง 60 ซม. ยาว 60 ซม. สูง 80 ซม. ด้วยคอนกรีตมวลเบา ขนาด  $7 \times 20 \times 60$  ซม. ความหนาแน่น 620 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อาคารจำลองแต่ละหลังมีผนังด้านทดสอบ 1 ด้าน โดยมีความกว้าง 60 ซม. ยาว 60 ซม. และสูง 60 ซม. (Saennual *et al.*, 2016) ฉาบปูนที่ผนังภายนอก หนา 1.5 ซม. อาคารหลังแรกติดตั้งระบบน้ำหมุนเวียนในผนังด้านทดสอบด้วยการฝังท่อทองแดงขนาด  $3/8$  นิ้ว ในชั้นปูนฉาบของผนังด้านนอก ดังแสดงในภาพที่ 1 ส่วนอาคารหลังที่สองเป็นผนังปกติที่ไม่ติดตั้งระบบน้ำหมุนเวียนเพื่อใช้เปรียบเทียบอุณหภูมิกับผนังที่มีระบบน้ำหมุนเวียน

2. ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด DHT22 ที่ผนังด้านทดสอบของอาคารจำลอง 4 ตำแหน่ง ประกอบด้วยผิวผนังด้านนอก (T1) ใต้ชั้นปูนฉาบผนังภายนอก (T2) ผิวผนังด้านใน (T3) และอากาศภายในอาคาร (T4) ดังในภาพที่ 2 ทั้งนี้ได้ติดตั้งเซนเซอร์เพื่อวัดอุณหภูมิอากาศภายนอก 1 ตำแหน่ง

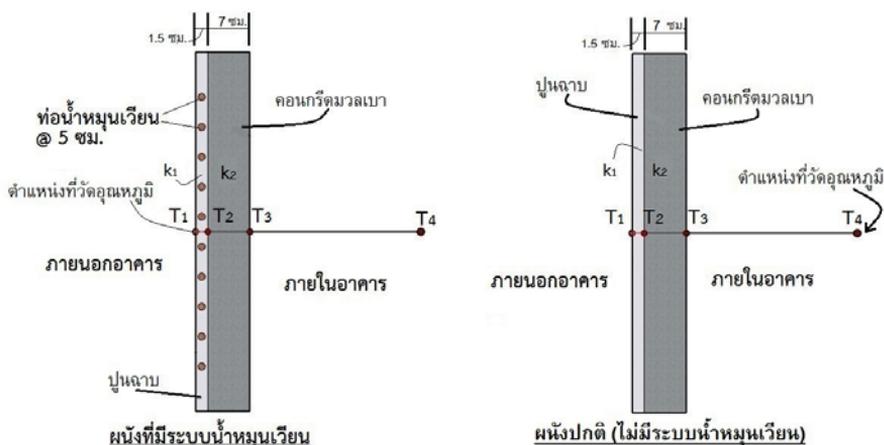


(ก)

(ข)

(ค)

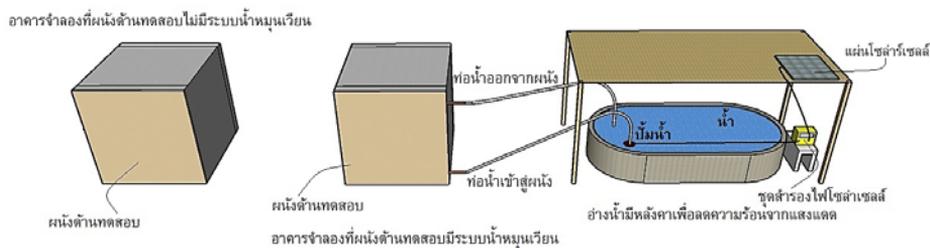
ภาพที่ 1 อาคารจำลองที่ผนังด้านทดสอบมีระบบน้ำหมุนเวียน (ก) รูปแบบการวางท่อทองแดงในชั้นปูนฉาบ (ข) ผนังด้านทดสอบ และ (ค) อาคารจำลองที่มีระบบน้ำหมุนเวียน



ภาพที่ 2 ภาคตัดขวางของผนังด้านทดสอบและตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

3. ติดตั้งระบบสูบน้ำเข้าระบบผนังน้ำหมุนเวียน โดยใช้ปั๊มไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ขนาด 19 วัตต์ ใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 30 วัตต์ และติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

ของน้ำโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (themocouple type-K) แสดงการติดตั้งระบบสูบน้ำเข้าสู่ผนัง ตำแหน่งอาคาร และการจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบ ดังในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตำแหน่งอาคารจำลองและการจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบ

4. เปรียบเทียบอุณหภูมิของผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ โดยไม่เปิดระบบน้ำ เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกับประเภทของอาคาร โดยบันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบตลอด 24 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแบบจับคู่ด้วยสถิติที ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบที่ตัวอย่างมีปัจจัยในการทดสอบคล้ายคลึงกัน ในกรณีนี้เป็นเปรียบเทียบอุณหภูมิของผนังสองแบบ ณ เวลาและตำแหน่งเดียวกัน เป็นการทดสอบแบบสองทาง

กำหนดสมมติฐานคือ  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  (อุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบไม่ขึ้นอยู่กับประเภทของอาคาร) และ  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  (อุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบขึ้นอยู่กับประเภทของอาคาร) การปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  และยอมรับ  $H_1$  เมื่อค่า  $\text{Sig.} < \alpha$  โดยที่  $\alpha = 0.05$

5. เปรียบเทียบอุณหภูมิของผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ โดยก่อนการทดสอบต้องไม่มีฝนตกอย่างน้อย 3 วัน ในขณะที่ทดสอบ 2 วัน และ

หลังจากทดสอบต้องไม่มีฝนตกอย่างน้อย 1 วัน รวมระยะเวลาที่ต้องไม่มีฝนตก 6 วันต่อการทดสอบ 1 ครั้ง การทดสอบโดยเปิดระบบน้ำหมุนเวียนเวลา 09:00–16:30 น. เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ บันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบตลอด 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบช่วงเวลา 09:00–16:30 น. ด้วยทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแบบจับคู่ด้วยสถิติที เป็นการทดสอบแบบทางเดียว โดยกำหนดสมมติฐาน  $H_0: \mu_1 \geq \mu_2$  (อุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบของอาคารจำลองที่มีระบบน้ำหมุนเวียนสูงกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิของอาคารที่มีผนังปกติ) และ  $H_1: \mu_1 < \mu_2$  (อุณหภูมิของผนังที่ตำแหน่งทดสอบของอาคารจำลองที่มีระบบน้ำหมุนเวียนต่ำกว่าอุณหภูมิของอาคารที่มีผนัง

$$Q = h_i(T_i - T_1) = \frac{k_1}{L_1}(T_1 - T_2) = \frac{k_2}{L_2}(T_2 - T_3) = h_o(T_3 - T_o) \quad \text{W/m}^2 \quad \text{--- (1)}$$

$$Q = \frac{k_2}{L_2}(T_2 - T_3) \quad \text{W/m}^2 \quad \text{--- (2)}$$

7. การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ คำนวณการปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เพื่อลดความร้อนของเครื่องปรับอากาศ จากสมการที่ (3) โดยกำหนดให้มีการใช้เครื่องปรับอากาศ 12 ชั่วโมงต่อวัน 30 วันต่อเดือน และกำหนดให้การทำงานของเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 90% และคำนวณรายจ่ายค่าไฟฟ้า ในอัตราหน่วยละ 3.78 บาท

$$W = \frac{Q \times 3.142}{\text{EER} \times 1,000} \quad \text{kW} \quad \text{--- (3)}$$

โดยที่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศ (W) ต้องพิจารณาขีดความสามารถในการทำความเย็นสุทธิของเครื่องปรับอากาศ (Q) และระดับประสิทธิภาพ (energy efficiency ratio: EER) ของเครื่องปรับอากาศประหยัดพลังงานเบอร์ 5 ขนาดไม่เกิน 27,296 บีทียูต่อชั่วโมง มีค่า  $\text{EER} \geq 11.60$

ปกติ การปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  และยอมรับ  $H_1$  เมื่อค่า  $\frac{\text{Sig.}}{2} < \alpha$  และค่า  $t < 0$  โดยที่  $\alpha = 0.05$

6. คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน พิจารณาจากสมการดุลการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังประกอบตั้งสมการที่ (1) ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังประกอบแต่ละชั้นมีค่าเท่ากัน และมีค่าเท่ากับค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (Poirier and Geiger, 1994) ดังนั้นการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังในการวิจัยนี้ จึงคำนวณในชั้นวัสดุก่อซึ่งเป็นคอนกรีตมวลเบา จากสมการที่ 2 (คอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 620 kg/m<sup>3</sup> ความหนา  $L=0.07$  m. มีค่า  $k=0.180$  W/m<sup>2</sup>C ส่วน  $T_2$  และ  $T_3$  คืออุณหภูมิที่ตำแหน่งใต้ชั้นปูนฉาบผนังภายนอก และผิวผนังด้านใน ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง)

Btu h<sup>-1</sup> W<sup>-1</sup> (Electricity Generating Authority of Thailand, 2022)

### ผลการวิจัย

*เปรียบเทียบอุณหภูมิของผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ ในกรณีที่ไม่มีเปิดระบบน้ำหมุนเวียน*

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ ในกรณีที่ไม่มีเปิดระบบน้ำหมุนเวียน ดังในภาพที่ 4 พิจารณาเปรียบเทียบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งผิวผนังด้านนอก ใต้ชั้นปูนฉาบผนังด้านนอก ผิวผนังด้านใน และอากาศภายในอาคาร พบว่า ทุกตำแหน่งที่ทดสอบของผนังทั้งสองแบบมีเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิซ้อนทับกัน ซึ่งแสดง

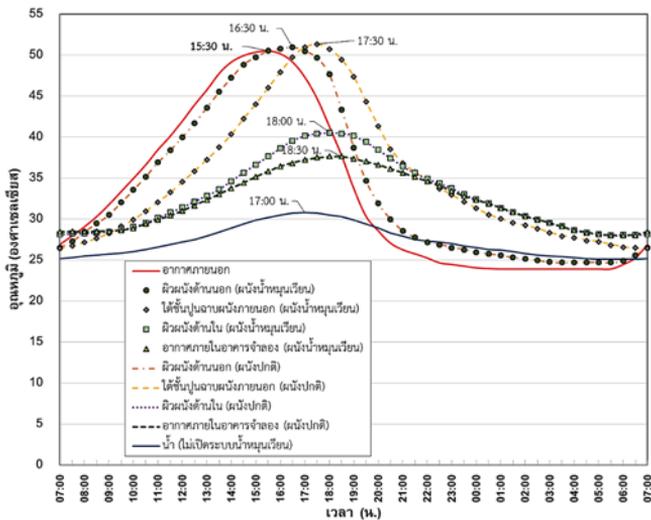
ว่าอุณหภูมิหน้าจะเท่ากัน แต่เพื่อยืนยันว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบของผนังทั้งสองมีความแตกต่างกันทางสถิติหรือไม่ จึงตรวจสอบด้วยวิธีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบจับคู่ด้วยสถิติที่ ค่าสถิติและผลทดสอบแสดงในตาราง 1 พบว่า ผลการทดสอบที่ตำแหน่งผิวผนังด้านนอก มีค่า Sig = 0.964 ได้ชั้นปูนฉาบผนังด้านนอก มีค่า Sig. = 0.217 ผิวผนังด้านใน มีค่า Sig. = 0.109 และอากาศภายในอาคาร มีค่า Sig. = 0.350 โดยทุกตำแหน่งที่ทดสอบมีค่า Sig. >  $\alpha$  ( $\alpha = 0.05$ ) จึงปฏิเสธ  $H_1$  และยอมรับ  $H_0$  ซึ่งสรุปว่าในกรณีที่ไม่เปิดระบบน้ำหมุนเวียน อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านนอก ได้ชั้นปูนฉาบผนังภายนอก ผิวผนังด้านใน และอากาศภายในอาคารของอาคารจำลองที่มีระบบน้ำหมุนเวียนกับอาคารที่มีผนังปกติไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นกรณีที่เปิดระบบน้ำหมุนเวียนแล้วมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ จึงจะยอมรับได้ว่าเป็นผลจากระบบผนังน้ำหมุนเวียน

นอกจากนี้ยังวิเคราะห์พฤติกรรมถ่ายเทความร้อน และการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังประกอบ (ภาพที่ 4) พบว่า เมื่อเริ่มได้รับความร้อนซึ่งเป็นอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ในตอนเช้า ทำให้อากาศภายนอกเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้น

จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อน โดยอากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 15.30 น. ผิวผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงสุดเวลา 16.30 น. ได้ชั้นปูนฉาบผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงสุดเวลา 17.30 น. ผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิสูงสุดเวลา 18.00 น. อากาศภายในอาคารมีอุณหภูมิสูงสุดเวลา 18.30 น. ส่วนน้ำซึ่งวางอยู่ในตำแหน่งที่มีหลังคาป้องกันความร้อนจากแสงแดด มีอุณหภูมิสูงสุดเวลา 17:00 น. ส่วนตอนเย็นอากาศภายนอกเริ่มมีอุณหภูมิลดลงและหลังจาก 18:30 น. อากาศภายนอกอาคารเริ่มมีอุณหภูมิลดต่ำกว่าอากาศภายในอาคาร ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายในอาคารออกไปภายนอก จนกระทั่งถึงตอนเช้ามืดก็ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์และมีการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารอีกครั้งเป็นวัฏจักร ทั้งนี้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลา 07:00–20:00 น. พบว่า น้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอก และทุกตำแหน่งของอาคาร ดังนั้นการเปิดระบบน้ำหมุนเวียนในช่วงเวลา 09:00–16:30 น. จึงมีความเหมาะสมในการทดลองประยุกต์ใช้น้ำในการลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ผนัง ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวมีความร้อนเพียงพอสำหรับเป็นพลังงานในการสูบน้ำเข้าสู่ผนัง

ตาราง 1 ค่าสถิติและผลการทดสอบแบบจับคู่ด้วยสถิติที่ กรณีที่ไม่เปิดระบบน้ำหมุนเวียน (ตลอด 24 ชั่วโมง)

ตำแหน่งทดสอบ	ประเภทอาคารจำลอง	Mean (°C)	SD	N	t-value	Sig.
ผิวผนังด้านนอก	ผนังน้ำหมุนเวียน	33.7669	9.45191	721	-0.046	0.964
	ผนังปกติ	33.7671	9.45019	721		
ผิวระหว่างปูนฉาบกับวัสดุผนัง	ผนังน้ำหมุนเวียน	34.9424	8.00814	721	-1.250	0.217
	ผนังปกติ	34.9492	7.99972	721		
ผิวผนังด้านใน	ผนังน้ำหมุนเวียน	32.8606	4.30597	721	1.634	0.109
	ผนังปกติ	32.8559	4.30848	721		
อากาศภายในอาคาร	ผนังน้ำหมุนเวียน	32.1576	3.37736	721	0.945	0.350



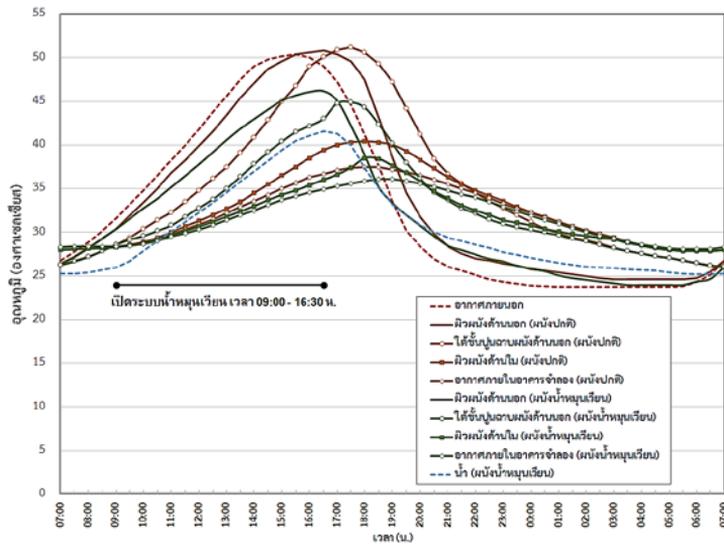
ภาพที่ 4 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบของอาคารที่ผนังมีระบบน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ กรณีที่ไม่เปิดระบบน้ำหมุนเวียน

เปรียบเทียบอุณหภูมิของผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ ในกรณีที่เปิดระบบน้ำหมุนเวียน เวลา 09:00-16:30 น.

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความร้อนภายในอาคารระหว่างผนังที่มีระบบน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ โดยเปิดระบบน้ำหมุนเวียนเข้าสู่ผนังในช่วงเวลา 09:00–16:30 น. แสดงผลในรูปแบบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมง ดังในภาพที่ 5 และแสดงสถิติของอุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบในช่วงเวลา 09:00–16:30 น. ซึ่งเป็นเวลาที่เปิดระบบน้ำหมุนเวียน (ตาราง 2) พบว่า อุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบผนังน้ำหมุนเวียนมีค่าต่ำกว่าผนังปกติ โดยที่ผิวผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าผนังปกติร้อยละ 9.06 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าผนังปกติร้อยละ 6.46 ที่ตำแหน่งใต้ชั้นปูนฉาบของผนังภายนอกมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าผนังปกติ ร้อยละ 14.17 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าผนังปกติ ร้อยละ 7.50 ที่ตำแหน่งผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่า

ผนังปกติร้อยละ 8.63 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าผนังปกติร้อยละ 3.69 และอากาศภายในอาคารจำลองมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าผนังปกติร้อยละ 4.77 และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าผนังปกติร้อยละ 2.45

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบกับประเภทอาคาร (ตาราง 3) พบว่า ทุกตำแหน่งทดสอบมีค่า  $\frac{Sig.}{2} < \alpha$  และค่า  $t < 0$  ดังนั้น จึงปฏิเสธ  $H_0$  และยอมรับ  $H_1$  ดังนั้นจากผลการทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย 2 ประชากรแบบจับคู่ด้วยสถิติที่สามารถสรุปได้ว่า ณ ตำแหน่งผิวผนังด้านนอก ใต้ชั้นปูนฉาบของผนังภายนอก ผิวผนังด้านใน และอากาศภายในอาคารของอาคารจำลองที่ผนังมีระบบน้ำหมุนเวียนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอาคารจำลองที่มีผนังปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งแสดงว่าการประยุกต์ใช้ระบบผนังน้ำหมุนเวียนสามารถลดความร้อนภายในอาคารเมื่อเทียบกับผนังปกติที่ไม่มีระบบน้ำหมุนเวียน



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบของอาคารที่หนึ่งมีระบบน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ (เปิดระบบน้ำหมุนเวียนเวลา 09:00-16:30 น.)

ตาราง 2 ค่าสถิติของอุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบในช่วงเวลาที่เปิดระบบน้ำหมุนเวียน (09:00-16:30 น.)

ตำแหน่งทดสอบ	ค่าสถิติ				
	N	Max (°C)	Min (°C)	Mean (°C)	SD (°C)
<b>1. ผิวผนังด้านนอก</b>					
– ผนังน้ำหมุนเวียน	226	46.20	30.40	39.38	5.48
– ผนังปกติ	226	50.80	30.40	42.09	7.16
เปรียบเทียบผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ (ร้อยละ)	–	<b>9.06</b>	<b>0.00</b>	<b>6.43</b>	–
<b>2. ระหว่างชั้นผนังกับปูนฉาบ</b>					
– ผนังน้ำหมุนเวียน	226	43.00	28.60	35.14	5.00
– ผนังปกติ	226	50.10	28.60	37.99	7.11
เปรียบเทียบผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ (ร้อยละ)	–	<b>14.17</b>	<b>0.00</b>	<b>7.50</b>	–
<b>3. ผิวผนังด้านใน</b>					
– ผนังน้ำหมุนเวียน	226	36.00	28.30	31.74	2.57
– ผนังปกติ	226	39.40	28.30	32.96	3.67
เปรียบเทียบผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ (ร้อยละ)	–	<b>8.63</b>	<b>0.00</b>	<b>3.69</b>	–
<b>4. อากาศภายในอาคารจำลอง</b>					
– ผนังน้ำหมุนเวียน	226	34.95	28.40	31.35	2.28
– ผนังปกติ	226	36.70	28.40	32.13	2.87
เปรียบเทียบผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ (ร้อยละ)	–	<b>4.77</b>	<b>0.00</b>	<b>2.45</b>	–

**ตาราง 3** ผลการทดสอบแบบจับคู่ด้วยสถิติทีในช่วงเวลาที่เปิดระบบน้ำหมุนเวียน (09:00–16:30 น.)

ตำแหน่งทดสอบ	ประเภทผนัง	Mean (°C)	SD	N	t-value	Sig.
ผิวผนังด้านนอก	ผนังน้ำหมุนเวียน	39.3813	5.47932	226	-6.406	0.000
	ผนังปกติ	42.0875	7.16071	226		
ระหว่างปูนฉาบ กับวัสดุผนัง	ระบบผนังน้ำหมุนเวียน	35.1438	5.00213	226	-5.285	0.001
	ผนังปกติ	37.9938	7.10675	226		
ผิวผนังด้านใน	ระบบผนังน้ำหมุนเวียน	31.7406	2.57191	226	-4.356	0.001
	ผนังปกติ	32.9563	3.66896	226		
อากาศภายใน อาคาร	ระบบผนังน้ำหมุนเวียน	31.3469	2.28440	226	-5.326	0.000
	ผนังปกติ	32.1344	2.87441	226		

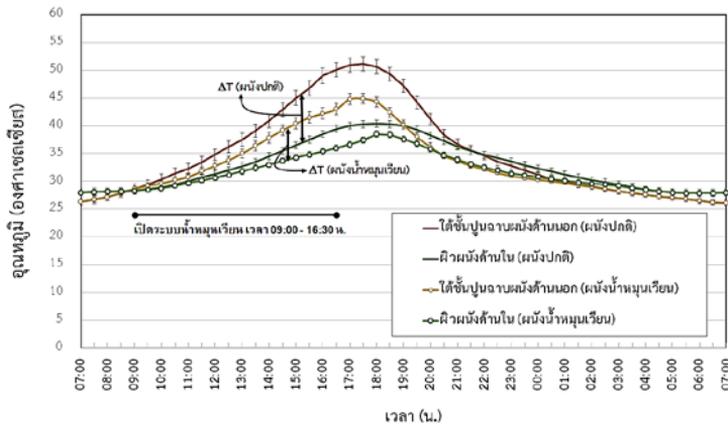
*เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของระบบผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ*

การเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติซึ่งคำนวณในชั้นวัสดุก่อ พิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งใต้ชั้นปูนฉาบผนังภายนอก ( $T_2$ ) และผิวผนังด้านใน ( $T_3$ ) ดังในภาพที่ 6 และแสดงผลการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนในช่วงที่เปิดระบบน้ำหมุนเวียน (09:00–16:30 น.) ดังในตาราง 4 พบว่า ผนังน้ำหมุนเวียนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 8.75 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนผนังปกติที่ไม่มีระบบน้ำหมุนเวียนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 12.95 วัตต์ต่อตารางเมตร ผนังน้ำหมุนเวียนมีประสิทธิภาพในการลดค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยร้อยละ 32.44 ของผนังปกติ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาหลังจากเวลา 16:30 น. ที่ได้ปิดระบบน้ำหมุนเวียนแล้ว พบว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งใต้ชั้นปูนฉาบผนังภายนอก และที่ผิวผนังด้านในของผนังน้ำหมุนเวียนยังคงต่ำกว่าผนังปกติ จนถึงเวลา 01:30 น. อุณหภูมิที่ตำแหน่งใต้ชั้นปูนฉาบผนังภายนอกของผนังน้ำหมุนเวียนเท่ากับผนังปกติ ส่วนผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิเท่ากันเมื่อเวลา 03:00 น. แสดงว่าใน

ช่วงที่ปิดระบบน้ำหมุนเวียนไม่ทำให้เกิดการหน่วงเวลาในการถ่ายเทความร้อนออกจากอาคารในตอนกลางคืนมากกว่าผนังปกติ ทำให้อุณหภูมิของผนังที่มีระบบน้ำหมุนเวียนยังต่ำกว่าผนังปกติต่อเนื่อง จนกระทั่งอุณหภูมิที่ตำแหน่งทดสอบของผนังทั้งสองแบบเท่ากัน

*การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ระบบผนังน้ำหมุนเวียน*

การประยุกต์ใช้ระบบผนังน้ำหมุนเวียนเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร มีต้นทุนค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากการติดตั้งระบบน้ำหมุนเวียน และมีผลประโยชน์การลดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ การคำนวณเพื่อเปรียบเทียบภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศของผนังที่มีระบบน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติโดยกำหนดให้มีการใช้เครื่องปรับอากาศ 12 ชั่วโมงต่อวัน 30 วันต่อเดือน และกำหนดให้การทำงานของเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 90% และคำนวณรายจ่ายค่าไฟฟ้าในอัตราหน่วยละ 3.78 บาท แสดงผลการคำนวณต้นทุนและผลประโยชน์ดังในตาราง 5 การสร้างระบบผนังน้ำหมุนเวียนมีต้นทุนค่าก่อสร้างผนังเพิ่มขึ้น ร้อยละ 34.20 และลดรายจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับ-



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบอุณหภูมิผ่านชั้นวัสดุผนังของอาคารจำลองที่ผนังมีระบบน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ

ตาราง 4 ผลการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อน ช่วงเวลาที่เปิดระบบน้ำหมุนเวียน (09:00–16:30 น.)

สรุปผลทดสอบ (09:00–16:30 น.)	ผนังน้ำหมุนเวียน	ผนังปกติ	เปรียบเทียบผนังน้ำหมุนเวียนกับผนังปกติ
ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังสูงสุด	18.00	27.51	< ผนังปกติ ร้อยละ 34.58
ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังต่ำสุด	0.77	0.77	0.00
ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเฉลี่ย	8.75	12.95	< ผนังปกติ ร้อยละ 32.44

ตาราง 5 ผลการเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างผนังน้ำระบบหมุนเวียนกับผนังปกติ

รายการ	ผนังปกติ	ระบบผนังน้ำหมุนเวียน	เปรียบเทียบกับผนังปกติ (%)
ค่าการถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ตารางเมตร)	12.95	8.75	-32.43
ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (วัตต์/ตารางเมตร)	1.30	0.88	-32.43
ค่าไฟฟ้าจากภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (บาท/ปี/ตารางเมตร)	59.03	39.89	-32.43
ราคาวัสดุและค่าแรงก่อสร้าง (บาท/ตารางเมตร)	731.00	981.00	+34.20
(วัสดุคือคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนทั้งภายในและภายนอก)			
อัตราค่าก่อสร้างอาคารที่มีระบบผนังน้ำหมุนเวียน 1/4 ด้านของผนังภายนอก (เทียบกับค่าก่อสร้างอาคารที่มีผนังปกติ 100 บาท)	100.00	118.55	+8.55
อัตราค่าไฟฟ้าจากภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ของอาคารที่มีระบบผนังน้ำหมุนเวียน 1/4 ด้านของผนังภายนอก (เทียบกับค่าไฟฟ้าของอาคารที่มีผนังปกติ 100 บาท)	100.00	91.89	-8.11

อาคารร้อยละ 32.43 แต่การก่อสร้างอาคาร 1 หลังสามารถประยุกต์ใช้ระบบผนังน้ำเพื่อลดความร้อนสำหรับผนังที่ได้รับความร้อนมากที่สุด 1 ด้านของอาคาร เช่น ผนังทางด้านทิศใต้ ผนังด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ โดยอัตราส่วนพื้นที่ของผนังน้ำหมุนเวียนคือ ร้อยละ 25 ของผนังอาคาร (1/4

ของผนังทั้งหมดของอาคาร) ทำให้มีต้นทุนค่าก่อสร้างผนังเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.55 และสามารถลดรายจ่ายค่าไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศได้ร้อยละ 8.11 ของอาคารที่ไม่มีระบบผนังน้ำหมุนเวียน เมื่อกำหนดผลประโยชน์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเทียบกับต้นทุนค่าก่อสร้างระบบผนังน้ำ

หมუნเวียนจะมีระยะเวลาคืนทุน 14 ปี 1 เดือน (คำนวณด้วยอัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ 0.25 ต่อปี)

การสร้างอาคารที่มีระบบผนังน้ำหมุนเวียนเพื่อช่วยลดความร้อนภายในอาคารย่อมทำให้ต้นทุนค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น แต่มีส่วนช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศได้ไม่มากนัก เนื่องจากคำนวณเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารทั้งสองแบบจากการใช้เครื่องปรับอากาศทุกวัน แต่ทั้งนี้อาคารที่มีระบบผนังน้ำหมุนเวียนช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ทำให้อากาศภายในอาคารไม่ร้อนมากนักซึ่งผู้ที่อยู่อาศัยจะรู้สึกสบายได้โดยไม่ต้องเปิดเครื่องปรับอากาศ พฤติกรรมดังกล่าวย่อมเป็นการสนับสนุนให้ลดรายจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศและเป็นผลประโยชน์ที่เกิดจากระบบผนังน้ำหมุนเวียน นอกเหนือจากที่แสดงไว้ในกรณีกำหนด

### สรุปผล

การประเมินประสิทธิภาพของผนังน้ำหมุนเวียนในการลดการสะสมความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งทดสอบในช่วงเดือนมีนาคม-กรกฎาคม 2564 สามารถสรุปได้ดังนี้

ระบบผนังน้ำหมุนเวียนมีประสิทธิภาพในลดความร้อนภายในอาคารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยลดอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในเฉลี่ย ร้อยละ 3.69 และลดค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยร้อยละ 32.44 ทั้งนี้การติดตั้งระบบผนังน้ำหมุนเวียนเหมาะสมกับผนังภายนอกด้านที่ได้รับแสงแดดมากที่สุด เพื่อประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน และป้องกันการเกิดปัญหาจากความชื้นสะสม

ช่วงเวลา 09:00–16:30 น. ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกและอากาศภายในอาคาร จึงสามารถรับการถ่ายโอนความร้อนจากผนังและถ่ายเทความร้อนออกจากผนังด้วยการพาความร้อน จึงลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ และช่วงเวลาดังกล่าวในวันที่มีอากาศร้อน จะมีแสงอาทิตย์เพียงพอสำหรับใช้เป็นพลังงานสูบน้ำเข้าสู่ผนัง

การก่อสร้างที่มีระบบผนังน้ำหมุนเวียน 1/4 ของผนังภายนอก มีต้นทุนค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.55 ของผนังปกติ และช่วยลดค่าไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศได้ร้อยละ 8.11 ของผนังปกติ และมีระยะเวลาคืนทุน 14 ปี 1 เดือน

### กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนาระบบผนังและการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างเพื่อลดความร้อนภายในอาคาร โดยได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จากเงินรายได้มหาวิทยาลัย ประจำปี 2562

### เอกสารอ้างอิง

- Electricity Generating Authority of Thailand. (2022). **Air Conditioner Label Number 5**. Retrieved from <http://labelno5.egat.co.th/downloads/58/document/air.pdf>, January 20, 2022. (in Thai)
- Pakdee, P., and Rattanaprome, T. (2018). The experiment of heat transfer in material block made from agricultural waste integrated by cement. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies** 15(1): 135–145. (in Thai)

- Phetcharat, S. (2013). Energy efficiency and economical analysis of constructions materials for controlled buildings in Thailand. **International Journal of Engineering and Technology** 5(4): 483–487.
- Poirier, D. R., and Geiger, G. H. (1994). **Transport Phenomena in Materials Processing**. United States of America: The Minerals, Metals & Materials Society.
- Potchanasilp, N. (2008). **Correlated Water for Reduction of Heat Transfer through Building Envelope**. Master of Education Thesis (Architecture). Bangkok: Thammasat University. (in Thai)
- Saennual, A., Sripadej, A., and Thipyophas, C. (2016). A study of heat transfer through building wall: case study of wood plastic composite. **Academic Journal: Faculty of Architecture, Khon Kaen University** 15(2): 161–173. (in Thai)
- Simmonds, P. (1996). Practical application of radiant heating and cooling to maintain comfort condition. **ASHRAE Transactions** 102(1): 659–666.
- Sungkakul, A., and Jindawoit, T. (2011). Influence of external wall mixture and impact on energy saving and livability of accommodation buildings in tropical climate. **Journal of energy research** 8(1): 11–20. (in Thai)
- Taemthong, W. (2013). Rice straw insulation sheet. **KKU Research Journal** 18(3): 380–390. (in Thai)
- Taweekun, J. (2005), **Development and Demonstration of Use of Radiant Cooling Panel for Passive Cooling in Buildings**. Songkla: Prince of Songkla University. (in Thai)
- Wongyen, P., and Yongcharoen, W. (2015). Building modification for evaluation of green building using TREES standard. **Journal of Energy Research** 12(1): 16–28. (in Thai)
- Woraput, K., Kamhangrittirong, P., Surit, S., Hancharoen, K., and Saimo, T. (2016). Wall plates from corncobs. **The 12th Narasuan Research Conference** (pp. 511–520). Phitsanulok, Thailand: Narasuan University. (in Thai)