สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี

วิทยา พวงสมบัติ[1*], ดิษฐา นนธิวรวงศ์[1], จิระศักดิ์ พุกดำ[2]

[1]ถนนพหลโยธิน ตำบลโกสัมพี อำเภอโกสัมพีนคร จังหวัดกำแพงเพชร
[2]สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนสินทร์
Email: w.puangsombut@hotmail.com[1*]

Received: September 15, 2020
Revised: November 20, 2020
Accepted: November 30, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ ประกอบด้วยแผ่นปิดกระจก ตัวดูดกลืนรังสีที่ทำจากยางมะตอยผสมสำเร็จ ถังสะสมความร้อนและฉนวนกันความร้อน ถังสะสมบรรจุน้ำ 100 L และมีพื้นที่ดูดกลืนรังสี 1 m^2 ข้อมูลที่ได้จากการวัดแสดงอุณหภูมิสูงสุดของยางมะตอยผสมสำเร็จและอุณหภูมิสูงสุดของน้ำในถังสะสมความร้อนอยู่ที่ 67°C และ 63°C ตามลำดับ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนรายชั่วโมงมีค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ 62% และ 20% ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 43.5% จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ายางมะตอยผสมสำเร็จมีประสิทธิภาพในการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ

คำสำคัญ : เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกัน, ยางมะตอยผสมสำเร็จ, ถังสะสม, ตัวดูดกลืนรังสี, สมรรถนะเชิงความร้อน, ประสิทธิภาพ

Thermal performance of integrated collector storage solar water heater with mixed asphalt absorber plate

Withaya Puangsombut[1*], Dittha Nonthiworawong[1], Jirasak Pukdum[2]
[1*]Phaholyothin Rd, Kosamphi, Kosamphi Nakhon, Kamphaengphet
[2]Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Design, Rajamangalar University of Technology
Email : w.puangsombut@hotmail.com[1*]

Received: September 15, 2020
Revised: November 20, 2020
Accepted: November 30, 2020

Abstract

This paper presents an integrated collector storage solar water heater with a mixed asphalt absorber plate. It consists of a clear glass cover, an absorber plate made from mixed asphalt, storage tank and insulations. The storage tank contains 100 L of water and 1 m^2 of absorbed area. The measured data showed the maximum mixed asphalt temperature and maximum water temperature in the storage tank are 67°C and 63°C, respectively. The maximum and minimum hourly efficiencies are 62% and 20%, respectively. Additionally, the mean daily efficiency is 43.5%. The result showed that the mixed asphalt absorber plate is effective to provide thermal performance of integrated collector storage solar water heater with mixed asphalt absorber plate.

Keywords : Integrated collector storage solar water heater, Mixed asphalt, Storage tank, Absorber plate, Thermal performance, Efficiency

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกทวีปทั่วโลกเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดและสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในรูปพลังงานไฟฟ้า [1] และพลังงานความร้อน [2] ในบางกรณีสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน [3] และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่บนแนวเส้นศูนย์สูตรมีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวันประมาณ 17 MJ/m^2-day [4] มีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ได้

อุปกรณ์สำหรับผลิตน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือ “เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์” เป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบเพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ทั่วไปจะเป็นเครื่องทำน้ำร้อนฯ ที่มีตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ [5] เหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงมาก คือ ประมาณ 50-60°C หรือประมาณ 80-90°C ในกรณีตัวดูดรังสีเป็นแบบผิวเลือกรังสีและมีแผ่นปิดด้านบนมากกว่าหนึ่งชั้นในปี พ.ศ. 2556 [6] ได้นำ “ยางมะตอยสำเร็จรูป” ผลิตเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งเป็นวัสดุที่ขึ้นรูปง่าย ราคาถูก หาซื้อง่ายและสะสมความร้อนได้ดี ต่อมาในปี พ.ศ.2558 [7] ได้เสนอ “เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อนใต้กระเบื้องมุงหลังคา” ใช้หลักการการแผ่รังสีความร้อนจากใต้ท้องกระเบื้องมุงหลังคาแผ่รังสีความร้อนให้กับแผงท่อน้ำที่ติดตั้งอยู่ใต้แป ของโครงสร้างหลังคาบ้าน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อนใต้กระเบื้องมุงหลังคา สามารถลดความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากใต้ท้องกระเบื้องผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านได้ในช่วง 5-40 W/m^2 และลดอุณหภูมิในห้องพักอาศัยเฉลี่ย 5°C อีกทั้งยังสามารถผลิตน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ภายในครัวเรือนได้ หลังจากนั้นในปี 2019 [8] และ 2020 [9] ได้ศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แบบใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสีและการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาและการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ โดยติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ยางมะตอยสำเร็จรูปเป็นตัวรับรังสีที่มีขนาด 0.5×1.0 m^2 บนหลังคาบ้านทดสอบ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ยางมะตอยสำเร็จรูปมีสมรรถนะเชิงความร้อนสูง อีกทั้งสามารถนำมาประยุกต์ใช้โดยการติดตั้งบนหลังคาบ้านเพื่อผลิตน้ำร้อนและลดการถ่ายเทความร้อนผ่านเข้าสู่ตัวบ้านได้ประมาณ 5-12 W/m^2 และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2.5 ปี

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมเอาตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนรวมเข้าด้วยกัน [10] เป็นเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอุปกรณ์น้อยและลดการสูญเสียความร้อนที่ท่อทางเดินของน้ำร้อนระหว่างตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อน และพื้นผิวดูดกลืนรังสีเป็นส่วนที่สำคัญในการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ฯ ในปี ค.ศ. 2010 [11] ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนโดยใช้ผิวดูดกลืนรังสีแบบลอนที่ ทำจากแผ่นเหล็กเปรียบเทียบกับแผ่นดูดกลืนรังสีแบบแผ่นเรียบที่ทำจากแผ่นเหล็ก โดยสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะไม่คงตัวเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จากการศึกษาแบบจำลองทำให้ทราบว่าเครื่องทำน้ำร้อนแบบใช้แผ่นดูดกลืนแบบลอนสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถังสะสมความร้อนได้ดีกว่าแผ่นดูดกลืนรังสีแบบแผ่นเรียบ หลังจากนั้น ในปี 2019 [12] ได้ทดลองศึกษาการใช้แผ่นดูดกลืนแบบลอนกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกัน จากการศึกษาแสดงให้

เห็นว่าแผ่นดูดกลืนรังสีแบบลอนทำให้น้ำในถังสะสมความร้อนมีอุณหภูมิในช่วง 58-78°C และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนในช่วง 59-67%

บทความนี้ได้ศึกษาเชิงทดลองใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสีของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกัน โดยการทดลองจะไม่มีการนำพลังงานความร้อนที่สะสมภายในถังสะสมความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ฯ ไปใช้งานตลอดช่วงการทดลอง

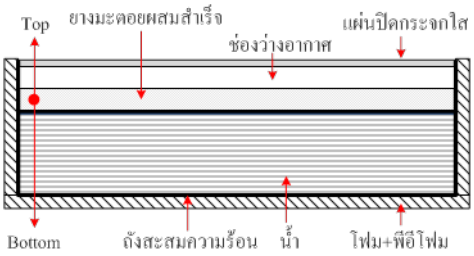
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและทฤษฎี

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี ที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 1 (a) และ (b)

(a) เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ฯ

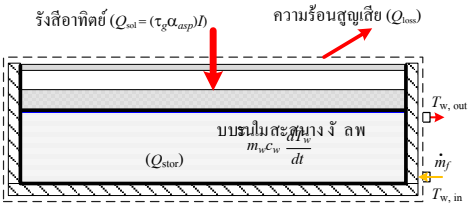


(b) ภาพตัดขวางแสดงส่วนประกอบ

รูปที่ 1 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการ*ตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกัน*โดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี

ซึ่งออกแบบและสร้างโดย “สุดกำแพง” และดำเนินการทดสอบภายใต้การทำงานร่วมกันระหว่าง “สุดกำแพง” และ “สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร” คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ในรูปที่ 1 (b) แสดงส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ฯ ซึ่งประกอบด้วยแผ่นปิดกระจกใสหนา 0.004 m ช่องว่างอากาศขนาด 0.05 m ยางมะตอยผสมสำเร็จหนา 0.03 m ทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนรังสี ถังสะสมความร้อนทำจากเหล็กกัลวาไนซ์หนา 0.0012 m พับขึ้นรูปมีปริมาตรบรรจุ 1.0×1.0×0.1 m^3 (น้ำ 100 L หรือ 100 kg เมื่อความหนาแน่นของน้ำ 1000 kg/m^3, [5]) มีช่องสำหรับน้ำป้อนและช่องสำหรับนำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ ฉนวนกันความร้อนประกอบด้วยโฟมหนา 0.0762 m และพีอีโฟมเคลือบแผ่นสะท้อนความร้อนด้านเดียวหนา 0.01 m

สมดุลพลังงานที่เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี ในรูปที่ 2 และจากสมการอนุรักษ์พลังงาน จะได้



รูปที่ 2 สมดุลพลังงานเครื่องทำน้ำร้อนฯ

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{cv}}{dt} \qquad (1)$$

เมื่อ

$$\dot{E}_{in} = (\tau_g \alpha_{asp}) I A_p \qquad (1.1)$$

$$\dot{E}_{out} = \dot{Q}_{useful} + \dot{Q}_{loss} \qquad (1.2)$$

เมื่อ $\dot{Q}_{useful} = \dot{m}_f c_w (T_{w,out} - T_{w,in})$

$$\dot{Q}_{loss} = U_L A_p (T_{asp} - T_a)$$

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = m_w c_w \frac{dT_w}{dt} \qquad (1.3)$$

โดยการทดลองนี้จะไม่นำพลังงานความร้อนที่สะสมภายในถังสะสมความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ฯ ไปใช้ประโยชน์ $\dot{Q}_{useful} = 0$ แทนค่าในสมการ (1) และจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$m_w c_w \frac{dT_w}{dt} = (\tau_g \alpha_{asp}) I A_p - U_L A_p (T_{asp} - T_a) \qquad (2)$$

เมื่อ

$m_w c_w \frac{dT_w}{dt}$ คือการเปลี่ยนแปลงพลังงานในระบบหรือพลังงานความร้อนที่สะสมภายในระบบ (W)

$(\tau_g \alpha_{asp}) I A_p$ คือพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยตัวดูดกลืนรังสี (W)

$U_L A_p (T_{asp} - T_a)$ คือพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากระบบ (W)

โดยที่

m_w คือ มวลของน้ำในถังสะสมความร้อน (kg)

c_w คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.19 kJ/kg. °C) [5]

T_{asp} คือ อุณหภูมิผิวยางมะตอยผสมสำเร็จ (°C)

T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C)

τ_g คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านกระจก

α_{asp} คือ สัมประสิทธิ์การดูดลืนของยางมะตอยผสมสำเร็จ

I คือ รังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ (W/m^2)

A_p คือ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (m^2)

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (W/m^2. °C)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับ รังสีอาทิตย์ และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี คำนวณได้จาก

$$\eta_{wol} = \frac{\dot{Q}_{stor}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{m_w c_w (T_{w-f} - T_{w-i})}{\int_0^t I A_p dt} \qquad (3)$$

เมื่อ

η_{wol} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันในกรณีที่ไม่คิดพลังงานความร้อนที่เอาไปใช้ประโยชน์ (%)

T_{w-f} คือ อุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อนที่เวลาสุดท้ายของการสะสมความร้อน (°C)

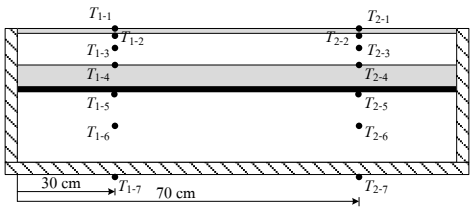
T_{w-i} คือ อุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อนที่เวลาเริ่มต้นของการสะสมความร้อน (°C)

ระเบียบวิธีวิจัย

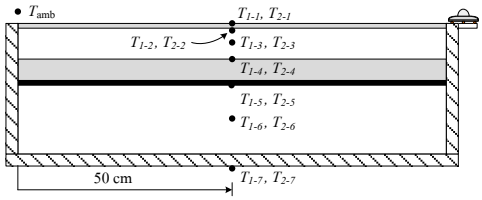
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี ในการทดลองครั้งนี้จะทำการทดสอบโดยวางเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ฯ ในแนวระนาบและ

ไม่นำพลังงานความร้อนสะสมไปใช้ประโยชน์ ตลอดช่วงเวลาการทดลอง (24 ชั่วโมง) และทดลองในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน

อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการทดลองประกอบด้วย สายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K (ช่วงการวัด: 0-1250°C) ต่อตรงเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Hioki: Model 8422-52) อุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ (Kipp & Zonen: Model CMP11) และบันทึกข้อมูลทุก ๆ 10 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง



(a) ภาพแสดงตำแหน่งวัดด้านข้าง



(b) ภาพแสดงตำแหน่งวัดด้านหน้า

รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์

รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองประกอบด้วย อุณหภูมิผิวกระจกด้านบน ($T_{g,\ top}$) อุณหภูมิผิวกระจกด้านล่าง ($T_{g,\ bot}$) อุณหภูมิช่องว่างอากาศ ($T_{air\ gap}$) อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จ(T_{asp}) อุณหภูมิผิวถังสะสมความร้อน (T_{stor}) อุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อน (T_w) และ อุณหภูมิฉนวนกันความร้อนด้านล่าง ($T_{ins,\ b}$) ซึ่งสามารถคำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งได้จาก

$$T_{g,top} = \frac{T_{1-1} + T_{2-1}}{2}$$

$$T_{g,bot} = \frac{T_{1-2} + T_{2-2}}{2}$$

$$T_{air\ gap} = \frac{T_{1-3} + T_{2-3}}{2}$$

$$T_{asp} = \frac{T_{1-4} + T_{2-4}}{2}$$

$$T_{stor} = \frac{T_{1-5} + T_{2-5}}{2}$$

$$T_w = \frac{T_{1-6} + T_{2-6}}{2}$$

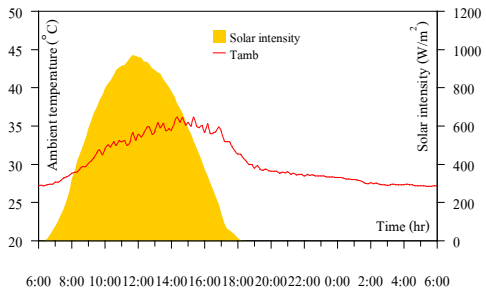
$$T_{ins,b} = \frac{T_{1-7} + T_{2-7}}{2}$$

ผลการวิจัย

การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะเชิงความร้อน ในตัวแปรต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ อุณหภูมิตัวดูดกลืนรังสี อุณหภูมิน้ำร้อนและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ

1. สภาวะอากาศแวดล้อม

รูปที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและค่ารังสีอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าไม่มีผลกระทบจากเงาที่เกิดการเคลื่อนที่ของเมฆ เงาจากสิ่งปลูกสร้างและต้นไม้



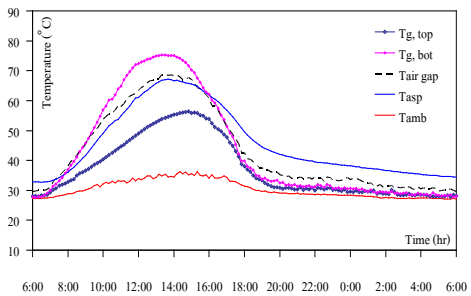
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

ซึ่งค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดอยู่ที่ 950 W/m^2 และ 36°C ตามลำดับ และ

ในช่วงเวลา 18:00-06:00 น. อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าลดลงตามช่วงเวลา

2. การกระจายอุณหภูมิ

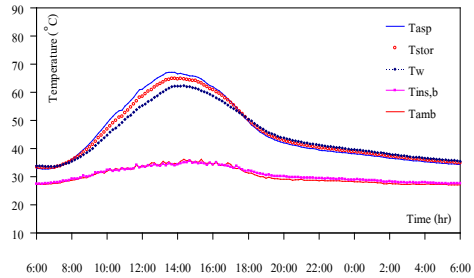
จากการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการทดลองตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่ผิวกระจกด้านบนความร้อนส่วนหนึ่งถูกสะท้อน ($\rho_s I$) ออกสู่สิ่งแวดล้อม กระจกดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ($\alpha_s I$) และแสงอาทิตย์ส่งผ่าน ($\tau_s I$) กระจกและถูกดูดกลืนด้วยยางมะตอยผสมสำเร็จ ($\tau_s \alpha_{asp} I$) ทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายในยางมะตอยผสมสำเร็จ จากนั้นความร้อนบางส่วนสูญเสียจากผิวยางมะตอยผสมสำเร็จ ไปสู่ผิวกระจกด้านในและอากาศที่อยู่ในช่องว่างอากาศ ความร้อนที่เหลือถ่ายเทผ่านยางมะตอยผสมสำเร็จให้กับผิวด้านบนของถังสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ในถัง ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวกระจก อุณหภูมิช่องว่างอากาศ อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จ และ*อุณหภูมิอากาศแวดล้อม*

ในรูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวกระจกด้านบนและด้านล่าง อุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศและอุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จ จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. อุณหภูมิผิวกระจกด้านบนมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิผิวกระจกด้านล่าง ทั้งนี้เนื่องจากผิวกระจกด้านบนเกิดการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนโดยลมและการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างสิ่งแวดล้อมกับผิวกระจกด้านบนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ ในส่วนของอุณหภูมิผิวกระจกด้านล่างมีอุณหภูมิสูงเกิดจากการสะสมความร้อนภายในเนื้อกระจกส่วนหนึ่งและการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างผิวยางมะตอยผสมสำเร็จกับผิวกระจกด้านล่าง และอีกส่วนมาจากอากาศร้อนที่อยู่ในช่องว่างอากาศลอยตัวสัมผัสกับผิวกระจกด้านล่าง จึงทำให้ผิวกระจกด้านล่างมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 75°C ที่เวลา 13:50 น. และหลังจากนั้นจะเห็นว่าอุณหภูมิผิวกระจกทั้งด้านบนและด้านล่างจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องกระทั่งเข้าใกล้อุณหภูมิอากาศแวดล้อม

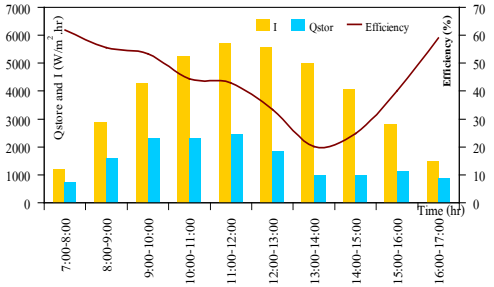
ในส่วนอุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จ มีรูปแบบอุณหภูมิ 3 ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน คือ ช่วงที่ 1 ที่ 6:00-8:00 น. อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จมีอุณหภูมิอยู่ที่ 33°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมอยู่ 6.5°C ช่วงที่ 2 ที่ 8:00-18:00 น. อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 67°C ที่เวลา 13:50 น. และอุณหภูมิลดลงจนถึง 50°C ที่เวลา 18:00 น. และช่วงที่ 3 ที่ 18:00-6:00 น. อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งในช่วงที่ 3 นี้ อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จมีค่าแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อยู่ 7.5-13°C ทั้งนี้เกิดจากความสามารถในการกักเก็บความร้อนและชะลอการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศแวดล้อม ซึ่งพฤติกรรมนี้เรียกว่า ความเฉื่อยอุณหภาพ (Thermal inertia) ซึ่งอาจอ้างอิงในชื่อ มวลอุณหภาพ (Thermal mass) ส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำในถังสะสมความร้อนในช่วงที่ 1 มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมด้วยเช่นกัน



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิยางมะตอยสำเร็จรูป อุณหภูมิถังสะสมความร้อนอุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อน อุณหภูมิฉนวนด้านล่างและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

รูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จ อุณหภูมิผิวด้านบนถังสะสมความร้อน อุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อน จะเห็นได้ว่าที่เวลา 8:00-13:50 น. ความร้อนถ่ายเทจากยางมะตอยผสมสำเร็จผ่านผิวด้านบนของถังสะสมความร้อนให้กับน้ำในถังสะสมความร้อนได้ดี ทำให้อุณหภูมิสูงสุดที่ยางมะตอยผสมสำเร็จ ผิวด้านบนถังสะสมความร้อนและน้ำในถังสะสมความร้อน อยู่ที่ 67°C, 64.5°C และ 63°C ตามลำดับ และหลังจากเวลา 13:50 น. อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จ อุณหภูมิผิวด้านบนถังสะสมความร้อนและอุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อนมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ กระทั่งเวลา 17:30 น. ยางมะตอยผสมสำเร็จมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าผิวด้านบนถังสะสมความร้อนและน้ำในถังสะสมความร้อน เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากยางมะตอยผสมสำเร็จให้กับอากาศแวดล้อมและค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบบนเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ มีค่าลดลง ตามช่วงเวลา

ส่วนอุณหภูมิฉนวนที่ด้านล่างของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมตลอดทั้งวันทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียความร้อนที่ฉนวนด้านล่างมีค่าน้อยมาก



รูปที่ 7 ความร้อนสะสมในถังสะสมความร้อนค่ารังสีอาทิตย์และประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถคำนวณค่าพลังงานความร้อนสะสมภายในถังสะสมความร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเครื่องทำน้ำร้อนรายชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าน้ำในถังสามารถสะสมความร้อนได้ในช่วง 700-2,500 $W/m^2.hr$ (7:00 – 12:00 น.) และหลัง 12:00 น. การสะสมความร้อนมีค่าลดลงเนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกระทบเครื่องทำน้ำร้อนมีค่าลดลง

นอกจากนี้ในรูปที่ 7 ยังแสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนรายชั่วโมงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนรายชั่วโมงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ นั้นคำนวณจากพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่รับแสงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ ($\dot{Q}_{in}$) และพลังงานความร้อนสะสมในถังสะสมความร้อน ($\dot{Q}_{stor}$) ซึ่งมีค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ 62% และ 20% ตามลำดับ (กรณีที่ไม่นำพลังงานความร้อนไปใช้งานตลอดการทดลอง) และเมื่อนำข้อมูลมาคิดค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ กรณีไม่นำพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์ จะได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ เท่ากับ 43.5%

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี นั้นเพื่อทราบถึงความสามารถในการดูดกลืนรังสีของยางมะตอยผสมสำเร็จและการสะสมความร้อนของน้ำในถังสะสมความร้อน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยไม่นำพลังงานความร้อนสะสมในถังสะสมความร้อนไปใช้ประโยชน์จากการศึกษาทราบว่ายางมะตอยผสมสำเร็จมีความสามารถในการดูดกลืนความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถังสะสมความร้อนได้ดีอีกทั้งตัวดูดกลืนรังสีที่ทำจากยางมะตอยผสมสำเร็จยังสามารถชะลอการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมได้ดีด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลองในช่วงเวลา 18:00-6:00 น. อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงเวลา ทำให้อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จและอุณหภูมิน้ำ ในถังสะสมความร้อนเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี ทำให้ยางมะตอยผสมสำเร็จมีความน่าสนใจในการนำไปเป็นตัวดูดกลืนรังสีสำหรับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี ในครั้งนี้เป็นการศึกษาโดยไม่นำพลังงานความร้อนสะสมในถังสะสมความร้อนไปใช้ประโยชน์ การศึกษาที่เสนอแนะในครั้งต่อไป คือ

1. ศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี ในกรณีที่นำพลังงานความร้อนสะสมไปใช้ประโยชน์ ที่อัตราการไหลของน้ำป้อนที่แตกต่างกัน

2. การออกแบบและนำเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี ไปใช้งานร่วมกับอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

3. ศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินจุดคุ้มทุนในการนำเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสีไปประยุกต์ใช้งานในกรณีต่าง ๆ เช่น บ้านพักอาศัย อาคารที่อยู่อาศัย และ/หรือสำนักงาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ “สุดกำแพง” (switched2020@gmail.com) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี และให้ทุนสนับสนุนสำหรับงานวิจัยนี้ อีกทั้งให้คำแนะนำเชิงวิชาการสำหรับงานวิจัย

References

[1] S. Phiraphat, R. Prommas and W. Puangsombut, “Experimen-tal study of natural convection in PV roof solar collector,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 89,pp. 31-38, December 2017.

[2] T. Cheewanantachai and W. Puangsombut, “Solar sauna room,” *E-Nett 2552, National Conference*, Nakhon Pathom, 2552, (SE04).

[3] S. Phiraphat, *"Enhancement of photovoltaic performance by air circulation channel"*, Ph.D. Thesis (Sustainable Energy and Environment), Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, TH, 2017.

[4] N. Vatcharasatien, J. Hirunlabh, J. Khedari and M. Daguenet, "Design and analysis of solar thermoelectric power generation system," *International Journal of Sustainable Energy*, Vol.24, No.3, 2005, pp. 115-127.

[5] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Process*, A Wiley-Interscience Publication, New York, 1980.

[6] https://www.researchgate.net/publication/326735132_kheruxngthanarxnphlangngansaengxathitybaebchiyangmatxypentawrabrangsixathity, 2556

[7] https://www.researchgate.net/publication/344239288_SWH-RT, 2558

[8] J. Pukdum, T. Phengpom and K. Sudasna, "Thermal performan-ce of mixed asphalt solar water heater," *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol. 9, no. 2, pp. 712-720, June 2019.

[9] J. Pukdum, K. Sudasna and T. Phengpom, "Experimental study on heat gain reduction and economic evaluation of mixed asphalt solar water heater," *Journal of Engineering an Applied Science*, Vol. 15, no. 1, pp. 327-334, 2020.

[10] M. Smyth, P. C. Eames and B. Norton, "Integrated collector storage solar water heaters," Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. 10, no. 6, pp. 503-538, December 2006.

[11] R. Kumar and M. A. Rosen, "Thermal performance of integrated collector storage solar water heater with corrugated absorber surface," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 30, no. 13, pp. 1764-1768, September 2010.

[12] T. A. Yassen, N. D. Mokhlif and M. A. Eleiwi, "Performance investigation of an integrated solar water heater with corrugated absorber surface for domestic use," *Renewable Energy*, Vol.138, pp. 852-860, August 2019.