

เครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์แบบประหยัด

Economical Solar Water Warmer

คมสัน วงศ์วีระชันธุ์¹ ประณต แก้วทอง¹ เขษมพงษ์ สงสอน¹

Received: August, 2012; Accepted: December, 2012

บทคัดย่อ

เพราะว่าการใช้น้ำร้อนภายในที่พักอาศัยจะต้องการน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 50°C ดังนั้น วัตถุประสงค์ของบทความนี้จะกล่าวถึง การออกแบบสร้างและทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดที่ใช้ท่อพีวีซี (Class 13.5 ค่าการนำความร้อน 0.16 W/m².K) เป็นท่อน้ำที่ไหลผ่านเพื่อรับความร้อนภายในตัวรับรังสีอาทิตย์แทนการใช้ท่อทองแดงที่มีราคาแพง วิธีทำจะขึ้นรูปแผ่นสังกะสีหนา 0.8 มม. เป็นร่องตัววีขนาดร่องเท่ากับท่อพีวีซีขนาด \varnothing 1½ นิ้ว (40 มม.) ยึดแผ่นสังกะสีร่องตัววีติดกับแผ่นประกบด้านหลังที่ทำจากวัสดุ 2 ชนิด เพื่อใช้เป็นแผ่นดูดซับความร้อน แบบที่ 1 ใช้แผ่นสังกะสี หนา 0.8 มม. แบบที่ 2 แผ่นใช้แผ่นอลูมิเนียม หนา 0.8 มม. โดยตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เอียง 30° กับแนวระดับ ขนาดของแผงรับความร้อนจะอยู่ในพื้นที่ 1.44 ม.² ความจุถังบรรจุน้ำไม่เกิน 40 ลิตร จากนั้นทดลองเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 09.00 - 17.00 น. คำนวณเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและวัดค่าอุณหภูมิน้ำที่ท่อทางออกของทั้งสองแบบพบว่า แบบที่ 1 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน 75.69% อุณหภูมิทางออกของน้ำมีค่าสูงสุด 49.5°C แบบที่ 2 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน 85.28% อุณหภูมิทางออกของน้ำมีค่าสูงสุด 48.5°C ตามลำดับ

คำสำคัญ : เครื่องทำน้ำอุ่น, พลังงานแสงอาทิตย์

¹ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น
E-mail: Wsan_@hotmail.com

Abstract

Since a majority of residential hot water needs about 50°C .Then this paper describes the design, construction and the thermal efficiency test result of economical water warmer devices. The test unit uses PVC pipe class 13.5 (heat transfer coefficient, $k=0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$) for water flow instead of the costly copper pipe. An absorber plate is made from the zinc sheet 0.8 mm. thickness in V-shape equal PVC pipe 1 ½ inch. in diameter.(40mm.) This is tightened with two types of back plate. The first type is zinc plate and the second is an aluminium plate. The unit has area 1.44 m² tilted 30° with horizontal plane and storage tank contain 40 liters warm water. After that experiment and calculation are done to compare the thermal efficiency of two types from 9 A.M.- 5 P.M. The results found that the first and the second type has thermal efficiency and the maximum hot water exit is 75.69 %, 49.5°C and 85.28 %, 48.5°C respectively.

Keywords : water warmer, solar energy

บทนำ

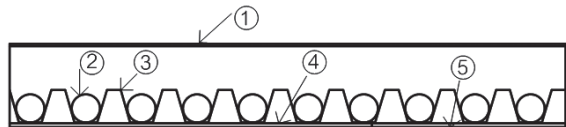
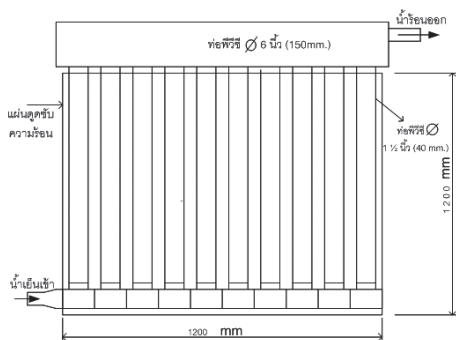
ปัจจุบันมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กันอย่างแพร่หลาย ที่พบเห็นกันมาก คือ การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะในต่างประเทศได้มีการค้นคว้าวิจัยกันต่อเนื่องตลอดมา ส่วนในประเทศไทยการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายกันมากนัก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างตัวรับรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) มีราคาแพงเมื่อเทียบกับการซื้อเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้ามาใช้ ราคาเครื่องทำน้ำร้อนประมาณ 2,500 - 4,000 บาท/เครื่อง ในขณะที่ระบบการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ในปัจจุบันจะต้องใช้งบประมาณสูงถึง 30,000 บาท (ปรีดา, 2542; ประณต และคณะ, 2554) ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ต้องการผลิต อายุการใช้งานของแผง ประมาณ 5 - 10 ปี ดังนั้นผู้ที่ใช้จึงต้องพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนและการประหยัดพลังงาน ลดค่าใช้จ่ายจะต้องเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ คือ การผลิตน้ำร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งเป็นตัวที่ให้น้ำไหลผ่านท่อทองแดงเพื่อรับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ เป็นระบบการทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบตัวรับรังสีอาทิตย์ ระบบจะเริ่มทำงาน แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ จะถูกดูดซับและส่งผ่านความร้อนให้กับน้ำ ซึ่งอยู่ภายในท่อทองแดงที่ยึดแน่นได้ตัวรับแสงอาทิตย์ น้ำจะเกิดการไหลเวียนตามธรรมชาติ และรับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเช่นนี้ตลอดเวลา น้ำร้อนในถังเก็บจะมีอุณหภูมิสูงถึง 60 - 80°C

การศึกษาทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนนี้ เป็นการออกแบบสร้างตัวรับแสงอาทิตย์ราคาถูกเพื่อการทำน้ำร้อนใช้ภายในที่พักอาศัย ในจังหวัดขอนแก่น ใช้วัสดุที่ทำซื้อได้ง่าย ราคาถูกคือ ให้น้ำไหลผ่านท่อพีวีซี (PVC : Polyvinyl

chloride) ที่ติดตั้งไว้ในตัวรับรังสีอาทิตย์ แทนการใช้ท่อทองแดงซึ่งมีราคาแพงที่มีการสร้างขึ้นมาใช้ทั่วไป ท่อพีวีซีจะมีค่าการนำความร้อน 0.16 W/m.K ทนความร้อนได้สูง มีจุดหลอมละลายที่ 210°C อายุใช้งานประมาณ 3 ปี มีขายตามร้านขายวัสดุทั่วไป ซึ่งสามารถทำน้ำอุ่นได้ $\geq 45^\circ\text{C}$ จะทำให้ได้เครื่องทำน้ำอุ่นราคาประหยัดที่สำคัญจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้า และประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนประมาณ 200 บาท (ปรีดา, 2542; ประณต และคณะ, 2554; การไฟฟ้า

ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2555) การสร้างแผ่นดูดซับความร้อนภายในตัวรับแสงอาทิตย์ ทำโดยการขึ้นรูปแผ่นสังกะสีหนา 0.8 มม. เป็นร่องตัววีขนาดความกว้างร่องเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางท่อพีวีซี $1 \frac{1}{2}$ นิ้ว (40 มม.) สำหรับรองรับท่อ และยึดติดกับแผ่นประกบด้านหลังที่ทำจากวัสดุ 2 ชนิด แบบที่ 1 ใช้แผ่นสังกะสี หนา 0.8 มม. แบบที่ 2 แผ่นใช้แผ่นอลูมิเนียม หนา 0.8 มม. โดยตั้งตัวรับแสงอาทิตย์เอียง 30° กับแนวระดับ ขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์จะอยู่ในพื้นที่ 1.44 m^2 ความจุถังบรรจุน้ำไม่เกิน 40 ลิตร ตามรูปที่ 1



1) แผ่นกระจกใสปิดด้านบน 2) ท่อพีวีซี 3) แผ่นสังกะสีพับขึ้นรูปเป็นร่องตัววีปลายตัด 4) แผ่นสังกะสีหรือแผ่นอลูมิเนียมยึดติดแน่นกับแผ่นสังกะสีขึ้นรูป 5) ไม้อัดแผ่นเรียบปิดด้านหลังของตัวรับแสงอาทิตย์ เป็นฉนวนกันความร้อนออก

รูปที่ 1 วงจรการเดินท่อพีวีซีบนแผ่นสังกะสีที่ขึ้นรูปเป็นร่องตัววี

สัญลักษณ์ อักษรย่อ

| | | | |
|----------|--|-------------|--|
| a | ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ | I_{bt} | รังสีที่กระทำกับพื้นผิวเอียง (kW/m^2) |
| Q | ความร้อนที่ได้จากเครื่องทำน้ำอุ่น | W | |
| η | ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำอุ่น | I_b | รังสี ที่กระทำกับพื้นราบ (kW/m^2) |
| M | มวลของน้ำที่ถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น, | Z_s | มุมของดวงอาทิตย์ในแนวราบ |
| C_w | ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ | T_{ic} | อุณหภูมิภายในตัวรับแสงอาทิตย์ $^\circ\text{C}$ |
| T_o | อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำอุ่น | T_p | อุณหภูมิของแผ่นรับความร้อน $^\circ\text{C}$ |
| T_i | อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำที่ไหลเข้าระบบ | T_g | อุณหภูมิของแผ่นกระจก $^\circ\text{C}$ |
| A_c | พื้นที่ของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ | $T_{w,in}$ | อุณหภูมิของน้ำทางเข้า $^\circ\text{C}$ |
| t | เวลา hr | $T_{w,out}$ | อุณหภูมิของน้ำทางออก $^\circ\text{C}$ |
| I_o | รังสีที่กระจายบนพื้นผิวราบ | T_{amb} | อุณหภูมิของอากาศรอบตัวรับแสงอาทิตย์ $^\circ\text{C}$ |
| ϕ | มุมละติจูดที่ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ติดตั้งอยู่ (องศา) | Q_{rate} | อัตราการถ่ายโอนความร้อน W/m^2 |
| I_T | รังสีรวมบนพื้นเอียง kW/m^2 | s | มุมที่ตัวรับรังสีเอียงไปจากแนวระดับ (องศา) |
| I_d | รังสีกระจาย kW/m^2 | I_b | รังสีตรงบนพื้นราบ kW/m^2 |
| N | จำนวนวันทั้งหมดของปี | I_{gr} | รังสีสะท้อนกลับ kW/m^2 |
| δ | มุมที่ดวงอาทิตย์ค่อนเที่ยงวันทำมุมกับแกนระนาบเส้นศูนย์สูตร (องศา) | | |
| ω | มุมของแต่ละชั่วโมง โดยกำหนดเวลาไว้ที่เที่ยงวันสุริยะเทียบเป็นศูนย์ ให้แต่ละชั่วโมง มีค่า 15 องศา ก่อนเที่ยง มีค่าเป็นลบ หลังเที่ยงมีค่าเป็นบวก | | |
| R_p | อัตราส่วนของรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนพื้นราบ | | |

มีการศึกษาหลากหลายถึงความเป็นไปได้ในการที่จะนำท่อที่ทำจากวัสดุอื่นนอกจากท่อทองแดงมาใช้เป็นท่อทางเดินของน้ำภายในระบบเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสร้างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ อาทิ เช่น J.Preeda (ปริศา, 2542) ได้ศึกษาออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายเพื่อใช้ในบ้าน ราคาถูก โดยใช้ท่อพีวีซีแทนท่อทองและใช้ฟางข้าวเป็นแผ่นฉนวนด้านหลังเครื่อง โดยมีพลาสติกใสปิดด้านหน้าแทนการใช้แผ่นกระจกใส และแบบใช้แผ่นกระเบื้องซีแพคโมเนียเป็นแผ่นฉนวนและสะสมความร้อนได้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงมากกว่า 40°C ต่อมา (ประณต และคณะ, 2554) ได้ศึกษาเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด โดยใช้ท่อพีวีซีเป็นท่อน้ำภายในระบบ พบว่า มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 52.6 % (P.B.L. Chaurasia, 2000) ได้ศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำจากคอนกรีต ท่อน้ำภายในตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นท่ออลูมิเนียม ไม่มีแผ่นกระจกปิดด้านบนและไม่มีฉนวนหุ้มที่ด้านล่างของแผงเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบตัวรับรังสีอาทิตย์ราคาถูก พบว่า ประสิทธิภาพในการให้ความร้อนกับน้ำภายในท่อมมีค่าต่ำ (K.Sopian and J.Sahari, 1994) ได้ทำการศึกษาสรรณณะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ท่อพลาสติกอ่อนหรือท่ออย่างธรรมชาติ (thermoplastic natural rubber tube) โดยท่ออย่างธรรมชาติสีดำทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ เป็นท่อใส่น้ำในส่วนของการรับรังสีอาทิตย์และเป็นตัวดูดซับความร้อนด้วย ระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบท่อวางในแนวนอน การไหลภายในระบบใช้หลักการกาลักน้ำ บันทึกข้อมูลทั้งหมด 6 วัน พบว่าอุณหภูมิของน้ำภายในถังพักอยู่ระหว่าง 60 - 70°C (Abdul Jabbar N., 2009) ได้ศึกษาสรรณณะของวัสดุที่ใช้เคลือบผนังของถังเก็บน้ำร้อนในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเลือกใช้วัสดุเคลือบผนัง

ของถังเก็บน้ำร้อน 3 ชนิดคือ 1 คอนกรีต 2 เกลือไฮเดรท และ 3 พาราฟินในรูปซีฟิ่ง พบว่า ผนังที่เคลือบด้วยเกลือไฮเดรท หนา 80 มม. มีประสิทธิภาพดีที่สุดสามารถรักษาอุณหภูมิได้ดีที่สุด (P.B.L. Chaurasia, 2000) ได้ศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำจากคอนกรีต ท่อน้ำภายในตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นท่ออลูมิเนียม ไม่มีแผ่นกระจกปิดด้านบนและไม่มีฉนวนหุ้มที่ด้านล่างเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบตัวรับรังสีอาทิตย์ราคาถูก พบว่าประสิทธิภาพในการให้ความร้อนกับน้ำภายในท่อมมีค่าต่ำ L.M. Ayompe. (L.M. Ayompe. A. Duffy, 2011) ได้ศึกษาสรรณณะของตัวรับรังสีอาทิตย์ 2 แบบ คือ แบบแผ่นราบ พื้นที่ 2 ม² กับแบบท่อสุญญากาศ พื้นที่ 3 ม² ในสภาวะของอากาศเดียวกัน พบว่าแผงแบบแผ่นและแบบท่อสุญญากาศ มีประสิทธิภาพ 46.1 % และ 40.7 % ประสิทธิภาพของระบบ 37.9 % และ 50.3 % ตามลำดับ (W.M.K. Van Nieker And T.B.Scheffler, 1993) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสรรณณะของเครื่องทำน้ำร้อน โดยใช้ท่อ PP (polypropylene) เป็นตัวดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ หลายแบบ เช่น ระยะห่างระหว่างท่อ และความสูงของท่อจากฉนวนที่ด้านหลัง (h) พบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนไม่ขึ้นกับระยะ h

วิธีดำเนินการวิจัย

การคำนวณสมการของเวลา (Equation of Time, ET)

ค่าของสมการของเวลาเป็นฟังก์ชันของวันแต่ละปี (N) สามารถหาได้จากสมการ

$$ET = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B) \quad (\text{min}) \quad (1)$$

และ $B = (N - 81) \frac{360}{364}$ (2)

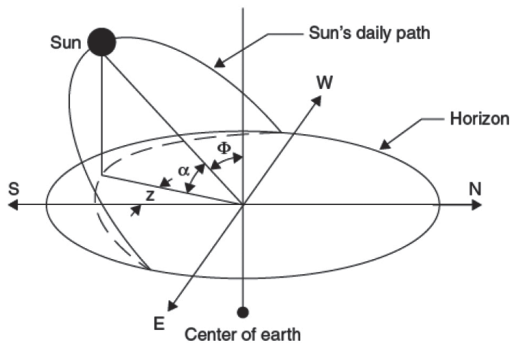
การคำนวณมุมลาดเอียงของดวงอาทิตย์ (Solar declination, δ)

การเปลี่ยนแปลงมุมลาดเอียงของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี δ เป็นองศา ของวันใดในหนึ่ง ของปี (N) สามารถคำนวณได้จากสมการของ ASHRAE, 2007 ดังนี้

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad (3)$$

การคำนวณมุมของดวงอาทิตย์ในแนวราบ (Solar Azimuth angle, z)

มุมของดวงอาทิตย์ในแนวราบ คือ มุมของดวงอาทิตย์ที่วัดในแนวระนาบอ้างอิงจากทิศใต้ สำหรับซีกโลกเหนือ หรือจากทิศเหนือ สำหรับซีกโลกใต้ ตำแหน่งที่ไปทางทิศตะวันตก มีค่าเป็นบวก คำนวณได้จากสมการ ดังนี้



รูปที่ 2 เส้นทางของดวงอาทิตย์ตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นถึงดวงอาทิตย์ตก

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta) \sin(h)}{\cos(\alpha)} \quad (4)$$

Noon altitude angle, α_n หาได้จากสมการ

$$\alpha_n = 90^\circ - L + \delta \quad (5)$$

$$\cos(h_{ss}) = -\tan(L) \tan(\delta) \quad (6)$$

การคำนวณมุมระดับความสูงของดวงอาทิตย์ (Solar altitude angle, α)

มุมระดับความสูงของดวงอาทิตย์ คือ มุมระหว่างรังสีของดวงอาทิตย์ที่เปล่งออกมากับแนวระนาบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 ซึ่งสัมพันธ์กับมุมที่อยู่ระหว่างตำแหน่งดวงอาทิตย์กับแนวระดับ (solar zenith angle) Φ ที่เป็นมุมระหว่างรังสีดวงอาทิตย์กับแนวตั้ง ดังนั้น จะได้ว่า

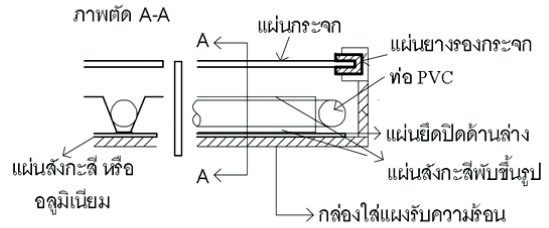
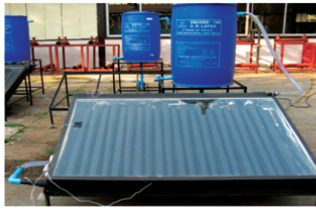
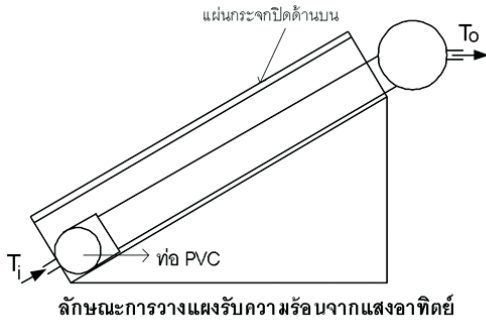
$$\Phi + \alpha = \pi / 2 = 90^\circ \quad (7)$$

Solar altitude angle, α หาได้จากสมการ

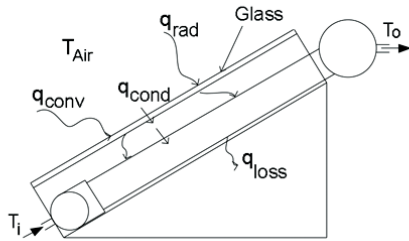
$$\begin{aligned} \sin(\alpha) &= \cos(\Phi) = \sin(L) \\ \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \end{aligned} \quad (8)$$

วิธีการสร้างและการทดลอง

ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่สร้างขึ้น พื้นที่ภายในแผง 1.44 ม² ตามรูปที่ 3 ประกอบด้วย แผ่นดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์ ทำจากสังกะสีแผ่นเรียบขึ้นรูปลักษณะเป็นตัววีร่องตั้ง ความกว้างของร่องเท่ากับขนาด \varnothing ของท่อ พีวีซี ยึดติดกับแผ่นสังกะสีแผ่นเรียบ หรือแผ่นอลูมิเนียม ปิดด้านหลังด้วยแผ่นกระจกแบบโปร่งใส ขนาดความหนา 3 มม. ซึ่งจะทำหน้าที่กระจายความร้อนและป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการพาและการแผ่รังสีสู่ภายนอก ภายในกล่องมีแผ่นไม้อัดปิดด้านหลัง บุด้วยฉนวนกันความร้อนทำจากใยแก้วทำหน้าที่กักเก็บความร้อนจากภายในกล่อง มีระบบท่อน้ำไหลหมุนเวียนภายในแผงรับความร้อน โดยใช้ท่อพีวีซีขนาด \varnothing 1½ นิ้ว (40 มม.) ด้านนอกต่อเชื่อมกับถังเก็บน้ำร้อนขนาดความจุ 200 ลิตร มีท่อต่อออกไปใช้งาน และต่อสำหรับให้น้ำอุ่นที่ยังไม่ใช้งานไหลหมุนเวียนกับมารับความร้อนภายในแผงตลอดเวลา



แสดงรายละเอียดภายในแผงรับความร้อน



รูปที่ 3 รูปแบบของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นที่สร้างขึ้นและการสมดุลทางความร้อน

การสมดุลทางความร้อนของเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 3 เป็นเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ท่อพีวีซีเป็นตัวรับความร้อนจากแสงอาทิตย์แล้วถ่ายโอนให้กับน้ำ มีหลักการ-ทำงาน ดังนี้ เมื่อรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ตกกระทบกับพื้นผิวของท่อพีวีซี ที่ทาสีดำทำให้มีการดูดซับเอาความร้อนไว้ได้มาก ความร้อนที่ผิวท่อด้านนอกจะซึมผ่านเข้าไปยังผิวท่อด้านในด้วยการนำ และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อโดยการพา น้ำที่ทางเข้าจะมีอุณหภูมิ ต่ำ (T_i) เมื่อรับเอาความร้อนจากท่อพีวีซี จะมีอุณหภูมิที่ทางออกสูงขึ้น (T_o) และไหลเข้าสู่ท่อพักน้ำที่มีอุณหภูมิสูง จะมีความหนาแน่นต่ำและจะลอยขึ้นไปสู่ส่วนบนของท่อพัก น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำความหนาแน่นจะมากกว่า จะอยู่ส่วนล่างของท่อพัก เมื่อมีการเปิดใช้น้ำจากระบบน้ำเย็นจากภายนอกก็ไหลเข้ามาแทนที่หมุนเวียนอย่างนี้ตลอดไป

การสมดุลทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ เป็นไปตามสมการ

$$(q_{conv} + q_{rad})_{\text{ภายนอก}} = q_{cond} = (q_{conv} + q_{rad})_{\text{ภายใน}} + q_{loss}$$

รังสีความร้อนสุทธิบนตัวรับความร้อนในแนวเอียง (Total radiation on tilted surface)

ตามปกติแล้วตัวรับรังสีอาทิตย์ส่วนมากจะติดตั้งไว้ในแนวเอียงทำมุมกับแนวระดับ เพื่อให้สามารถรับความร้อนได้มากขึ้น ลดปริมาณการสะท้อนกลับ ดังนั้นผู้ออกแบบระบบจึงต้องมีความรู้มีข้อมูลเกี่ยวกับการแผ่รังสีความร้อน โดยเฉพาะตัวรับรังสีอาทิตย์ที่วางในแนวเอียงกับแนวระดับ จะต้องปรับข้อมูลของตัวรับรังสีอาทิตย์ในแนวระดับมาใช้กับแนวพื้นผิวเอียง ปริมาณรังสีความร้อนที่กระทบกับผิวหน้าของตัวรับรังสีอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งการติดตั้ง เช่น ขั้วโลกเหนือ ขั้วโลกใต้ หรือบริเวณเส้นศูนย์สูตร และมุมเอียงของแผง การแผ่รังสีความร้อนจะประกอบด้วยรังสีตกบนพื้นราบ (I_p)

รังสีกระจาย (I_d) และรังสีสะท้อนกลับ (I_{g-r}) เป็นไปตามความสัมพันธ์

$$I_T = I_{bt} + I_{dt} + I_{gt} \quad (9)$$

ตามภาพที่ 3 จะได้ว่า

$$I_{bt} = I_{bn} \cos \theta \quad (\text{พื้นผิวเอียง}) \quad (10)$$

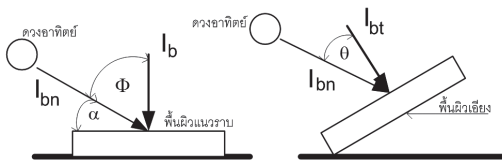
และ

$$I_b = I_{bn} \cos \Phi \quad (\text{พื้นผิวนอนระดับ}) \quad (11)$$

และได้ว่า

$$R_b = \frac{I_{bt}}{I_b} = \frac{\cos \theta}{\cos \Phi}$$

$$I_{bt} = I_b \cdot R_b$$



รูปที่ 4 รังสีที่ตกกระทบบนตัวรับรังสีอาทิตย์ในแนวระดับและตัวรับรังสีอาทิตย์ในแนวเอียง

ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวรับรังสีอาทิตย์ในแนวเอียง

รังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้ตามสถานที่ต่างๆ จะเป็นค่าความเข้มของรังสีต่อชั่วโมงที่ตกกระทบบนแนวราบ แต่เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับรังสีอาทิตย์มักจะทำมุมต่างๆ กับแนวราบ ดังนั้นจึงต้องมีการหาค่าตัวแปรสำหรับเปลี่ยนค่ารังสีบนพื้นราบให้เป็นรังสีบนพื้นเอียง ทำได้จากสมการดังนี้

$$I_T = I_b \times R_b + I_d \quad (12)$$

ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ (Flat plate solar collection) โดยทั่วไปจะวางไว้ในแนว

ที่จะสามารถรับรังสีอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน และจะหันหน้าไปทางทิศใต้สำหรับพื้นที่ที่อยู่เหนือแนวเส้นศูนย์สูตร ค่า R_b จะหาได้จากสมการของ Hottel and Woertz

$$R_b = \frac{\cos(\phi-s)\cos\delta\cos\omega + \sin(\phi-s)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta} \quad (13)$$

เนื่องจากตัวรับรังสีอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมาจากความแตกต่างระหว่างเส้นรุ้งและมุมเอียงของตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย ค่าต่างๆ ที่แทนลงในสมการจะทำให้ค่า R_b เข้าใกล้ 1 ดังนั้นสมการ (12) ค่ารังสีตกกระทบบนพื้นเอียงจะคำนวณได้ดังนี้

$$I_T = I_b + I_d \quad (14)$$

$$\frac{I_d}{I_o} = k_T \quad (\text{ค่า } K_T = 0.22-0.82) \quad (15)$$

จังหวัดขอนแก่นอยู่ที่เส้นรุ้ง (Latitude) $16^\circ 30'$ เหนือ ϕ เส้นแวง (Longitude) $102^\circ 47'$ ตะวันออก γ

ค่า I_o หาได้จากสมการ

$$I_o = \frac{12 \times 3600 \times G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360 N}{365} \right) \times \cos \theta_z \quad (16)$$

G_{sc} คือ ค่าคงที่ของรังสีอาทิตย์ มีค่า = 1367 W/m^2 (John A.Duffie, 1980)

เดือนที่ทดลอง คือ เดือนมีนาคม $N = 75$, เดือนเมษายน $N = 105$ (John A.Duffie, 1980)

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (17)$$

ω = มุมแต่ละชั่วโมงของดวงอาทิตย์ที่เวลา 12.00 ค่า $\omega = 0^\circ$

หลังเที่ยงจะ $+15^\circ$ ทุกๆ 1 ชั่วโมง
ก่อนเที่ยงจะ -15° ทุกๆ 1 ชั่วโมง

การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากการทดลอง ปริมาณความร้อนที่ได้ (Q) จากเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ จะพิจารณาอย่างง่าย ๆ คือ พิจารณาให้เป็นระบบปิด (Close system) โดยจะถือว่ามวลของน้ำภายในระบบมีค่าคงที่ แต่อุณหภูมิมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไป เมื่อแผงรับความร้อนได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ จะหาค่าปริมาณความร้อนได้จากสมการ

$$Q = \frac{MC_w(T_o - T_i)}{t} \quad (18)$$

ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่าย ๆ นี้ สามารถหาได้ด้วยการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน ตามสมการ

$$\eta = \frac{MC_w(T_o - T_i)}{I_r A_c t} \quad (19)$$

ค่า I_r หาได้จากสมการที่ (14) (15) (16) และ (17)

$$\text{ค่า } I_b = 0.184 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{h (ปริศตา, 2542)}$$

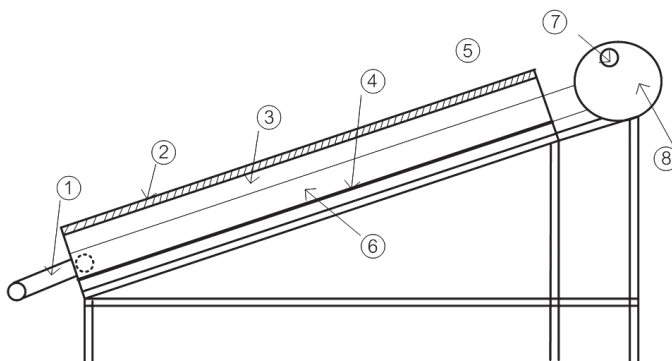
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

เครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดที่สร้างขึ้นมา การลงทุนถือว่าถูกมากประมาณ 1,500 - 2,000 บาท/ม² เพราะวัสดุที่ใช้มีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ตามท้องตลาด เช่น ท่อพีวีซี ข้องอ ข้อต่อ พีวีซี แผ่นสังกะสี และสีสเปรย์ (สีดำ) เป็นต้น ทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ วัดอุณหภูมิของน้ำที่จะนำไปใช้งานว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดใดให้อุณหภูมิสูงที่สุด โดยเริ่มทดลองระหว่างเดือนมีนาคม - ต้นเดือนเมษายน 2555 ในช่วงเวลาวันที่ฝนไม่ตก และมีแดด การทดลองแต่ละครั้งจะบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ 9.00 - 17.00 น จำนวนวันที่ทดลองทั้งหมด 6 วัน

เวลาที่บันทึกข้อมูลตามกราฟ เริ่มจาก

- 1 = 09.00 น., 2 = 10.00 น.,
- 3 = 11.00 น., 4 = 12.00 น.,
- 5 = 13.00 น., 6 = 14.00 น.,
- 7 = 15.00 น., 8 = 16.00 น. และ
- 9 = 17.00 น. ตามลำดับ

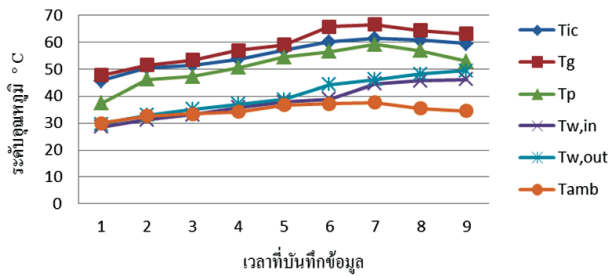
การวัดอุณหภูมิแต่ละจุดใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิแสดงไว้ตามรูปที่ 5



- 1) อุณหภูมิของน้ำทางเข้า $T_{W,in}$ °C
- 2) อุณหภูมิของแผ่นกระจก T_g °C
- 3) อุณหภูมิภายในตัวรับรังสีอาทิตย์ T_{ic} °C
- 4) อุณหภูมิของแผ่นรับความร้อน T_p °C
- 5) อุณหภูมิของอากาศรอบตัวรับรังสีอาทิตย์ T_{amb} °C
- 6) ท่อพีวีซี 1 ½ นิ้ว
- 7) อุณหภูมิของน้ำทางออก $T_{W,out}$ °C
- 8) ท่อพีวีซี 6 นิ้ว

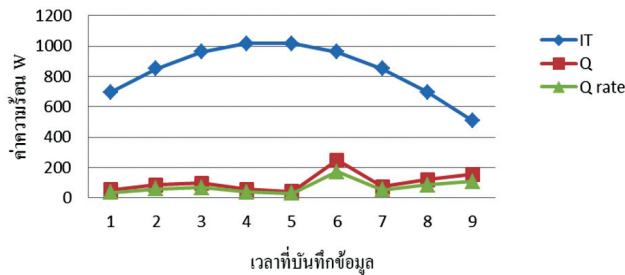
รูปที่ 5 จุดวัดอุณหภูมิที่ตัวรับรังสีอาทิตย์และท่อพีวีซี

ค่าที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์ ลงในตาราง และแสดงไว้ในกราฟแสดงผลการ- ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะบันทึก ทดลอง ตามรูปต่อไป



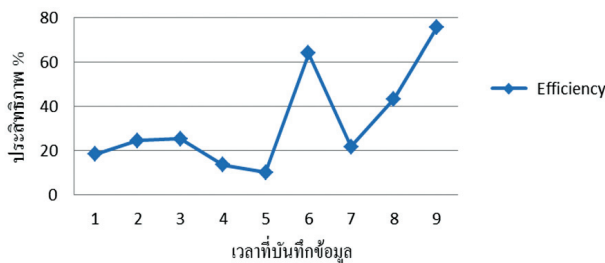
รูปที่ 6 ตัวรับรังสีอาทิตย์ ใช้สังกะสีขึ้นลอนยึดติดกับแผ่นสังกะสี เป็นแผ่นรับความร้อน

อุณหภูมิของแผ่นกระจกใส อุณหภูมิภายใน ตัวรับรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของแผ่นดูดซับ ความร้อน มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีค่าสูงในช่วง เวลา 14.00 - 15.00 น.คือ 65°C - 66°C และ ลดลงถึง 63.1°C ที่เวลา 17.00 น. อุณหภูมิของ แผ่นดูดซับความร้อนมีค่าสูงสุด 59.2°C ที่เวลา 15.00 น. จากนั้นจะลดลง อุณหภูมิของน้ำที่ท่อ ทางออกจะมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกันและมีค่าสูงที่สุดที่ 49.5°C ที่เวลา 17.00 น. ตามรูปที่ 6



รูปที่ 7 รังสีตกกระทบบนตัวรับรังสีอาทิตย์ ใช้สังกะสีขึ้นลอนยึดติดกับแผ่นสังกะสี

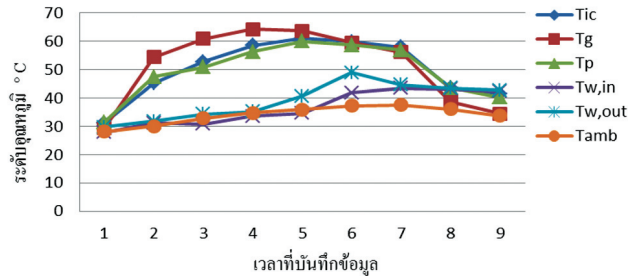
ค่ารังสีตกกระทบบนตัวรับรังสีอาทิตย์ ที่วางในแนวเอียงทำมุม 30° ที่ได้จากการคำนวณ วิเคราะห์ตามสมการที่ 14 จะมีค่าสูงสุด 1017 W/m² ใน 2 ช่วงเวลาคือ 12.00 - 13.00 น. จากนั้น จะมีค่าลดลง และมีค่าต่ำที่สุด 506.2 W/m² ที่เวลา 17.00 น. ตามรูปที่ 7 ซึ่งสัมพันธ์อุณหภูมิ ของแผ่นดูดซับความร้อนและอุณหภูมิภายใน ที่มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 8 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ เครื่องทำน้ำอุ่น ที่ใช้สังกะสีขึ้นลอนยึดติดกับแผ่นสังกะสี

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าไม่คงที่ ตามรูปที่ 8 ในช่วงเวลา 9.00 ถึง 13.00 น. มีค่าเฉลี่ย 18.444 % จะมีค่าสูงอยู่ 2 ช่วง คือ เวลา 14.00 น.

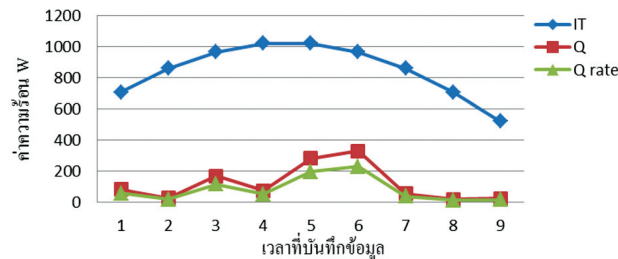
= 64.03 % และมีค่าสูงที่สุดที่เวลา 17.00 น. = 75.69 % ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยทั้งวัน 33.01 %



รูปที่ 9 ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้สังกะสีขึ้นลอนยึดติดกับแผ่นอลูมิเนียม

ตามรูปที่ 9 อุณหภูมิของแผ่นกระจกใส มีค่าสูงในช่วงเวลา 12.00 น. จากนั้นจะลดลง ส่วนอุณหภูมิภายในตัวรับรังสีอาทิตย์สูงสุด 61°C ที่ช่วงเวลา 13.00 น. และอุณหภูมิของแผ่นดูดซับความร้อน มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีค่าสูงที่

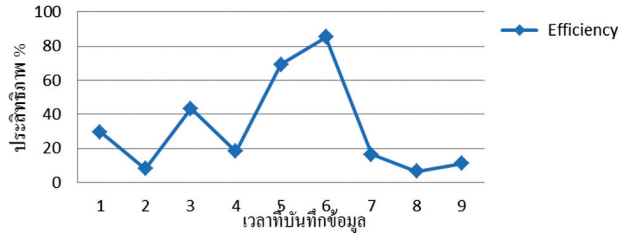
ช่วงเวลา 13.00 น. คือ 59.9°C จากนั้นลดลงเฉลี่ย 40°C ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่ท่อทางออก จะมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงที่สุดที่ 48.9°C ที่เวลา 14.00 น. อุณหภูมิโดยเฉลี่ย 39.06°C



รูปที่ 10 รังสีตกกระทบตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้สังกะสีขึ้นลอนยึดติดกับแผ่นอลูมิเนียม

ค่ารังสีตกกระทบบนตัวรับรังสีอาทิตย์ที่วางในแนวเอียงทำมุม 30° ที่ได้จากการคำนวณวิเคราะห์ตามสมการที่ 14 จะมีค่าสูงสุด 1022 W/m² ใน 2 ช่วงเวลา คือ 12.00 - 13.00 น. จากนั้นจะมีค่าลดลง และมีค่าต่ำที่สุด 521.3 W/m² ที่เวลา 17.00 น. ตามรูปที่ 10 ซึ่งสัมพันธ์อุณหภูมิ

ของแผ่นดูดซับความร้อนและอุณหภูมิภายในที่มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน แสดงว่าค่ารังสีตกกระทบจะค่อนข้างจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของกระจก ค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำทางเข้าและทางออก



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เครื่องทำน้ำอุ่น ที่ใช้สังกะสีขึ้นลอนยึดติดกับแผ่นอลูมิเนียม

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าไม่คงที่ มีสูงต่ำสลับกัน ค่าสูงสุด 85.28 % ที่เวลา 14.00 น. ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ย 31.95 % ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าแปรผันไปตามค่าความร้อนภายในตัวรับรังสีอาทิตย์

สรุป

การทดลองเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำอุ่นแบบที่ใช้อลูมิเนียมยึดติดกับแผ่นสังกะสีที่ขึ้นลอนเป็นแผ่นดูดซับความร้อนภายในตัวรับรังสีอาทิตย์ และแบบที่ใช้สังกะสียึดติดกับแผ่นสังกะสีที่ขึ้นลอนเป็นดูดซับความร้อนภายในตัวรับรังสีอาทิตย์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของทั้งสองแบบ

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำอุ่น พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ แบบที่ใช้อลูมิเนียมเป็นแผ่นหลังรับความร้อน มีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 85.28 % ในขณะนี้จะมีค่าถ่ายเทความร้อน 392.72 W อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มีค่า 228.97 W/m² อุณหภูมิสูงสุดของน้ำในท่อที่ทางออก 48.9°C ในเวลา 14.00 น.

ส่วนแบบที่ใช้สังกะสีเป็นแผ่นหลังรับความร้อนมีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 75.69 % มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 153.25 W อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มีค่า 106.42 W/m² อุณหภูมิสูงสุดของน้ำในท่อที่ทางออก 49.5°C ในช่วงเวลา 17.00 น.

ทั้งสองแบบ มีค่าการรับรังสีความร้อนต่อชั่วโมง (hourly total radiation on tile surface) ใกล้เคียงกัน และมีปริมาณการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน มีอุณหภูมิของน้ำอุ่นทางออกเกือบจะเท่ากัน คือ แบบแรก 48.9°C แบบที่สอง 49.5°C แต่เมื่อคิดออกมาเป็นประสิทธิภาพเชิงความร้อนแล้วพบว่า ชนิดที่ใช้อลูมิเนียมเป็นแผ่นหลังรับความร้อน มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าชนิดที่ใช้สังกะสีเป็นแผ่นหลังรับความร้อนอยู่ 9.59 %

จากการทดลองข้างต้นมีปัจจัยหลายอย่าง ที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุณหภูมิ ความชื้น ลม เมฆ ฝน ปัจจัยเหล่านี้มีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำอุ่นลดลง

ข้อเสนอแนะ

การออกแบบระบบและสร้างเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ ยังมีข้อจำกัดในการทำงานพอสรุปได้ว่า ระบบผลิตเครื่องทำน้ำอุ่นที่ใช้แผ่นเหล็กอบสังกะสีพับขึ้นรูปเป็นลอน

ยึดติดแน่นกับสังกะสีแผ่นเรียบและทาด้วยสีดำพร้อมด้วยท่อพลาสติกที่ทาสีดำด้านเช่นกันนั้นมีความเหมาะสมในการลงทุนและสามารถใช้ได้ตั้งแต่ระดับครัวเรือน ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าแบบที่ใช้อลูมิเนียมเป็นแผ่นยึดปิดหลังก็ต่างกันไม่มาก เมื่อคิดถึงค่าใช้จ่ายในการสร้างแล้วไม่สูงเกินไปตลอดจนการดูแลรักษาง่าย ขนาดตัวรับรังสีอาทิตย์ควรมีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ไม่เกิน 1.44 ม² เพื่อให้เหมาะสมกับกระจกที่มีความหนา 3 มม. ซึ่งเป็นการป้องกันการชำรุดของกระจกและสะดวกต่อการทำความสะอาด นอกจากนี้ควรทำฐานรับบริเวณกลางกระจกเพื่อป้องกันกันแอ่นตัวของกระจกเองเพื่อป้องกันไม่ให้กระจกแตกหรือชำรุดได้ ในส่วนของถังเก็บน้ำอุ่นไม่ควรมีปริมาณเกิน 200 ลิตร ต่อพื้นที่รับแสง 1.44 ม² เพราะจะต้องใช้เวลานานมากกว่าน้ำในถังเก็บน้ำร้อนจะมีอุณหภูมิถึงจุดที่ต้องใช้งาน งานวิจัยต่อไปน่าจะเป็นการสร้างเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อหาประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ โดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นลอนขนาดใหญ่ที่สามารถวางท่อ พีวีซี ขนาด Ø 40 มม. มากกว่า 2 เส้น เปรียบเทียบกับแผงรับแสงอาทิตย์แบบลอนเล็กที่วางท่อพีวีซี ขนาด Ø 40 มม. ได้เส้นเดียว

บรรณานุกรม

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2555) เข้าถึงได้จาก <http://www.Egat.co.th/re>.
 ประณต แก้วทอง และคณะ. (2554). เครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด. งานวิจัย คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ปรีดา จันทวงษ์. (2542). การออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายเพื่อใช้ในบ้าน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Abdul Jabbar N. Khalifa , Ehsan F. Abbas. (2009). A comparative performance study of Some thermal storage materials used for solar space heating. Energy and Buildings 41 pp.407-415

Chris Laughton. (2010). Solar Domestic Water Heating. Series Edition.

John A.Duffie ,William A. Beckman. (1980). Solar engineering of Thermal process. 2nd ed. New York. John Willey & Sons, Inc.

L.M. Ayompe. A. Duffy. (2011). Comparative field performance study of flat plate and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate. Energy 36. pp. 3370-3378.

M.S. Hossainb, R. Saidur . (2011). Review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 pp. 3801-3812.

P.B.L. Chaurasia. (2000). Solar water heaters based on concrete collectors. Energy 25 pp. 703-716

- Sopian, K. and Sahari, J. (1994). Performance monitoring of a thermosyphon solar hot water heater with a parallel thermoplastic natural rubber tube absorber. *Renewable Energy*. 1994 ; 4(5) : 561-57.
- Soteris A Kalogirou. (2009). Solar energy engineering : process and systems. 1sted. British Library Cataloging - in-Publication Data. Unite State of America.
- W.M.K., Van nickered, and Scheffler, T.B. (1993). Measured Perfonnance of a Solar Water Heater with a Parallel Tube Polymer Absorber. *Solar Energy*. Vol. 51. No. 5. pp. 339-347.