

การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริมโดยใช้สารละลายเงินนาโนในตัวรับรังสีอาทิตย์

Thermal Performance Improvement of Solar Hot Water System Having Assisted Heat Pump with Silver Nano-Fluid in Solar Collector

สรารุช พลวงษ์ศรี^{1*} ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์²

^{1*}วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

โทร 053-944146 โทรสาร 053-944145 E-mail: kiatsirirot_t@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ใช้สารละลายเงินนาโน ความเข้มข้น 10,000 ppm เป็นของไหลในตัวรับรังสีอาทิตย์ ของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนให้ความร้อนเสริม ในกรณีที่ระดับความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอ การศึกษาจะใช้ข้อมูลสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเมื่อใช้สารละลายเงินนาโน ขนาดพื้นที่รับรังสีประมาณ 2.16 m^2 จำนวน 2 แผง ต่อขนานกัน โดยมีคุณลักษณะของตัวรับรังสีอาทิตย์ ได้แก่ $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ มีค่า 0.816 และ $7.123 \text{ W/m}^2\text{K}$ เทียบกับค่า 0.723 และ $8.314 \text{ W/m}^2\text{K}$ ในกรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ตัวรับรังสีนี้จะให้ความร้อนแก่ถังน้ำร้อนหุ้มฉนวนอย่างดี ขนาด 500 liter ซึ่งมีปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำงาน R134 a ที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้า 380 W ในการให้ความร้อนเสริม ในกรณีที่อุณหภูมิน้ำในถังต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส การเปรียบเทียบ จะใช้การจำลองทางคณิตศาสตร์ ภายใต้สภาพการใช้น้ำของอาคารแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ การศึกษาจะคำนวณความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีอาทิตย์ และปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปั๊มความร้อน จากผลการศึกษาพบว่า ระบบที่ใช้สารละลายเงินนาโน ตัวรับรังสีอาทิตย์จะสามารถทำงานโดยมีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่ากรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน เนื่องจากสารละลายเงินนาโนสามารถดึงความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ได้ดีกว่า ส่งผลให้ความต้องการความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อนลดลง ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงในการลดแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากผลิตไฟฟ้าได้ปีละ $2,727.81 \text{ kg}_{\text{CO}_2}$

คำสำคัญ: สมรรถนะทางความร้อน, ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, ปั๊มความร้อน, สารละลายเงินนาโน

Abstract

This study used 10,000 ppm silver nano-fluid as the working fluid in the solar collector of a hot water system which utilized a heat pump as an auxiliary during periods of inadequate solar radiation level. The solar collector was a 2.16 m^2 flat-plate type, of which the thermal characteristics $F_R(\tau\alpha)_e$ and $F_R U_L$ were 0.816 and $7.123 \text{ W/m}^2\text{K}$ for silver nano-fluid compared with 0.723 and $8.314 \text{ W/m}^2\text{K}$ for water. The collectors were connected in parallel and delivered heated water to a 500 liter

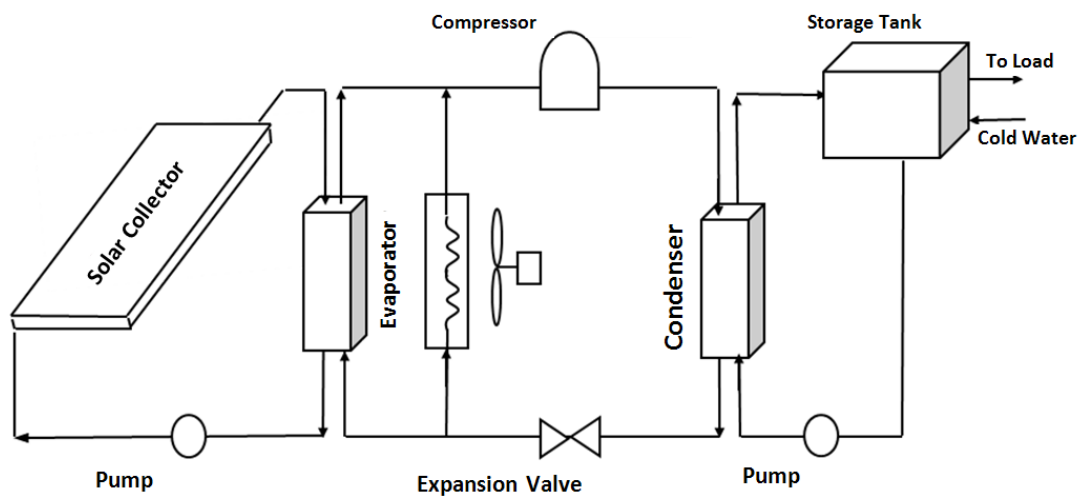
well-insulated storage tank, which had a R134 heat pump as an auxiliary. The heat pump, which consumed 380 W of electrical power, was turned on when the water temperature in the storage tank was lower than 45°C. The system performance was tested with different working fluids in the solar collector in a simulation using the hot water demand of a building in Chiang Mai. The study considered the heat gain from the solar collector and the electrical consumption of the heat pump. It was found that the system with silver nano-fluid extracted the most heat from the solar collector, which resulted in lower consumption of electrical energy in the heat pump and thus lower greenhouse gas emissions were generated; this was estimated to be 2,727.81 kg_{CO2}/year.

Keywords: thermal performance, solar hot water system, heat pump, silver nano-fluid

1. บทนำ

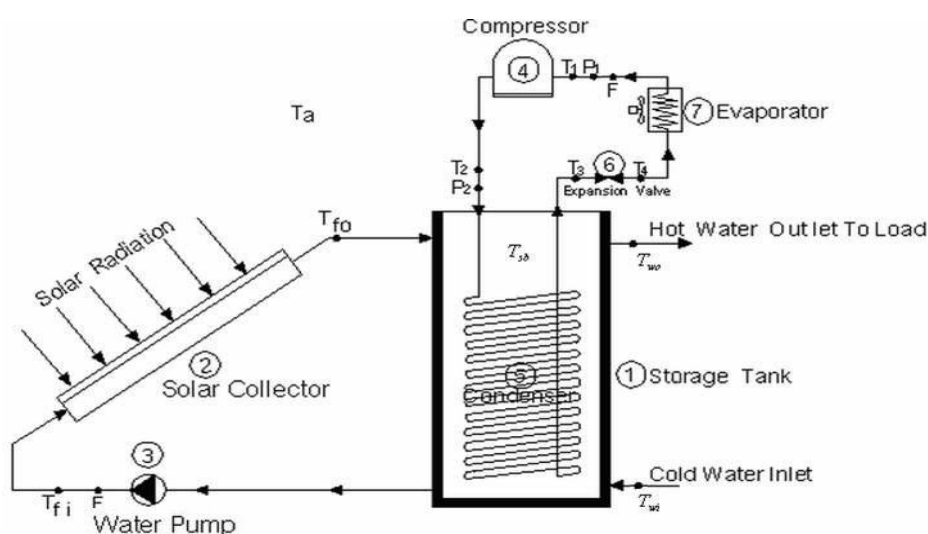
ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เป็นระบบหนึ่งที่เป็นการใช้พลังงานจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ ในรูปของการผลิตน้ำร้อน และในปัจจุบันนี้มีการใช้อย่างแพร่หลายในโรงพยาบาล โรงแรม ในอาคารที่พักอาศัย หรือในอุตสาหกรรม บางประเภท เทคโนโลยีนี้จะช่วยลดปริมาณแก๊สเรือนกระจก เทียบกับการให้ความร้อนโดยการใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิลอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าว จำเป็นต้องมีการให้ความร้อนเสริม ในกรณีที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอ

ในปัจจุบัน มีการนำเทคโนโลยีปั๊มความร้อนแบบอัดไอมาใช้ร่วมกับระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ รูปแบบการใช้งานอาจแบ่งเป็น 2 รูปแบบหลัก รูปแบบแรกดังแสดงในภาพที่ 1 เป็นการนำปั๊มความร้อนมาดึงความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ และนำความร้อนที่ได้ไปยกระดับอุณหภูมิ เพื่อผลิตน้ำร้อน ในกรณีนี้ อุณหภูมิของตัวรับรังสีจะเข้าใกล้อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ความร้อนสูญเสียจากตัวรับรังสีมีค่าต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีมีค่าสูง (ณัฐนี วรยศ และคณะ, 2552) สามารถลดพื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์ (ศรีธร อุปคำ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2544; สรรพวรรธ วิทยาศัย และคณะ, 2544) หรืออาจใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ไม่ต้องหุ้มฉนวน เช่น แผ่นโลหะเปลือยผิวดังท่อน้ำ (ชูศักดิ์ ชาญเสนอ และคณะ, 2549) หรือแผ่นท่อน้ำที่ทำด้วยโพลีพรอพิลีนดำ (วิวัฒน์ มูลอ้าย และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2552) ทำให้ระบบมีราคาถูกลงในขณะเดียวกันค่า COP ของปั๊มความร้อน พบว่ามีค่าสูง แสดงถึงการประหยัดไฟฟ้า อย่างไรก็ตามระบบนี้จะต้องหาแหล่งพลังงานอื่น เมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอ และปั๊มความร้อนยังมีขนาดใหญ่เพื่อใช้ในการผลิตความร้อน



ภาพที่ 1 การใช้ปั๊มความร้อนดึงความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ เพื่อผลิตน้ำร้อน (หน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2013)

อีกรูปแบบหนึ่งคือการใช้ปั๊มความร้อน เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม ในกรณีที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอ โดยดึงความร้อนจากอากาศรอบ ๆ โดยอีวาโปเรเตอร์ของปั๊มความร้อน และความร้อนที่ได้จะถูกเพิ่มคุณภาพ และจ่ายออกมาผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น ที่คอนเดนเซอร์ ในลักษณะเช่นนี้ปั๊มความร้อนจะมีขนาดเล็กให้เพียงพอกับการรักษาอุณหภูมิน้ำในถัง โดยปั๊มความร้อนจะใช้กำลังไฟฟ้าเพียงร้อยละ 20 - 25 เทียบกับการใช้หลอดไฟฟ้า (มารุต บุรพา และคณะ 2551; ญัฐนิช วรยศ และคณะ, 2552) อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิในถังสูงขึ้น ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ ภาพที่ 2 แสดงหลักการทำงานของ การใช้ปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม



ภาพที่ 2 การใช้ปั๊มความร้อน เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริมแก่ระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ (หน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2013)

เทคนิคหนึ่งในการเพิ่มสมรรถนะตัวรับรังสีอาทิตย์ คือการใช้ของไหลที่มีอนุภาคของโลหะในระดับนาโนเมตร ของไหลดังกล่าว มีค่าสภาพการนำความร้อนสูง ทำให้สามารถดึงความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ ไปใช้ประโยชน์ได้ดี Polvongsri and Kiatsiriroat, (2011) ได้ทดสอบการใช้สารละลายเงินนาโน ในตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของอนุภาคเงินในของไหล ขึ้นมาที่ 10,000 ppm พบว่า สามารถเพิ่มคุณลักษณะเชิงความร้อนของตัวรับรังสี ได้ชัดเจน เทียบกับกรณีการใช้น้ำเป็นสารทำงาน สารละลายเงินนาโน ที่ความเข้มข้นดังกล่าว จะมีค่าสภาพการนำความร้อน 0.852 W/m K เทียบกับ 0.580 W/m K ในกรณีของน้ำ จึงสามารถดึงความร้อนจากตัวรับรังสีได้ดี ทำให้อุณหภูมิผิวตัวรับรังสีต่ำกว่ากรณีการใช้น้ำ การสูญเสียความร้อนจึงต่ำกว่า ตัวรับรังสีอาทิตย์จึงมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ที่อัตราการไหล $0.02 \text{ kg/m}^2\text{s}$ มีค่า 0.816 และ $7.123 \text{ W/m}^2\text{K}$; 0.723 และ $8.314 \text{ W/m}^2\text{K}$ ในกรณีสารละลายเงินนาโน และน้ำ ตามลำดับ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Tiwari, et al. (2013) ซึ่งใช้สารละลายอนุภาคนิกเกิลออกไซด์นาโนซึ่งพบว่าสามารถลดค่า $F_R U_L$ ลงได้

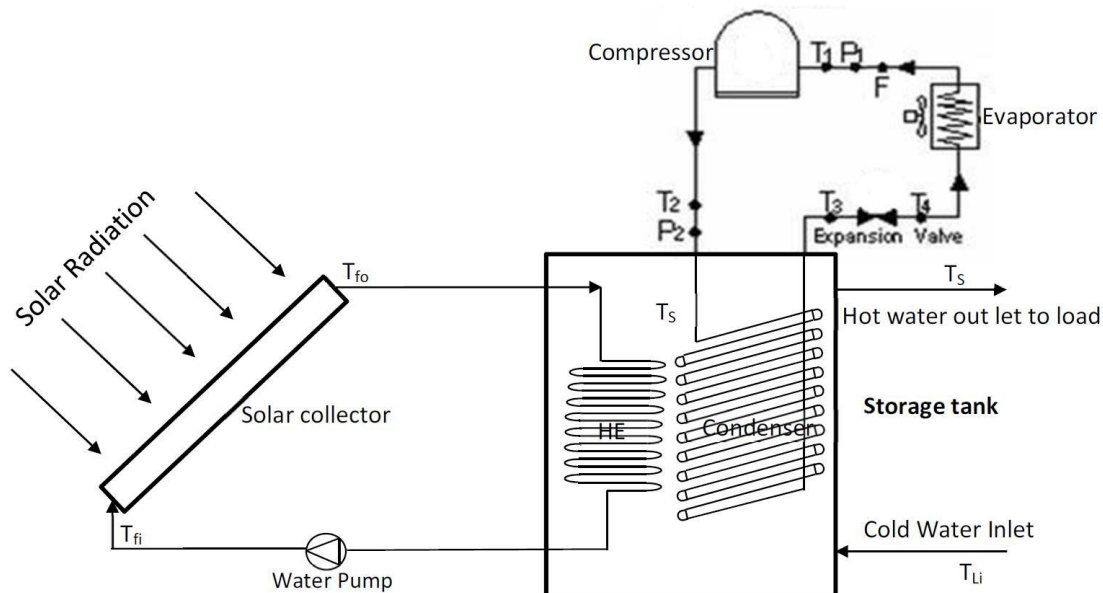
ในงานวิจัยนี้ จะศึกษาศักยภาพในการผลิตน้ำร้อนของระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ที่มีการใช้ปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม เช่นเดียวกับระบบในภาพที่ 2 โดยของไหลที่ไหลในตัวรับรังสีอาทิตย์ จะเป็นสารละลายเงินนาโน ที่มีความเข้มข้นของอนุภาค 10,000 ppm การศึกษาจะใช้โมเดลของตัวรับรังสีอาทิตย์ โมเดลของปั๊มความร้อน และโมเดลการวิเคราะห์พลังงานที่ถึงเก็บ จำลองการทำงานของระบบ ภายใต้ข้อมูลความต้องการการใช้น้ำร้อนของอาคารแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ และสภาพภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ ผลของการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาการทำงานของตัวรับรังสีอาทิตย์ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ปั๊มความร้อน รวมถึงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ในช่วงที่ปั๊มความร้อนทำงาน จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน

2. โมเดลการทำงาน

ภาพที่ 3 แสดงระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ เมื่อของไหลทำงานในตัวรับรังสี เป็นสารละลายเงินนาโน ความเข้มข้นของอนุภาค 10,000 ppm ของไหลดังกล่าว เมื่อได้รับความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ จะไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถัง โดยผ่านขดท่อที่อยู่ในถังน้ำ จากนั้นของไหลดังกล่าว จะไหลกลับมารับความร้อนที่ตัวรับรังสีอีก ในกรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน จะไม่มีขดท่อดังกล่าว และในกรณีที่อุณหภูมิถังน้ำในถังต่ำกว่าที่ต้องการ ปั๊มความร้อนจะดึงความร้อนจากอากาศรอบ ๆ มาจ่ายให้กับน้ำร้อนในถัง

ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษา จะเป็นเช่นเดียวกับระบบของ Polvongsri and Kiatsiriroat, (2011) โดยตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นชนิดแผ่นเรียบ แบบท่อและครีป พื้นที่รับรังสี 2.16 m^2 จำนวน 2 ชุดต่อขนานกัน เอียงทำมุม 18° จากแนวระดับ หันหน้าไปทางทิศใต้ ตัวรับรังสีอาทิตย์ต่อกับถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนอย่างดีขนาดความจุ 500 liter ภายในถังมีขดท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.015 m ยาว 15 m ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับสารละลายเงินนาโน ความเข้มข้นอนุภาค 10,000 ppm ที่รับความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์มาแลกเปลี่ยนกับน้ำในถังเก็บสำหรับปั๊มความร้อน จะมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบของ มารุต บุรพา และคณะ, (2551) โดยจะเป็นปั๊มความร้อนขนาดเล็กที่ใช้สารทำงาน R134a ใช้กำลังไฟฟ้ารวม 380 W สาร R134a จะดึงความร้อน จากอากาศรอบ ๆ

โดยอีวา ปอเรเตอร์ ไปจ่ายแก่น้ำในถัง โดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบชุดท่อทองแดง โดยระบบจะทำงานเมื่ออุณหภูมิขังน้ำในถังต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส และใช้สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิ น้ำในถังเก็บน้ำร้อนให้ได้ 50 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 22:00 น.



ภาพที่ 3 ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ ที่มีปั๊มความร้อนให้ความร้อนเสริม เมื่อสารทำงานในตัวรับรังสีอาทิตย์ เป็นสารละลายเงินนาโน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสี (η_{coll}) สามารถคำนวณได้จาก

$$\eta_{coll} = \frac{Q_{coll}}{I_T A_c} = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L (T_{fi} - T_a) / I_T \quad (1)$$

โดย Q_{coll} คืออัตราการความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งสามารถคำนวณจาก

$$Q_{coll} = \dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (2)$$

I_T คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์, A_c คือพื้นที่ที่ตัวรับรังสีอาทิตย์, T_{fi} และ T_{fo} คืออุณหภูมิของไหลที่เข้าและออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์ T_a คืออุณหภูมิอากาศรอบๆ $\dot{m}_f$ คืออัตราการไหลเชิงมวลของของไหล โดย $\dot{m}_f = 0$ ถ้า $T_{fo} \leq T_s$ และ C_p คือความจุความร้อนจำเพาะของของไหล $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ คือ คุณสมบัติเชิงแสงและคุณสมบัติเชิงการสูญเสียความร้อน ของตัวรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งที่อัตราการไหลมาตรฐานที่ $0.02 \text{ kg/m}^2\text{s}$ จะมีค่า 0.816 และ $7.123 \text{ W/m}^2\text{K}$ ในกรณีของสารละลายเงินนาโน และมีค่า 0.723 และ $8.314 \text{ W/m}^2\text{K}$ ในกรณีน้ำเป็นสารทำงาน ในตัวรับรังสีอาทิตย์ (Polvongsri and Kiatsiriroat, 2011) ตามลำดับ

ที่ถังเก็บน้ำร้อน อัตราความร้อนที่สารละลายเงินนาโนถ่ายเทให้กับน้ำร้อนในถัง เมื่อสมมุติว่าอุณหภูมิในถัง, T_s มีค่าสม่ำเสมอ ซึ่งถ้าไม่คิดการสูญเสียความร้อนตามท่อทางเดิน อาจคำนวณได้จาก

$$Q_c = (UA)_s [(T_{fo} - T_s) - (T_{fi} - T_s) / \ln\{(T_{fo} - T_s) / (T_{fi} - T_s)\}] \quad (3)$$

จากงานของ Polvongsri and Kiatsiroat, (2011) ในกรณีสารละลายเงินนาโน ที่อัตราการไหล $\text{kg/m}^2\text{s}$ จะได้

$$(UA)_s = 41.781(T_{fo} - T_s) + 275.45, W/K \quad (4)$$

สมดุลความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน กรณีที่อุณหภูมิ น้ำในถังสม่ำเสมอ และสมมุติ ไม่มีการสูญเสียความร้อนสู่อากาศรอบ ๆ อาจจัดได้ในรูป

$$(MC_p)_s / (dT_s/dt) = Q_{coll} + Q_{cond} - Q_{load} \quad (5)$$

$(MC_p)_s$ คือ ผลคูณของมวลและความจุความร้อนจำเพาะของน้ำที่อยู่ในถังเก็บ (dT_s/dt) คืออัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ น้ำในถัง

Q_{cond} คืออัตราการความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อน ในกรณีที่อุณหภูมิ น้ำในถังต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ โดยสามารถคำนวณจาก

$$Q_{cond} = EER \cdot P_{power} \quad (6)$$

P_{power} คือกำลังไฟฟ้าทั้งหมดของปั๊มความร้อน ซึ่งในที่นี้คือ 380 W และ EER คือค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio) ซึ่งจากงานของ มารุตและคณะ, (2551) พบว่า

$$EER = 2.9478 - 0.0282(T_s - T_a) \quad (7)$$

Q_{load} คืออัตราการความร้อนที่ดึงไปใช้ประโยชน์จากถังเก็บน้ำร้อน โดย

$$Q_{load} = (\dot{m}C_p)_L (T_s - T_{Li}) \quad (8)$$

$(\dot{m}C_p)_L$ คือ ผลคูณของอัตราการใช้น้ำและค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ T_{Li} คืออุณหภูมิ น้ำที่เข้าถึงในที่นี้สมมุติให้มีค่าคงที่ที่ 28 องศาเซลเซียส จากสมการข้างต้น อุณหภูมิ น้ำในถังที่เวลาใด ๆ ในรูปของสมการเชิงตัวเลข สามารถจัดได้เป็น

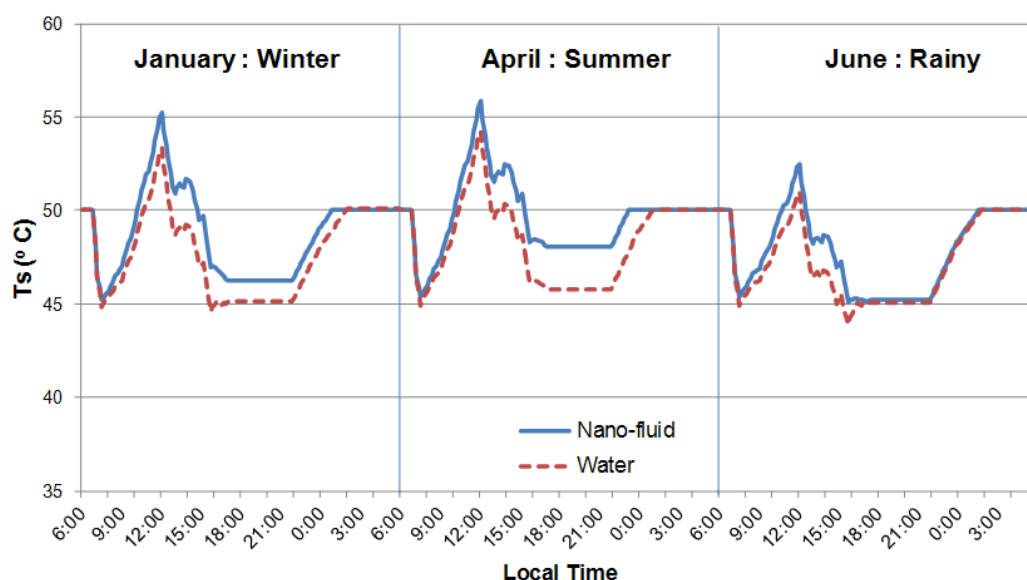
$$T_s^{t+\Delta t} = T_s + (\Delta t / (MC_p)_s) [Q_{coll} + Q_{cond} - Q_{load}] \quad (9)$$

สำหรับในงานวิจัยนี้ ในกรณีที่อุณหภูมิ T_s สูงกว่า 45°C $P_{power} = 0$

ในการศึกษา จะใช้รูปแบบการใช้น้ำร้อน ของอาคารแห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงใหม่ และใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ รวมถึง อุณหภูมิอากาศ ของจังหวัดเชียงใหม่ (Chaichana et al., 2009) ดังแสดงในภาคผนวก ค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บ อัตราความร้อนที่ตัวรับรังสีอาทิตย์จ่ายความร้อน และช่วงเวลา รวมถึงปริมาณไฟฟ้าที่ปั๊มความร้อนจ่ายให้ความร้อนเสริม ในกรณีที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ใช้สารละลายเงินนาโนจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการใช้น้ำ และเมื่อเวลากลางคืน ระบบปั๊มความร้อนจะทำงานเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บให้มีค่าเริ่มต้นของวันอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส ทุกวันขนาดถังเก็บน้ำร้อน 500 liter ถึงมีการหุ้มฉนวนความร้อนอย่างดี

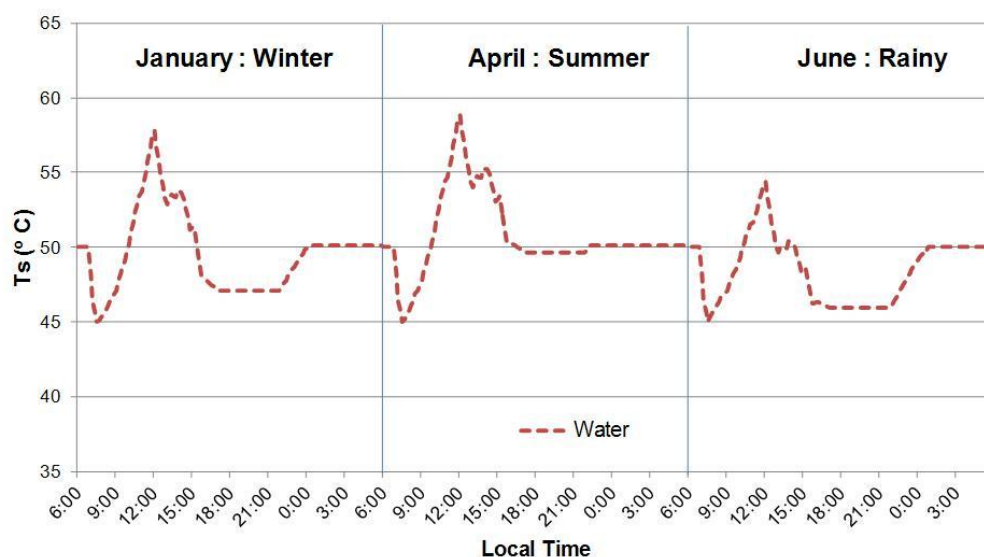
3. ผลการศึกษา

ภาพที่ 4 แสดงอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนกรณีใช้สารทำงานเงินนาโนและน้ำเป็นสารทำงานในทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริม พบว่ากรณีใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.16 m^2 จำนวน 2 ชุดต่อแบบขนานและใช้สารละลายเงินนาโนเป็นสารทำงาน อุณหภูมิของน้ำในถังจะมีค่าสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ทั้งในวันที่เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว เช่นเดียวกับกรณีใช้น้ำเป็นสารทำงานในวันที่เป็นตัวแทนของฤดูหนาวและฤดูร้อน เนื่องจากการใช้ปั๊มความร้อนให้ความร้อนเสริมและค่ารังสีอาทิตย์เพียงพอ ยกเว้นกรณีใช้น้ำเป็นสารทำงานวันที่เป็นตัวแทนฤดูฝนที่อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนในบางช่วงเวลาต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส เนื่องจากในฤดูฝนค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าฤดูอื่น ดังนั้นในกรณีของการใช้น้ำเป็นสารทำงานจำเป็นต้องติดตั้งตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเพิ่มอีก 1 ชุด ต่อแบบขนานซึ่งจะสามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำตลอดทั้งปีได้ แสดงดังภาพที่ 5

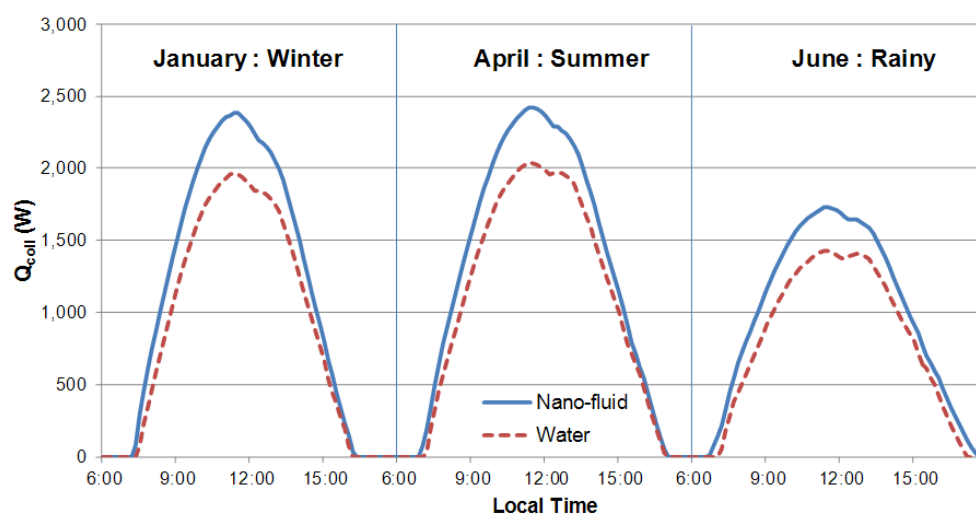


ภาพที่ 4 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน ในวันที่เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว กรณีใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.16 m^2 จำนวน 2 ชุดต่อแบบขนานและใช้สารละลายเงินนาโนและน้ำเป็นสารทำงาน

จากภาพที่ 6 และ ภาพที่ 7 จะเห็นว่าอัตราความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.16 m^2 จำนวน 2 ชุดต่อแบบขนาน และอัตราความร้อนที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ถ่ายเทให้แก่ถังเก็บน้ำร้อนกรณีใช้สารละลายเงินนาโนจะมีค่าสูงกว่ากรณีที่มีการใช้น้ำเป็นสารทำงาน เนื่องจาก สารละลายเงินนาโนมีค่าสภาพการนำความร้อนที่สูงกว่าจึงสามารถดึงความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ได้ดีกว่ากรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน เมื่อพิจารณาความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นรายเดือนจะเห็นได้ชัดเจนว่ากรณีใช้สารละลายเงินนาโนจะมีค่าสูงกว่ากรณีใช้น้ำเป็นสารทำงานดังภาพที่ 8

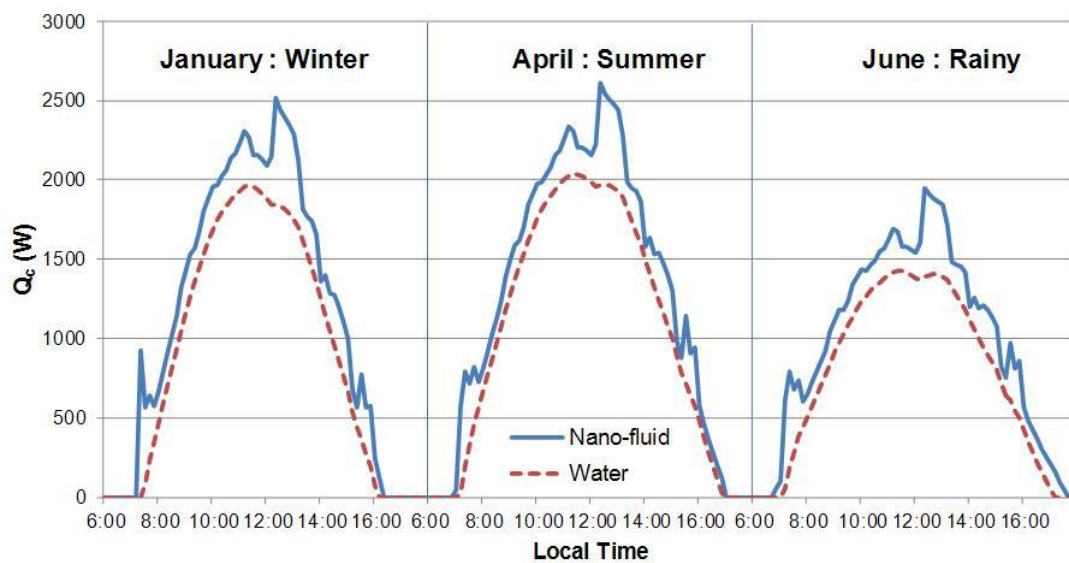


ภาพที่ 5 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน ในวันที่เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว กรณีใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.16 m^2 จำนวน 3 ชุดต่อแบบขนานและใช้น้ำเป็นสารทำงาน

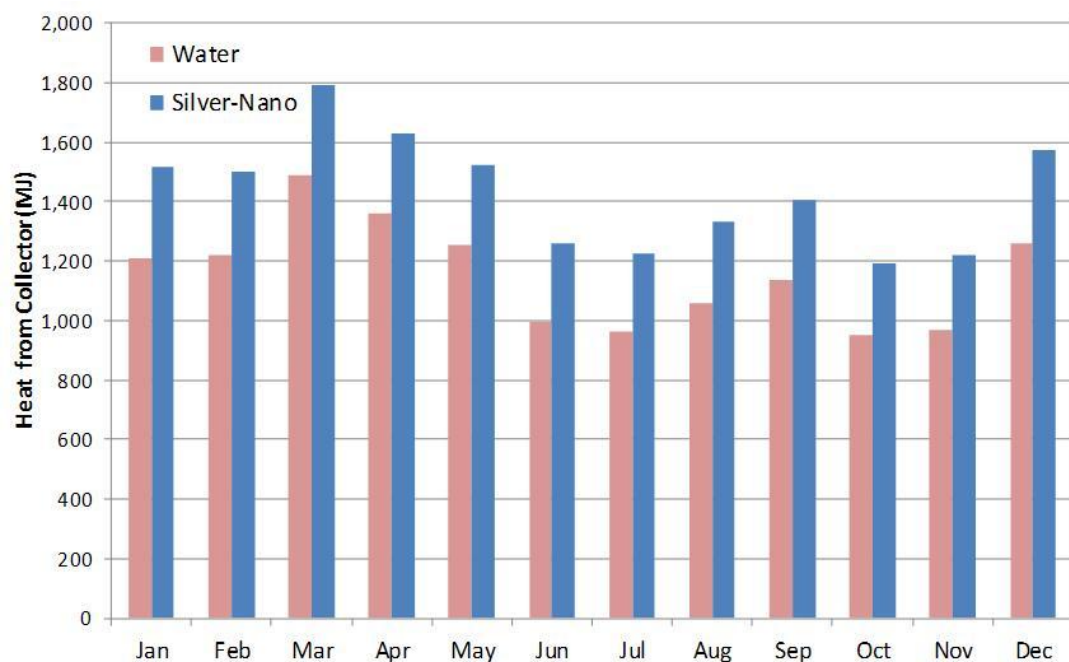


ภาพที่ 6 อัตราความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีอาทิตย์ในวันที่เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว ตัวรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.16 m^2 จำนวน 2 ชุดต่อแบบขนาน กรณีใช้สารละลายเงินนาโนและน้ำเป็นสารทำงาน

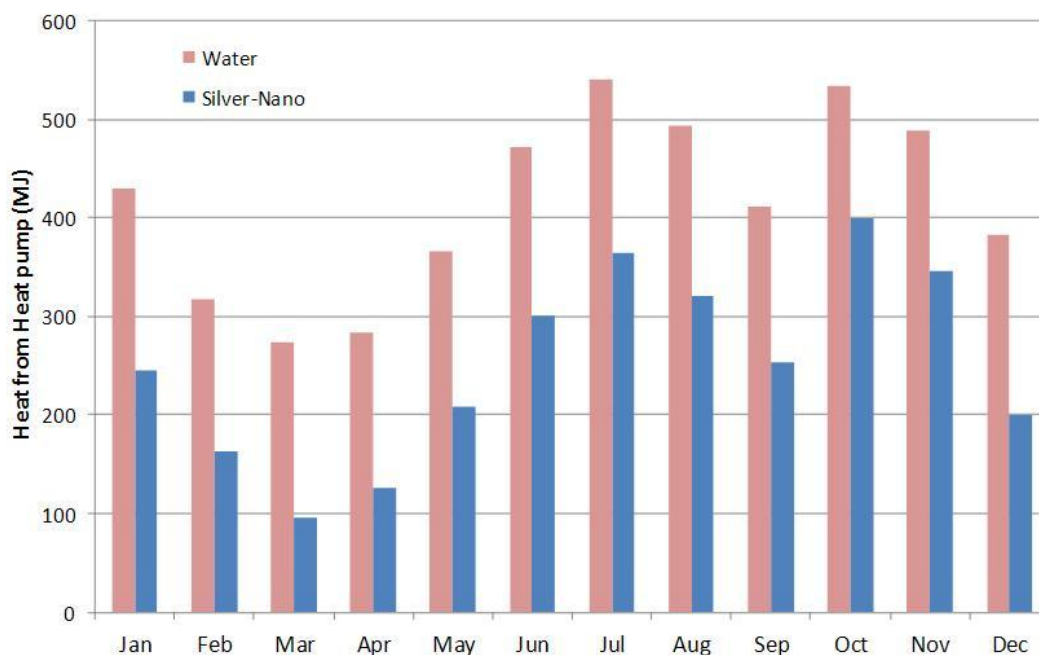
เมื่อพิจารณาความร้อนเสริมที่ใช้ในปั๊มความร้อนพบว่ากรณีใช้สารละลายเงินนาโนมีปริมาณที่ความร้อนที่น้อยกว่าเนื่องจากการใช้สารละลายเงินนาโนสามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงกว่าเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนก็ยังมีค่าสูงกว่ากรณีใช้น้ำทำให้ใช้ความร้อนน้อยกว่าเพื่อเพิ่มอุณหภูมิในถังให้ถึงที่ 50 องศาเซลเซียส ตามต้องการ และยังใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าด้วย ดังแสดงในภาพที่ 9 และ ภาพที่ 10 ซึ่งแสดงอัตราความร้อนเสริมและพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ปั๊มความร้อนตามลำดับ



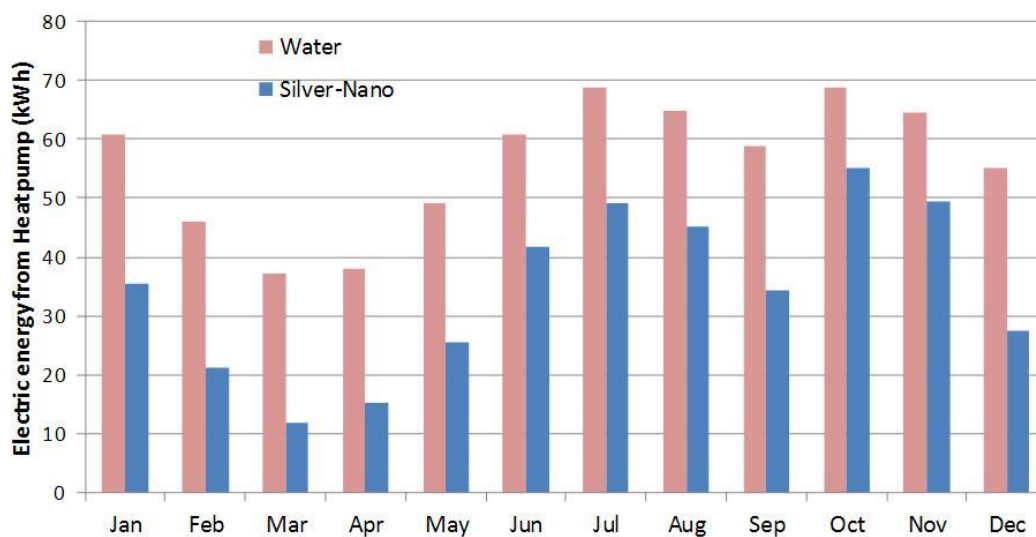
ภาพที่ 7 อัตราความร้อนที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ถ่ายเทให้ถังเก็บน้ำร้อน ในวันที่เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว ตัวรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.16 m^2 จำนวน 2 ชุดต่อแบบขนาน กรณีใช้สารละลายเงินนาโนและน้ำเป็นสารทำงาน



ภาพที่ 8 ความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีอาทิตย์ ขนาด 2.16 m^2 จำนวน 2 ชุดต่อแบบขนานในวันที่ เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว



ภาพที่ 9 อัตราความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อน ในวันที่เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว ตัวรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.16 m^2 จำนวน 2 ชุดต่อแบบขนาน



ภาพที่ 10 พลังงานไฟฟ้าเสริมจากปั๊มความร้อน ในวันที่เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว ตัวรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.16 m^2 จำนวน 2 ชุดต่อแบบขนาน

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้ารายปีของระบบทำน้ำร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริม ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้สารละลายเงินนาโน ช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานของตัวรับรังสี ส่งผลให้ลดการใช้ไฟฟ้าที่ปั๊มความร้อน

ในการให้ความร้อนเสริม และเมื่อเทียบกับระบบทำน้ำร้อนจากขดลวดไฟฟ้าแล้วจะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 6,157.59 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ลดลง 27,709.14 บาท/ปี ซึ่งนอกจากจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายแล้ว ยังช่วยลดปริมาณแก๊สเรือนกระจกที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าลงได้ สำหรับประเทศไทยปริมาณแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้ามีค่า 443 gCO₂/kWh (Sovacool, 2008) คิดเป็นมูลค่าความเสียหายที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 0.42 Baht/kgCO₂ (Sungsomboon et al., 2012) นั่นคือ การใช้สารละลายเงินนาโนในตัวรับรังสีอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้จะลดปริมาณแก๊สเรือนกระจกในการทำงานของอุปกรณ์ได้ปีละ 2,727.81 kgCO₂ ซึ่งสามารถลดมูลค่าความเสียหายแก่สิ่งแวดล้อมได้ปีละ 1,145.68 Baht

ตารางที่ 1 พลังงานไฟฟ้ารายปีของระบบทำน้ำร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริม

	ระบบทำน้ำร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้า	ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริม (ใช้น้ำเป็นสารทำงาน)	ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริม (ใช้สารละลายเงินนาโนเป็นสารทำงาน)
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/ปี)	6,570.00	688.19	412.41
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/ปี)	-	5,881.81	6,157.59
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)	4.50	4.50	4.50
คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด (บาท/ปี)	-	26,468.13	27,709.14
เงินลงทุน (บาท)	54,500.00	143,000.00	117,000.00
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)		3.34	2.26
ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (kgCO ₂ /ปี)	-	2,605.64	2,727.81
คิดเป็นค่าความเสียหายแก่สิ่งแวดล้อม (บาท/ปี)	-	1,094.37	1,145.68

4. สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาศักยภาพในการผลิตน้ำร้อนของระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 2 m^2 และถังเก็บขนาด 150 liter ที่มีการใช้ปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำงาน R134a ที่มีการใช้ไฟฟ้าในอัตรา 380 W เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม โดยของไหลที่ไหลในตัวรับรังสีอาทิตย์จะเป็นสารละลายเงินนาโน ที่มีความเข้มข้นของอนุภาค 10,000 ppm การศึกษาจะใช้โมเดลของตัวรับรังสีอาทิตย์ โมเดลของปั๊มความร้อน และโมเดลการวิเคราะห์พลังงานที่ถังเก็บ จำลองการทำงานของระบบ ภายใต้ข้อมูลความต้องการการใช้น้ำร้อนของอาคารแห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงใหม่ และสภาพภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ ผลของการศึกษาพบว่าอัตราความร้อน ที่ตัวรับรังสีอาทิตย์จ่ายให้แก่ถังเก็บน้ำร้อน จะมีค่าสูงกว่าและช่วงเวลาในการทำงานจะนานขึ้นกว่ากรณีที่มีการใช้น้ำเป็นสารทำงาน ทำให้อุณหภูมิน้ำร้อนในถังสูงกว่า รวมถึงสามารถลดการทำงานของปั๊มความร้อนในการให้ความร้อนเสริม ทำให้ลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ในช่วงที่ปั๊มความร้อน ทำงานเทียบกับกรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน จากผลการศึกษาพบว่า ในกรณีที่มีการใช้สารละลายเงินนาโน ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ปั๊มความร้อนในการให้ความร้อนเสริมจะมีค่า 412.41 kWh/year เทียบกับ 688.19 kWh/year ในกรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน และลดปริมาณแก๊สเรือนกระจกในการทำงานของอุปกรณ์ได้ปีละ 2,727.81 kgCO₂ ซึ่งสามารถลดมูลค่าความเสียหายแก๊สเรือนกระจกได้ 1,145.68 Baht/year ดังนั้นการใช้สารละลายเงินนาโนเป็นสารทำงานในระบบจึงมีความเหมาะสมในการลงทุน และยังสามารถลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, หน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ภายใต้โครงการศูนย์ความเป็นเลิศด้านพลังงานสะอาด และการพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

6. รายการสัญลักษณ์

A_c	= พื้นที่รับแสงตัวรับรังสีอาทิตย์ (m^2)
C_p	= ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$)
F_R	= Heat Removal factor
I_T	= ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)
M	= ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน (Liter)
$\dot{m}$	= อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
T	= อุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)
U_L	= สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจากผิวดูดรังสีอาทิตย์ ($\text{W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$)
$(\tau\alpha)_e$	= ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวรับรังสี
η	= ประสิทธิภาพ

ตัวห้อย

a	= สิ่งแวดล้อม
$coll$	= ตัวรับรังสีอาทิตย์
fo	= ของไหลออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์
fi	= ของไหลเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์
w	= water
f	= fluid
s	= storage tank

7. เอกสารอ้างอิง

- ชูศักดิ์ ชาญเสนา, เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ อติพงศ์ นันทพันธุ์. (2549). การศึกษาสมรรถนะการผลิตน้ำร้อนแบบปั๊มความร้อนแสงอาทิตย์ที่มีหลังคาอลูมิเนียมเป็น ตัวรับรังสี, **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 13 (2), 2549, หน้า 48 – 56.
- ณัฐนี วยยศ, วิภาวดี วงศ์สุวรรณ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2552). การพัฒนาระบบทำน้ำ ร้อนแสงอาทิตย์ในประเทศไทย, **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 16 (2), 2552, หน้า 55 – 69.
- มารุต บุรพา, ณัฐนี วยยศ, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ สุริยนต์ ชมดี. (2551). โมเดลอย่างง่าย ของการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ความร้อนเสริม, **วารสารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**, 1 (2), 2551, หน้า 15 – 23.
- วิวัฒน์ มูลอ้าย และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2552). ศักยภาพการผลิตน้ำร้อนในโรงพยาบาล ด้วยปั๊มความร้อนเสริมแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวรับรังสีแบบโพลีพรอพิลีน, **วารสาร วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 16 (3), 2552, หน้า 23 – 33.
- ศรีธร อุปคำ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2544). การวิเคราะห์สมรรถนะระบบทำน้ำร้อน แสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย, **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 9 (1), 2544, หน้า 50 – 56.
- สรพวรรณ วิทยาศัย, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ จิรวรรณ เตียรธสุวรรณ. (2544). การกำหนด ขนาดระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริม: กรณีการะความร้อนคงที่, **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 9 (3), 2544, หน้า 86 – 103.
- หน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2553). เอกสารเผยแพร่งานวิจัย.
- Chaichana, C., Kiatsiriroat, T., Nuntaphan A. (2009). Comparison of Conventional Flat-Plate Solar Collector and Solar Boosted Heat Pump Using Unglazed Collector for Hot Water Production in Small Slaughterhouse. **Heat Transfer Engineering vol. 31(5), 2009**, pp. 419–429.
- Polvongsri, S. and Kiatsiriroat, T. (2011). Enhancement of flat-plate solar collector thermal performance with silver nano-fluid, **The 2nd TSME International**

Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2011), October 19 – 21, 2011, Krabi, Thailand.

Sovacool, B.K. (2008). Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. **Energy Policy**, vol. 36, 2008, pp. 2940–2953.

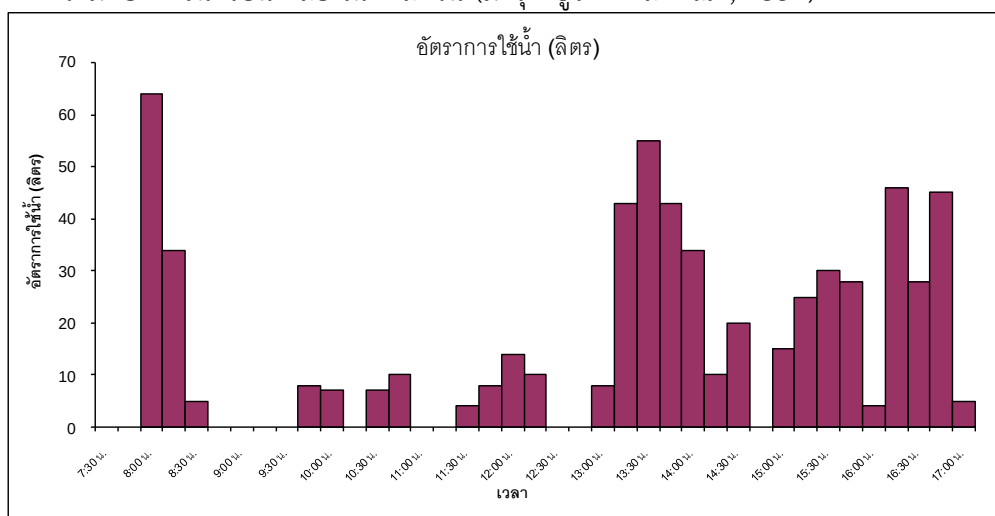
Sungsomboon, P., Chaisomphob, T., Ishida, T. and Bureecam, C. (2012). Implement of anew composting technology, serial self-turning reactor system, for municipal solid waste management in a small community in Thailand.

Songklanakarin J. Sci. Technol, vol. 34(1), 2012, pp. 109-115.

Tiwari, A.K., Ghosh, P. and Sarkar, J. (2013). Solar water heating using nanofluids – A comprehensive overview and environmental analysis. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, 3 (3), February 2013, pp. 221 – 224.

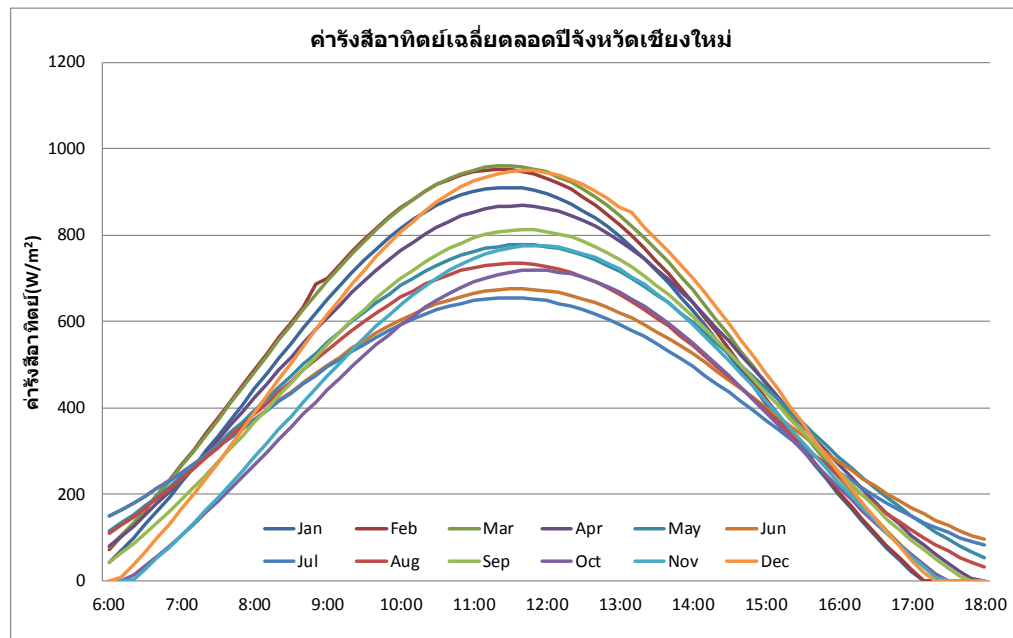
ภาคผนวก

1. ความต้องการน้ำร้อนเฉลี่ย ในแต่ละวัน (มารุต บุรพา และคณะ, 2551)

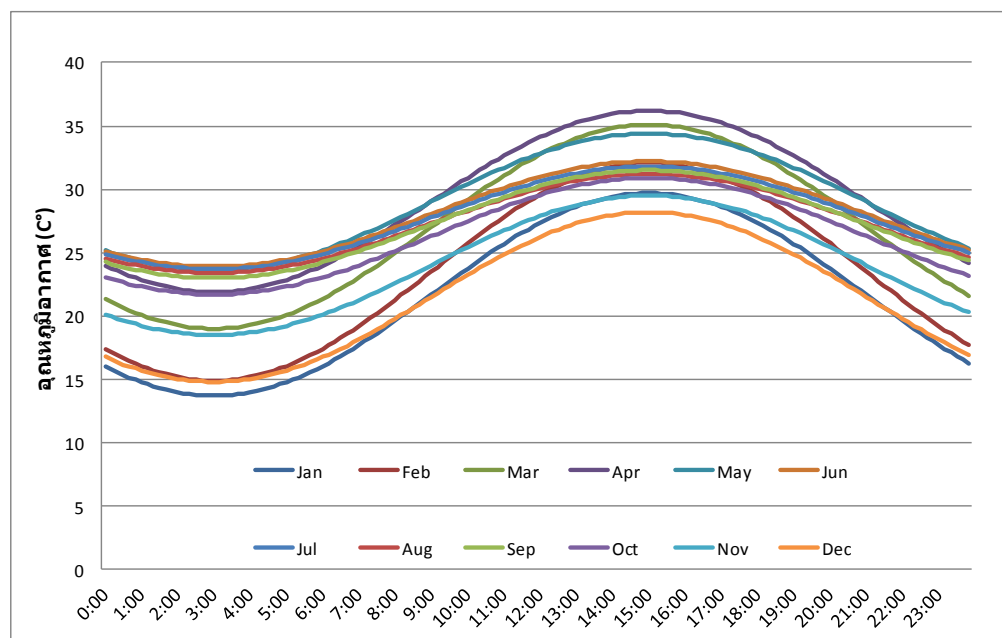


ภาพที่ ผ.1 สภาพการใช้น้ำร้อนเฉลี่ยของอาคารที่ศึกษา ในจังหวัดเชียงใหม่

2. ข้อมูลรังสีอาทิตย์ และข้อมูลอุณหภูมิอากาศรอบๆ (Chaichana et al., 2009)



ภาพที่ ผ.2 ค่ารังสีอาทิตย์ตลอดทั้งปี จังหวัดเชียงใหม่



ภาพที่ ผ.3 อุณหภูมิอากาศตลอดทั้งปี จังหวัดเชียงใหม่