เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ใช้ท่อโลหะร่วมกับตัวสะท้อนรังสี

A non-metallic solar water heater with reflectors

สุรวิทย์ วรรณชาติ,[1] จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์,[2] เจริญพร เลิศสถิตธนกร[3]

Surawit Wannachart,[1] Jindaporn Jamradloedluk,[2] Charoenporn Lertsatitthanakorn[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งใช้ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 3.96 ตารางเมตรและท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว เป็นท่อน้ำ โดยได้ทำการติดตั้งถังเก็บน้ำขนาด 80 ลิตรและตัวสะท้อนแสงอาทิตย์เข้ากับระบบ จากผลการทดสอบระบบพบว่า การติดตั้งแผ่นสะท้อนทำให้ความสามารถในการทำความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.14-33.33 และในกรณีที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงที่อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที ระบบมีความสามารถในการผลิตน้ำร้อนสูงที่สุด โดยสามารถผลิตน้ำร้อนได้ 1,200 480 และ 320 ลิตร ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวสะท้อนรังสี ท่อพีวีซี

Abstract

A solar water heater using flat plate collector with 2" PVC fluid tubes were developed and tested in this research work. A hot water tank with circulating water of 80 L and the collector area of 3.96 m^2 were installed with the reflectors. The performance tests of the system indicated that reflector installation could increase water temperature by 7.14-33.33%. The maximum hot water productivity in case of installing reflector was achieved at a water flow rate of 15 L/min, resulting in the hot water volume of 1,200, 480 and 320 L according to the fixed temperature of 40, 50 and 60^{o}C.

Keywords: Solar water heater, reflector, PVC tube

บทนำ

สถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมันเชื้อเพลิง และก๊าซธรรมชาติ ยังถือเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าของประเทศ อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงเหล่านี้นอกจากจะมีปริมาณที่ลดลงเรื่อยๆแล้ว การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อนยังถือเป็นปัญหาที่สำคัญ ด้วยการตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวทำให้มีความพยายามในการนำพลังงานทดแทน เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้งานมากขึ้น เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในแถบเส้นศูนย์สูตรและมีอุณหภูมิสูงตลอดทั้งปีไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญกล่าวคือ มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ถึง 50,000

---

[1] นิสิตปริญญาโท, [2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

[1] Graduated student, [2] Asst.Prof., Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Khamriang, Kantarawichai, Maha Sarakham 44150, Thailand.

[3] Asst.Prof., School of Energy, Environment, and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Tungkru, Bangkok, 10140, Thailand.

เมกะวัตต์ และมีศักยภาพในการผลิตพลังงานความร้อนได้ถึง 154 พันตันน้ำมันดิบ ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (2551-2565) ได้กำหนดเป้าหมายว่าภายในปี 2565 ประเทศไทยจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้เท่ากับ 2,000 เมกะวัตต์และ 100 พันตันน้ำมันดิบ (ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 75.48 เมกะวัตต์และ 1.98 พันตันน้ำมันดิบ) ตามลำดับ[1]

เทคโนโลยีในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอาจจำแนกตามผลที่ได้รับออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ เทคโนโลยีด้านไฟฟ้าและเทคโนโลยีด้านความร้อน โดยในส่วนของด้านความร้อนนั้น นอกเหนือจากการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการอบแห้งแล้ว การนำมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนก็ถือเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ 1) การผลิตน้ำร้อนชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติ (Thermosyphon) เป็นชนิดที่มีถังเก็บอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ ใช้หลักการหมุนเวียนตามธรรมชาติ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะมีความหนาแน่นน้อยลงจึงไหลขึ้นสู่ด้านบนของถังและน้ำเย็นจะไหลเข้ามาแทนที่ เหมาะสำหรับการบ้านพักอาศัย 2) ชนิดใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียน (Force circulation) เหมาะสำหรับการใช้ผลิตน้ำร้อนที่มีความต้องการใช้งานปริมาณมากและมีการใช้อย่างต่อเนื่อง เช่น โรงแรม โรงพยาบาล และอุตสาหกรรมบางประเภท เป็นต้น 3) การผลิตน้ำร้อนชนิดผสมผสาน ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาผสมผสานกับความร้อนเหลือทิ้งจากการระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็น หรือเครื่องปรับอากาศ โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะทำให้ได้ประสิทธิภาพของการทำน้ำร้อนที่ดีขึ้น[2] โดยทั่วไปในระบบการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นนิยมใช้ท่อลำเลียงน้ำที่ทำจากโลหะเพราะมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูง แต่ท่อโลหะมักมีราคาที่สูงและมีน้ำหนักมาก จึงทำให้ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย เกิดการกัดกร่อนได้ง่าย รวมถึงยากต่อการบำรุงรักษา ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการศึกษาวัสดุทางเลือกที่นำมาใช้แทนโลหะสำหรับ

Figure 1 A non-metallic solar water heater with reflectors

ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยวัสดุโพลิเมอร์ถือเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมชนิดหนึ่ง เนื่องจากราคาที่ถูกกว่า และการไม่เกิดการกัดกร่อน (Corrosive)

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาถูก โดยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถตอบโจทย์ได้เป็นอย่างดี แต่เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมักจะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่มากพอหรือมีการสูญเสียความร้อน (Heat loss) ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของอากาศแวดล้อมและลม ทำให้เกิดการพาความร้อนที่บริเวณด้านบนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ วิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ คือ การติดตั้งแผ่นสะท้อน (Reflector) เข้ากับตัวเครื่อง โดยวัสดุที่ใช้ทำแผ่นสะท้อนจำเป็นต้องมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดี เช่น แผ่นอลูมิเนียม จากงานวิจัยของ Kostic et al. ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นสะท้อนอลูมิเนียม และแผ่นสะท้อนโลหะที่ติดฟอล์ย อลูมิเนียมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนแบบผสมผสาน โดยจากผลการศึกษาพบว่า แผ่นสะท้อนโลหะที่ติดฟอล์ยอลูมิเนียมให้ค่าแฟกเตอร์การรวมแสง (Concentration factor) 1.66% ในขณะที่แผ่นสะท้อนอลูมิเนียมให้ค่าแฟกเตอร์การรวมแสง 1.44% โดยที่แผ่นสะท้อนที่ติด

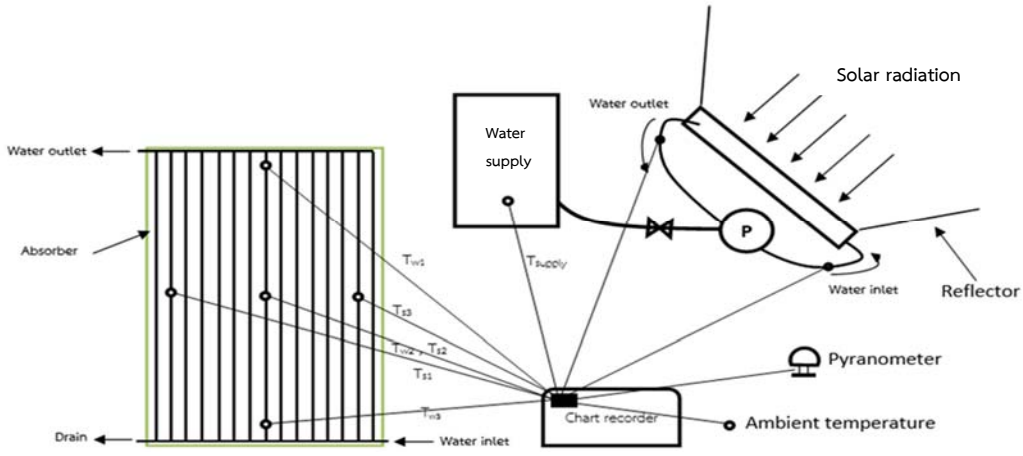

Figure 2 Positions for temperature and solar radiation measurement

ฟอล์ยอลูมิเนียมจะให้ปริมาณพลังงานความร้อนรายวันโดยรวม (Total daily thermal energy) ของระบบสูงขึ้นจากกรณีที่ไม่ติดแผ่นสะท้อนได้ถึง 55% ในขณะที่แผ่นสะท้อนอลูมิเนียมจะช่วยเพิ่มปริมาณพลังงานความร้อนรายวันโดยรวมเพียง 39% จากกรณีที่ไม่ได้ติดแผ่นสะท้อน[3]

ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำท่อ PVC (Polyvinyl Chloride) เกรด 8.5 ซึ่งเป็นท่อน้ำประปาทั่วไปที่มีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม ราคาถูกเมื่อเทียบกับท่อทองแดง ง่ายในการติดตั้ง มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอยู่ที่ (k) = 0.14 – 0.19 W/m.K มาใช้เป็นท่อแลกเปลี่ยนความร้อนและลำเลียงน้ำในระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ใช้ท่อโลหะร่วมกับตัวสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์

2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของน้ำ อุณหภูมิน้ำที่กำหนด และการใช้แผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ ที่ส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะของระบบ

การออกแบบเครื่อง การทดสอบและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ลักษณะของเครื่องถูกออกแบบให้เป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่หุ้มภายนอกด้วยแผ่นอลูมิเนียมที่เปิดด้านบน ขนาด (กว้างxยาวxสูง) 1.8 m x2.2 m x0.15 m และด้านล่างปิดทับด้วยไม้อัดเพื่อรับน้ำหนักของท่อไม่ให้เกิดการเสียรูปและเป็นฉนวนกันความร้อนอีกชั้นหนึ่ง ภายในกล่องมีการติดฉนวนกันความร้อนสีดำหนา 5 มิลลิเมตร เพื่อกันความร้อนสูญเสียและใช้เป็นแผ่นดูดซับความร้อน (Absorber plate) โครงสร้างทั้งหมดของเครื่องทำจากเหล็กกล่องเพื่อความแข็งแรง สามารถบรรจุน้ำภายในตัวเครื่อง 80 ลิตร และได้ทำการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงที่ทำจากสังกะสีที่มีการปิดทับด้วยฟอล์ยอลูมิเนียม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรวมแสงอาทิตย์ (ดู Figure 1)

การทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ณ บริเวณอาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้ดำเนินการโดยใช้วิธีการแนะนำของ Ong et. al.[4] ในช่วงเวลา 09:00-16:00 นาฬิกา ระหว่างเดือนสิงหาคม 2557- กุมภาพันธ์ 2558 ดำเนินการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนและเครื่องที่ติดตั้งแผ่นสะท้อน โดยวิธีการทดสอบ แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้ 1) การทดสอบแบบไม่มีการหมุนเวียนน้ำหรือการหมุนเวียนแบบธรรมชาติ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ให้น้ำไหลวนอยู่ในระบบ

ตลอดช่วงเวลาทำการทดลอง กรณีที่ 2 กำหนดอุณหภูมิน้ำที่ต้องการ (40 50 60 องศาเซลเซียส) เมื่อน้ำในระบบมีอุณหภูมิเท่าที่ต้องการแล้ว จะมีการปล่อยน้ำทิ้งแล้วจึงทำการเติมน้ำเข้าไปใหม่ 2) การทดสอบแบบมีการหมุนเวียนน้ำแบบบังคับการไหล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 จะปล่อยระบบให้ทำงานตลอดช่วงทำการทดลอง โดยที่กำหนดอัตราการไหลเป็น 2 ระดับคือ อัตราการไหล 15 และ 25 ลิตรต่อนาที เมื่อน้ำในระบบมีอุณหภูมิเท่าที่ต้องการแล้ว จะมีการปล่อยน้ำทิ้งแล้วจึงทำการเติมน้ำเข้าไปใหม่ กรณีที่ 2 มีการกำหนดอุณหภูมิน้ำ (40 50 60 องศาเซลเซียส) และอัตราการไหล 15 และ 25 ลิตรต่อนาที ระหว่างการทดสอบระบบจะทำการวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ภายในตัวเครื่อง และนอกเครื่องพร้อมทั้งวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (ดู Figure 2) โดยได้ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 นาที

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type-K ด้าน Junction เข้ากับจุดวัดต่างๆบนเครื่อง

2. ติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ Pyranometer บนด้านหน้ากระจกของ Collector plate

3. ทำการปรับมุมแผ่นสะท้อนของระบบเครื่องที่มีแผ่นสะท้อน ซึ่งการปรับมุมนี้จะปรับให้เป็นมุมตกกระทบเข้าไปยังแผงรับที่ดีที่สุดโดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ C. Lertsatitthanakorn et. al.[5] ที่มุมตกกระทบของแผ่นสะท้อนแสงแผ่นบนจะกำหนดให้มีค่ามุมที่กระทำกับแนวตั้งเท่ากับ -5 องศา ในเดือนตุลาคม และปรับเพิ่มมุมขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 10 องศาในช่วงเดือนธันวาคม แล้วปรับมุมลดลงมาที่ 5 องศาในเดือนกุมภาพันธ์ และแผ่นสะท้อนแผ่นล่าง กำหนดให้มีค่ามุมที่ทำกับระนาบพื้นดิน 55 องศา ในเดือนตุลาคม และปรับมุมลดลงเรื่อยๆ จนถึง 35 องศาในช่วงเดือนมกราคม แล้วปรับขึ้นไปที่ 40 องศาในเดือนกุมภาพันธ์

4. เมื่อติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และปรับมุมแผ่นสะท้อนเรียบร้อยแล้ว ทำการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ บันทึกข้อมูลใน Data logger

5. ทำการเติมน้ำเข้าสู่ระบบ โดยปั๊มหอยโข่งขนาด 0.5 แรงม้าเป็นเครื่องช่วยเติมน้ำ

ผลการทดลอง

1) กรณีให้น้ำไหลวนอยู่ในระบบตามธรรมชาติ (Free circulation)

จากการทดลองปล่อยให้ระบบทำน้ำร้อนดำเนินไปด้วยการไหลตามธรรมชาติ พบว่า อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเวลาประมาณ 14.05 น. อุณหภูมิน้ำร้อนจึงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แล้วจึงมีค่าลดลงเล็กน้อยใน

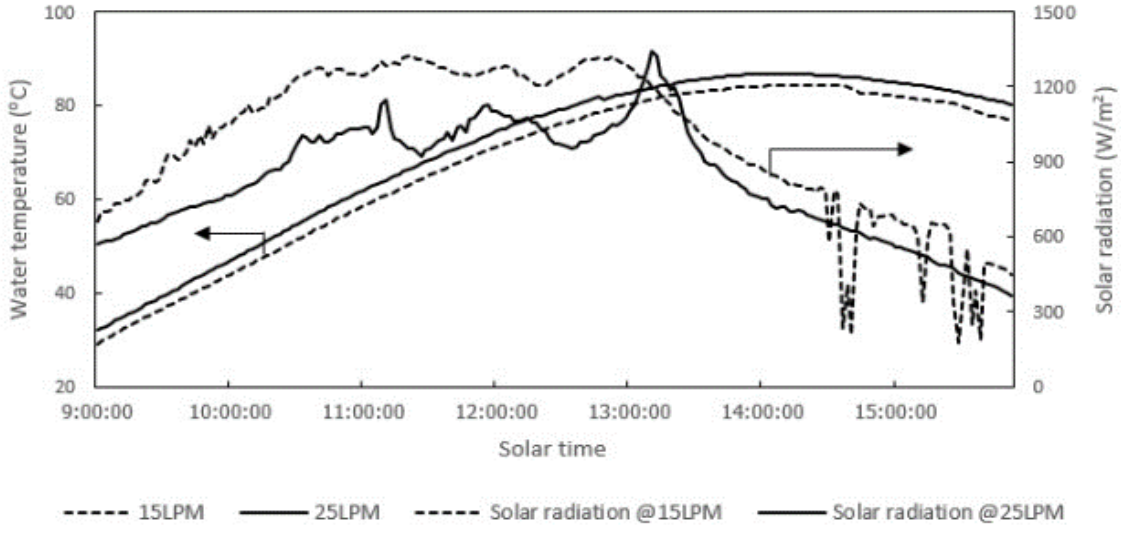

Figure 3 Influences of reflectors installation on water temperature

ช่วงเวลา 15.30 น. ในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนอุณหภูมิน้ำที่ขาออกสูงสุดของวันทดลองอยู่ที่

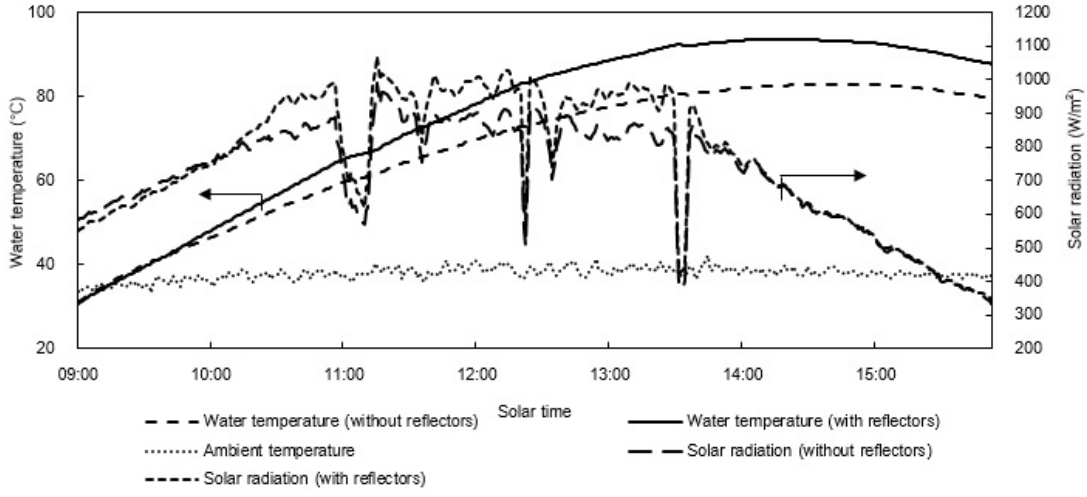

Figure 4 Influence of water flow rate on temperature of water at different times of the day

82.9 องศาเซลเซียส (ที่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 722.4 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน) ในขณะที่กรณีที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนเพิ่มจะให้อุณหภูมิของน้ำภายในแผงสูงสุดของวันทดลองอยู่ที่ 93.7 องศาเซลเซียส ดังนั้นการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงจึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความร้อนได้เป็นอย่างดี โดยทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น 13.03 เปอร์เซ็นต์ (ดู Figure 3)

2) กรณีเมื่อปรับอัตราการไหล (15 และ 25 ลิตรต่อนาที)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราการไหลของน้ำที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ ดังแสดงใน Figure 4 พบว่า ที่ทุกช่วงเวลาของวันอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักสำหรับทั้งสองอัตราการไหล โดยที่อัตราการไหล 15 และ 25 ลิตรต่อนาทีสามารถทำอุณหภูมิของน้ำร้อนสูงสุดในวันทดลองเท่ากับ 85.1 และ 86.8 องศาเซลเซียสที่ปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ย 733.09 และ 750.29 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

3) กรณีกำหนดอุณหภูมิของน้ำร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ (40 50 60 องศาเซลเซียส)

เมื่อทำการทดลองกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออก พบว่า ในหนึ่งวันการทดลอง เครื่องทำน้ำร้อนพลังงาน

Table 1 Productivity of hot water (L/day) at different experimental condition

Water temparature (°C)	Free circulation		Force circulation at 15 l/m		Force circulation at 25 l/m	
	With reflectors	Without reflectors	With reflectors	Without reflectors	With reflectors	Without reflectors
40	880	720	1200	1120	960	720
50	320	240	480	400	400	320
60	160	80	320	240	240	160

สามารถผลิตน้ำร้อนได้ในปริมาณที่ต่างกัน (ดู Table 1) โดยเมื่อกำหนดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส สามารถผลิตน้ำร้อนได้ในปริมาณที่มากกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มอัตราการไหลจาก 15 ลิตรต่อนาที เป็น 25 ลิตรต่อนาทีทำให้ความสามารถในการผลิตน้ำร้อนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เร็วเกินไปอาจทำ

ให้เกิดการสูญเสียความร้อนออกจากระบบมากขึ้น ได้มากเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาความร้อนสัมผัสที่อยู่ในน้ำร้อนซึ่งผลิตได้ที่สภาวะต่างๆ ดังแสดงใน Table 2 พบว่า ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำร้อนที่เครื่องสามารถผลิตได้

Table 2 Sensible heat (kJ/day) of the hot water produced at various conditions of the experimentals

Water temperature (°C)	Free circulation		Force circulation at 15 l/m		Force circulation at 25 l/m	
	With reflectors	Without reflectors	With reflectors	Without reflectors	With reflectors	Without reflectors
40	39,257	34,155	51,729	38,440	51,081	39,760
50	27,813	24,876	43,980	37,493	41,736	31,151
60	28,896	19,070	39,514	29,298	44,014	33,027

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาและทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ใช้ท่อโลหะ พบว่า ที่อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาทีส่งผลให้ระบบมีความสามารถในการผลิตน้ำร้อนสูงที่สุด โดยในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงเมื่อกำหนดอุณหภูมิน้ำที่ 40 50 60 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณน้ำร้อนที่ 1,120 400 และ 240 ลิตรตามลำดับ และเมื่อติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงจะทำให้ได้ปริมาณน้ำร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 1,200 480 และ 320 ลิตร ตามลำดับ ดังนั้นการติดตั้งแผ่นสะท้อนจึงสามารถเพิ่มความสามารถในการทำความร้อนได้ถึงร้อยละ 7.14 - 33.33 ทั้งนี้ความสามารถในการทำน้ำร้อนขึ้นยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆทางธรรมชาติด้วยเช่น ปริมาณแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม ปริมาณเมฆ หรือแม้กระทั่งความเร็วลม ในระหว่างการทดลอง

อย่างไรก็ตามการนำท่อ PVC มาใช้แทนท่อโลหะสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้มีข้อจำกัดของท่อ PVC คือ ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงๆได้ เมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่ง พบว่า ท่อเกิดการเสียรูปเนื่องจากความร้อนที่สูงเกินไป ดังนั้นในการนำท่อ PVC มาประยุกต์ใช้งานจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดนี้ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี, กระทรวงพลังงาน, ไม่ระบุปี
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. (2548). เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์, มิถุนายน.
3. Lj.T. Kostic, T.M. Pavlovic, Z.T. Pavlovic., (2010a) "OptimalDesign of orientation of PV/T CollectorWith reflector" Applied Energy 87, 3023–3029, March
4. C.Lertsatitthanakorn, S.Soponronnarit et. al., (2014) "Performance Study of Thermoelectric Solar Asisted Heat Pump with Reflectors" Journal of Electronic Materials 43(6): 2040-2046
5. Ong KS. (1974) "A Finite-difference Method to Evaluate the Thermal Performance of a Solar Water Heater" Solar Energy 16(3-4):137–47.