

การพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อน ด้วยกำลังไอน้ำและอากาศที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Development of a Solar Water Heating System Circulating Hot Water

by a Steam –Air Power without Heat Exchanger

จิรวัดน์ สิตรานนท์ พิชัย นามประกาย ทวีวัฒน์ สุภากรส ญัฐพล รุ่งประแสง นริส ประทินทอง
สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
เขตทุ่งครุ กทม 10140 โทร 0-2649-5000 โทรสาร 0-2260-2889 E-mail: Jirawat_solar@hotmail.com

Jirawat Sitranon^{*} Pichai Namprakai Taveewat Suparos Natthaphon Roonprasang Naris Pratinthong

Department of Energy Technology, Faculty of Energy, Environment and Materials King Mongkut's University of Technology Thonburi
Thungkhu Bangkok 10140 Thailand Tel: 0-2649-5000 Fax: 0-2260-2889 E-mail: Jirawat_solar@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาระดับความสูงในการปั๊มที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำ-อากาศ ที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากระหว่างที่น้ำร้อนไหลมาจากแผงรับรังสีอาทิตย์ไปยังถังเก็บน้ำร้อน ทำให้มีการสูญเสียความดันสำหรับหัวส่งน้ำที่ยังมีค่ามากอยู่เป็นผลให้อัตราการส่งน้ำร้อนไปเก็บ และประสิทธิภาพเชิงความร้อน ยังมีค่าไม่เหมาะสมที่สุด เพื่อแก้ปัญหานี้จึงได้ลดระดับความสูงในการส่งน้ำให้ต่ำที่สุด โดยน้ำร้อนยังถูกส่งไปเก็บที่ถังสะสมโดยตรงเหมือนเดิมทำการเก็บผลการทดลองเป็นระยะเวลา 9 ชั่วโมง ที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 0.50 m จากการทดลองพบว่า ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 11.52 MJ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 39.9% ซึ่งมีค่ามากกว่าผลที่ความสูงในการจ่ายน้ำ 1.00 m อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อน 58.7°C และสามารถผลิตน้ำร้อนได้ 80.6 ลิตรต่อวัน และส่งน้ำร้อนไปเก็บที่ถังได้ถึง 26 รอบ เมื่อมีค่ารังสีอาทิตย์ 28.9 MJ/d

Abstract

The goal of this research was to study the pumping head enhancing the efficiency of a solar water heating system circulating hot water by a steam-air power without heat exchanger. The hot water flowing from the solar flat plate collector to the storage tank led to a considerable pressure loss for a discharge head. As a result, the optimum transfer rate to store hot water and thermal efficiency can not be obtained.

To solve this problem, the discharge head was decreased to the possible lowest level. The hot water was sent to the storage tank straightforwardly as usual. The test data were recorded for 9 h for a 0.50 m discharge head. The system after modification had thermal energy of 11.52 MJ stored in the storage tank, thermal efficiency of 39.9% higher than the results of 1.00 m discharge head, mean water temperature of 58.7°C in the tank and the produced hot water of 80.6 l/d. The pumping cycles were as high as 26 when solar irradiation was 28.9 MJ/d.

คำสำคัญ : ค่ารังสีอาทิตย์/ ประสิทธิภาพของระบบ/ ระดับความสูงในการส่งน้ำ

Keywords: Discharge Head/Efficiency of System/Solar Irradiance

1. บทนำ

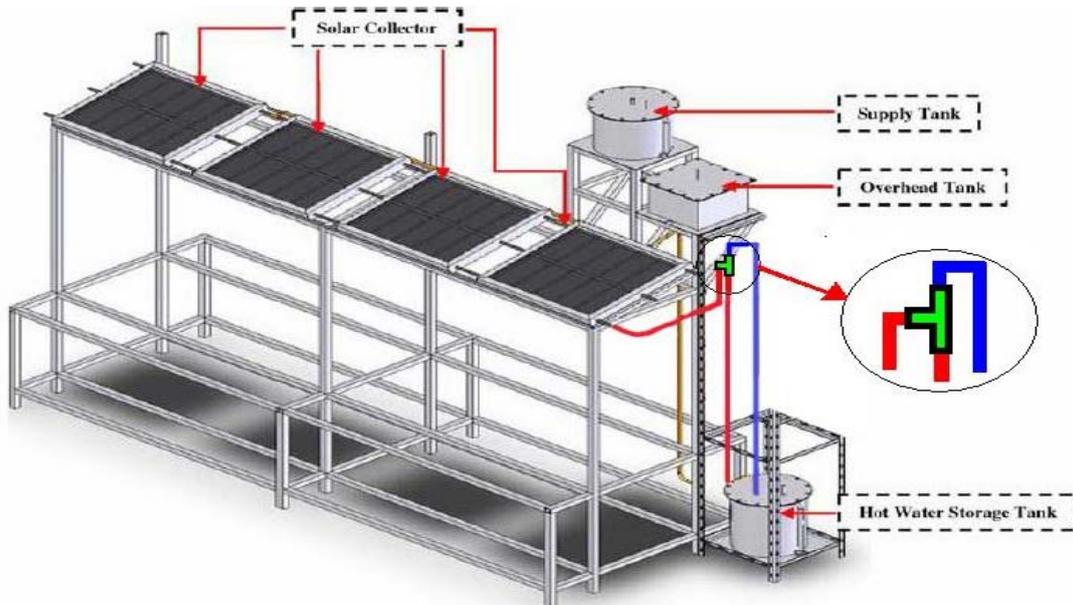
ในปัจจุบันประเทศไทยมีความพยายามหาพลังงานทางเลือกอื่นเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลในการสูบน้ำเพื่อการเกษตร ซึ่งหากพิจารณาจากศักยภาพของประเทศไทยแล้วจะพบว่าพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูงมาก ในการประยุกต์ใช้พลังงานหมุนเวียนที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์มีมากมายมหาศาลและจัดว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานใช้ไม่หมด หากเราสามารถจะนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ได้ก็จะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุด เนื่องจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำแบบเดิม เกิดการสูญเสียความร้อนจากหม้อน้ำร้อนของระบบ จากการเปิดสู่บรรยากาศของความดันภายในระบบ ระดับความสูงในการจ่ายน้ำที่สูงมากเกินไปทำให้

แผงรับรังสีต้องสร้างความดันในการขับเคลื่อนน้ำมากเกินไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำและอากาศ ที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยออกแบบให้น้ำร้อนที่ผลิตได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์มากักเก็บภายในถังเก็บน้ำร้อนได้โดยตรงและนำไอน้ำที่ได้จากแผงรับรังสีเปิดสู่บรรยากาศภายในถังเก็บน้ำร้อน เปลี่ยนฉนวนใหม่และมีความหนาแน่นกว่าของเดิม เพื่อที่จะลดการสูญเสียความร้อนให้น้อยลง รวมทั้งลดความสูงในการจ่ายน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ

2. อุปกรณ์และวิธีวิจัย

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย โครงสร้างที่ทำจากเหล็กกล่องขนาด 2 x 2 นิ้ว ขนาด 150 x 330 x 250 cm ตามลำดับ, แผงรับรังสีแบบแผ่นราบ (Flat Plate Collector) ขนาด 0.638 x 0.623 m (0.397 m²) จำนวน 4 แผงบรรจุน้ำและอากาศ 4.1 และ 1.3 ลิตร มุมเอียง 14 องศาขนานกับพื้น หันหน้าไปทางทิศใต้, ถังจ่ายน้ำหลัก (Supply Tank)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.1 cm สูง 38.9 cm บรรจุน้ำภายในถึง 60 ลิตร, ถังพักน้ำด้านบน (Overhead tank) ขนาด 40 x 40 x 30 cm บรรจุน้ำภายในถึง 3.1 ลิตร, ถังเก็บน้ำร้อน (Storage Tank) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38.9 cm สูง 50 cm บรรจุน้ำภายในถึง 59.42 ลิตร และวาล์วกันกลับ (Control Valve) ส่วนที่มีการปรับปรุงคือ ท่อส่งน้ำร้อนที่เปิดสู่บรรยากาศภายในถังเก็บน้ำร้อนจากข้อต่อ 3 ทาง เพื่อกันความร้อนสูญเสียจากการระเหยของน้ำ นอกจากนี้ยังทำการลดหัวส่งน้ำ (Discharge head) หลายๆ ค่าด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ทำการติดตั้งโครงสร้างและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง กำหนดตำแหน่งวัดอุณหภูมิ, ความดันและรังสีอาทิตย์ ติดตั้งเครื่องมือวัดตามกำหนด โดยใช้ Pressure Transducers เป็นเครื่องมือวัดความดันภายในแผงรับรังสีอาทิตย์ เติมน้ำประปาที่ถังจ่ายน้ำหลักและเข้าแผงรับรังสีเท่ากับ 60, 3.1 ลิตร ตามลำดับ ตรวจสอบระดับน้ำในท่อดังระดับน้ำที่แผงรับรังสี, ถังเก็บน้ำด้านบน และถังเก็บน้ำร้อน ทำความสะอาดกระจกของตัวรับรังสี บันทึกรู้อุณหภูมิ, ความดัน และค่ารังสีดวงอาทิตย์ ทุกๆ 30 วินาที และเริ่มทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 08.00 – 17.00 น.



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำและอากาศ ที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ที่เวลาสุดท้าย), °C

3. สมการการวิเคราะห์ระบบ

พลังงานความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อนสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_s = \frac{m_{w,s} \times C_{p,w} \times (T_2 - T_1)}{10^3} \quad (1)$$

- เมื่อ Q_s = ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังเก็บน้ำร้อน, MJ
 $m_{w,s}$ = มวลน้ำในถังเก็บน้ำร้อน, kg
 $C_{p,w}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของสารตัวกลาง(น้ำ), kJ/kg °C
 T_2 = อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนเฉลี่ยในวันที่ทำการทดลอง

$$T_1 = \text{อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนเฉลี่ยในวันที่ทำการทดลอง (ที่เวลาเริ่มต้น), °C}$$

ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ

$$\eta_t = \frac{Q_s}{H_{tot}} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ η_t = ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ

Q_s = ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังเก็บน้ำร้อน, MJ

H_{tot} = ผลรวมค่ารังสีอาทิตย์ในวันที่ทำการทดลอง, MJ

$$H_{tot} = \frac{\sum H \times 30 s \times A}{10^6}$$

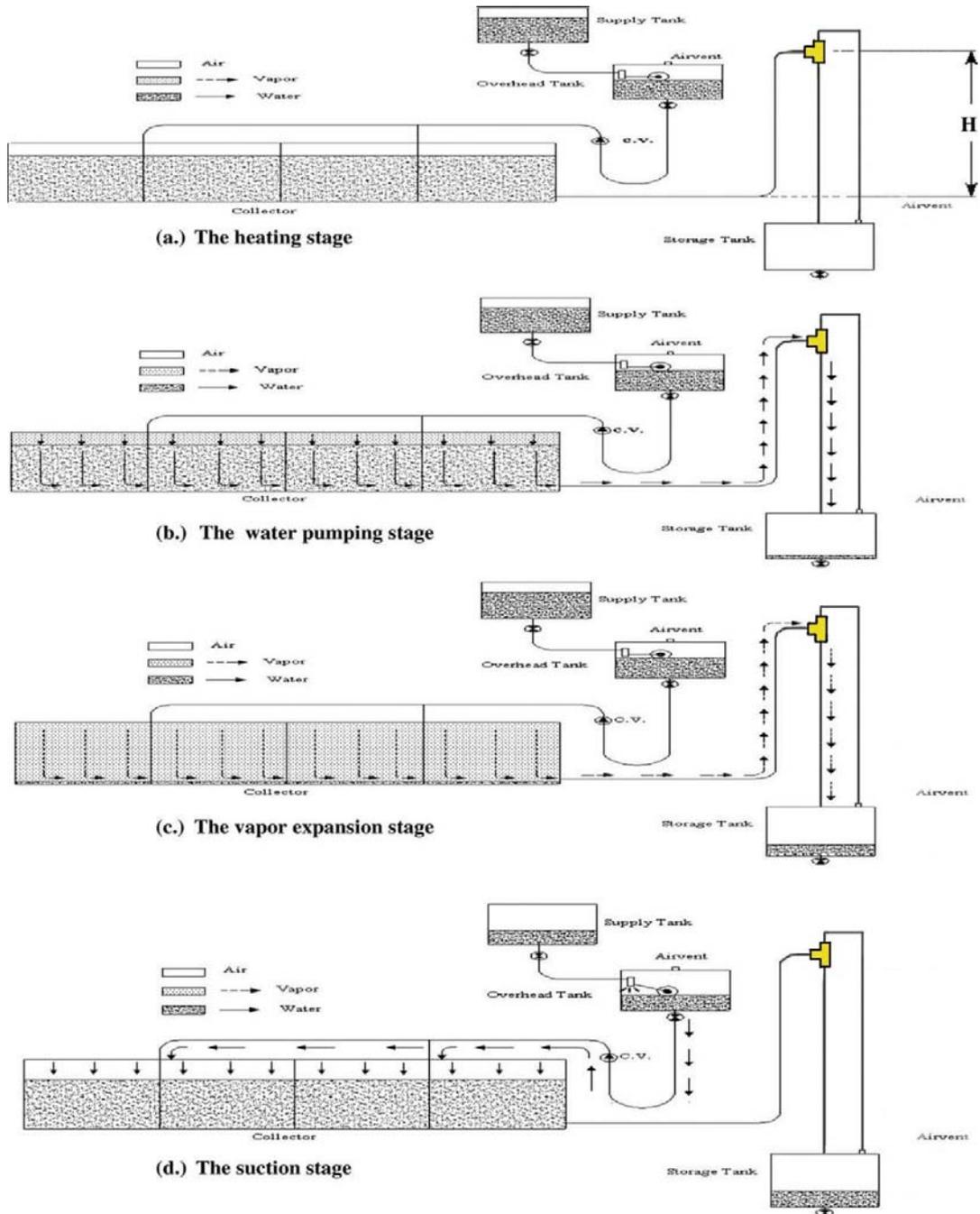
เมื่อ H = ค่ารังสีอาทิตย์ในวันที่ทำการทดลอง, W/m^2

A = พื้นที่ตัวรับแสงอาทิตย์, m^2

4. หลักการทำงานของระบบ

เมื่อแผงรับรังสีอาทิตย์ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ น้ำและอากาศที่อยู่ภายในจะมีอุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น ไอน้ำและอากาศร้อน(ตามลูกศร) จะส่งแรงขับเคลื่อนน้ำร้อนที่อยู่ภายในแผงรับรังสีให้ไหลไปยังท่อต่อ 3 ทาง จากนั้นจะไหลลงไปกักเก็บที่ถังเก็บน้ำร้อน (ด้วยอิทธิพลของค่าแรงโน้มถ่วงของโลก) ในขณะที่เดียวกันนี้ น้ำจากถังเก็บน้ำด้านบนจะไม่สามารถไหลเข้ามาในแผงรับรังสีได้ในขณะนี้ เนื่องจากความดันไอที่เกิดขึ้นภายในแผงรับรังสีในจังหวะ Pressurizing water vapor นี้ จะดันมวลของน้ำในวาล์วกันล้นรูปตัวยู (C.V.) อยู่ แต่ก็ไม่

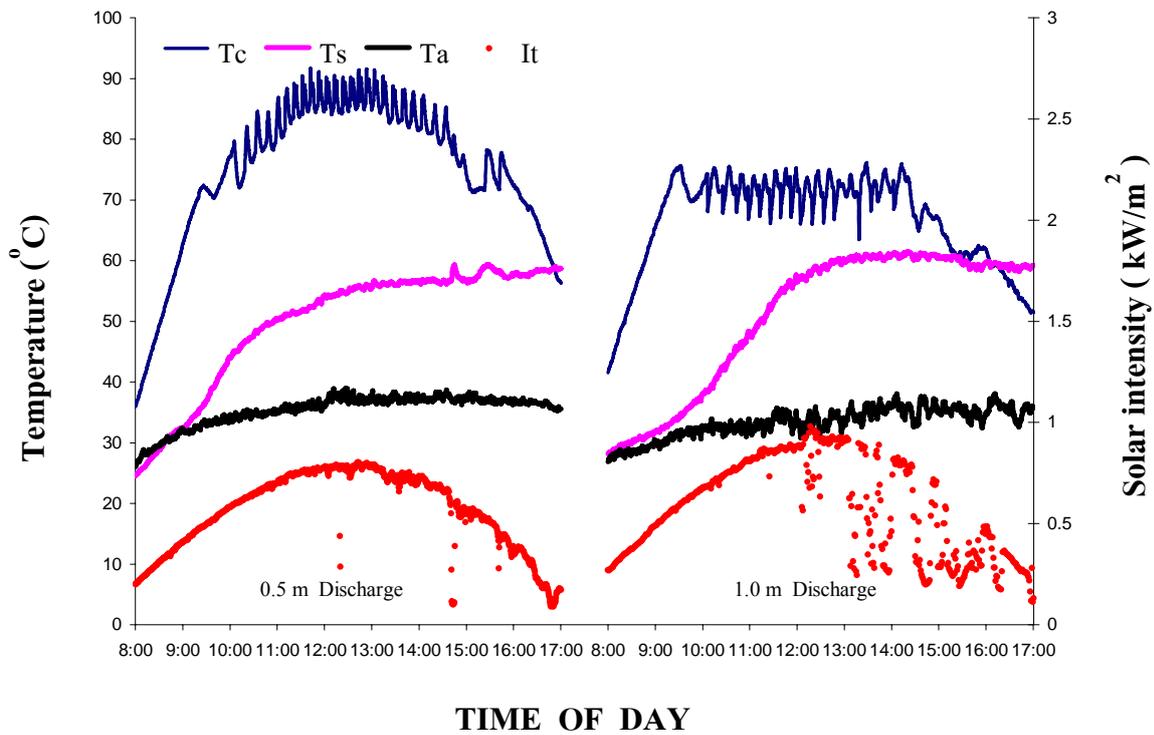
มากพอที่จะดันน้ำให้ไหลย้อนผ่านวาล์วกันล้น (C.V.) ไปถังเก็บน้ำด้านบนได้ เมื่อแผงรับรังสีอาทิตย์ผลิตไอและขับเคลื่อนน้ำภายในแผงรับรังสีให้ไหลออกไปตลอดเวลา จนกระทั่งระดับน้ำในแผงรับรังสีต่ำเท่ากับท่อทางออกของน้ำที่แผงรับรังสี ไอน้ำภายในตัวรับรังสีจะสามารถไหลออกและขับเคลื่อนน้ำที่เหลืออยู่ภายในท่อส่งน้ำร้อนให้ลงไปสู่ถังเก็บน้ำร้อน และเมื่อแรงดันไอกภายในแผงถูกระบายออกมาเรื่อยๆ จึงส่งผลให้ความดันภายในแผงรับรังสีเท่ากับความดันของบรรยากาศที่ข้อต่อ 3 ทาง น้ำที่ถูกกักเก็บภายในถังเก็บน้ำด้านบนจะไหลผ่านวาล์วกันล้น (C.V.) ได้ เนื่องจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง (gravitational force) ซึ่งน้ำจากถังเก็บน้ำด้านบนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำไหลเข้าแผงรับรังสี จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำร้อน ทำให้ปริมาตรของไอน้ำและอากาศยุบตัวเกิดสูญญากาศ (vacuum) ชั่วขณะหนึ่ง และดูดน้ำที่เหลืออยู่ในถังเก็บน้ำด้านบนให้ไหลเข้ามาในแผงรับรังสี เมื่อน้ำในถังเก็บน้ำด้านบนไหลเข้าแผงรับรังสีจนหมด น้ำที่อยู่ในแผงรับรังสีจะได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ และสร้างไอน้ำใหม่อีกครั้ง (และในขณะที่เดียวกันนี้ น้ำจากถังจ่ายน้ำหลักก็จะไหลผ่านวาล์วลูกลอยเติมน้ำเพื่อเติมน้ำเข้าถังเก็บน้ำด้านบนโดยอัตโนมัติ) และระบบก็จะเริ่มทำงานในจังหวะ Pressurizing water vapor และหมุนเวียนน้ำในวัฏจักรต่อไป



รูปที่ 2 หลักการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำและอากาศ ที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

5. ผลงานวิจัย และวิเคราะห์ผลงานวิจัย

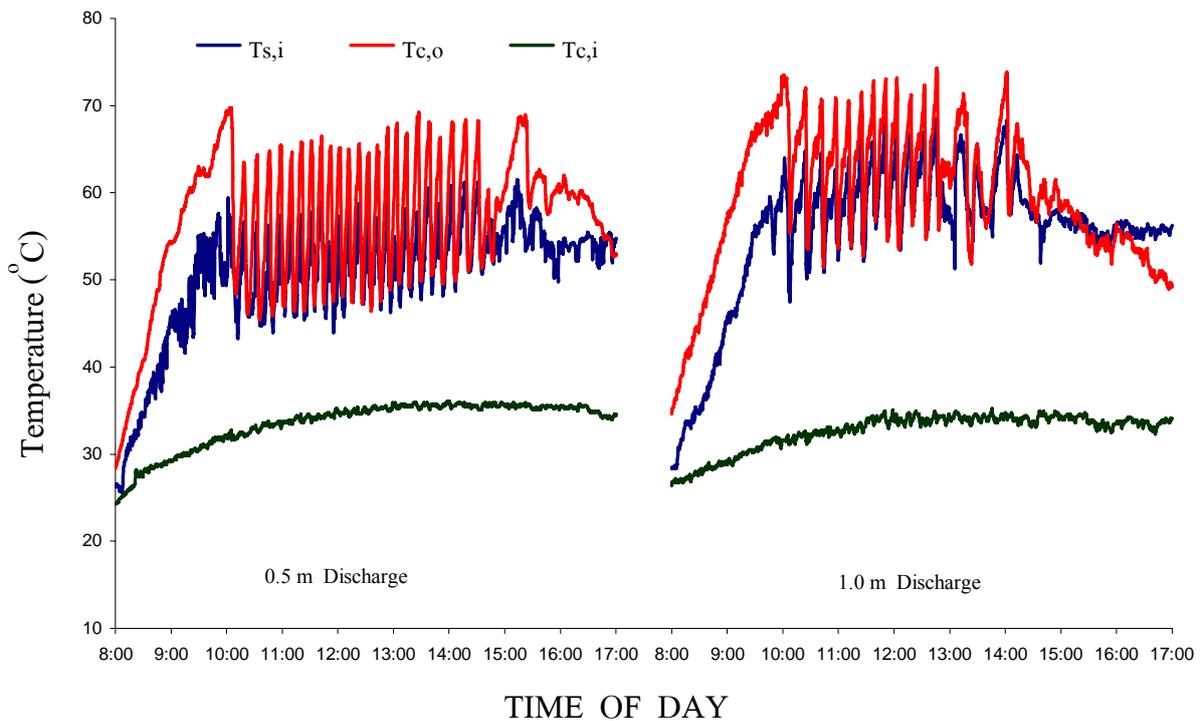
งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 วินาที แล้วนำมาพล็อตกราฟรวมเข้าด้วยกัน การทำงานของระบบสามารถพิจารณาได้จากเส้นอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรับรังสี, อุณหภูมิทางออกของแผงรับรังสี, อุณหภูมิทางเข้าถังเก็บน้ำร้อน, อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บน้ำร้อน และค่ารังสีอาทิตย์ จากผลการทดลองพบว่าระบบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำในแต่ละรอบการทำงานสามารถหมุนเวียนน้ำได้ 3.1 ลิตรต่อรอบ จากการทดลองที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 0.5 เมตร พบว่าระบบจะเริ่มทำงานได้ก็ต่อเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ มีจำนวนรอบในการหมุนเวียนน้ำร้อน 26 รอบต่อวัน



รูปที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรับรังสี(T_c), อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บน้ำร้อน(T_s), อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม(T_a) และค่ารังสีอาทิตย์(I_t)

จากผลทดลองพิจารณาการทำงานของระบบได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงรับรังสี ในการหมุนเวียนน้ำแต่ละรอบ จากการทดลองที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 0.5 m และ 1.0 m พบว่าระบบจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 498 และ 631 W/m^2 ที่อุณหภูมิของแผงรับรังสี 71.95 °C และ 76.19 °C จากรูปในช่วงเริ่มต้นเวลา ระบบจะเริ่มขับดันน้ำจากตัวรับรังสีไปสู่ถังเก็บน้ำร้อนอย่างช้าๆ ด้วยการขยายตัวของอากาศภายในตัวรับรังสีส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนของน้ำ (สารทำงาน) ที่ไหลออกจากแผงรับรังสีกับน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน ที่เวลา 09:28 น. และ 09:33 น. ไอน้ำจากตัวรับรังสีสามารถระบายไอที่ถังเก็บน้ำร้อนด้านล่าง อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงรับรังสีมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่ช่วงเวลา 10:21-14:34 น.

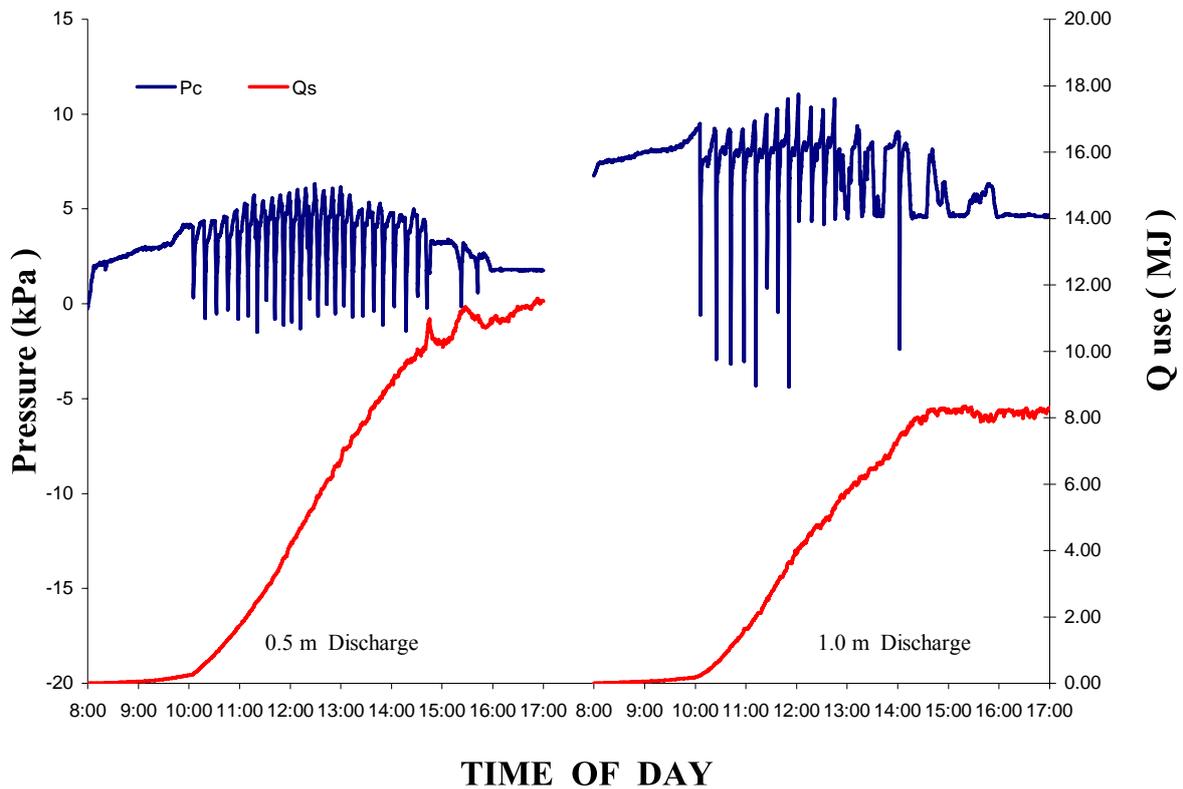
และ 10:08-13:20 น. ซึ่งระบบจะทำงานอย่างรวดเร็ว แผงรับรังสีสามารถสร้างอุณหภูมิได้อยู่ช่วงระหว่าง 72.93-91.65 °C และ 70.30-76.84 °C มีระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ย 11 และ 15 นาทีต่อรอบ และระบบเริ่มจะหยุดการทำงานเมื่อมีการระบายไอครั้งสุดท้ายที่เวลา 15:22 น. และ 14:44 น. อุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 58.67 °C และ 59.17 °C ที่เวลา 17:00 น. มีค่าผลรวมรังสีดวงอาทิตย์ 18.17 และ 18.57 $MJ/m^2 \cdot day$ มีรอบการทำงาน 26 และ 17 รอบต่อวัน สรุปได้ว่าที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 0.5 m มีอุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บน้ำร้อนน้อยกว่าที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 1.0 m อยู่ 0.5 °C แต่มีรอบการทำงานมากกว่า 9 รอบต่อวัน



รูปที่ 4 อุณหภูมิทางเข้าของถังเก็บน้ำร้อน(Ts,i), อุณหภูมิทางออกของแผงรับรังสี(Tc,o), และอุณหภูมิทางเข้าของแผงรับรังสี(Tc,i)

จากรูปที่ 4 อุณหภูมิที่ทางออกของแผงรับรังสีสูงกว่าอุณหภูมิที่ทางเข้าถังเก็บน้ำร้อน ในช่วงแรกของระบบ เมื่อระบบเริ่มทำงานการขับเคลื่อนน้ำจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จึงทำให้อุณหภูมิที่ทางเข้าถังเก็บน้ำร้อนสูงไม่เท่าอุณหภูมิที่ทางออกของแผงรับรังสี เนื่องจากที่ทางออกของแผงมีน้ำไหลตลอดจนหมดแผง แต่ที่ที่ทางเข้าถังเก็บน้ำร้อนจะมีอากาศผสมอยู่มาก และเมื่อระบบทำงานอย่างรวดเร็วอุณหภูมิที่ทางออกของแผงรับรังสีและอุณหภูมิที่ทางเข้าถังเก็บน้ำร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกัน จนน้ำในระบบเริ่มหมดจะเกิดการขับเคลื่อนไอออกจากแผงทำให้อุณหภูมิที่ทางออกของแผงรับรังสีสูง เนื่องจากไอความร้อนจากแผงรับรังสี และเปิดสูบบรรยากาศก่อนจะไหลเข้าถังเก็บน้ำร้อน ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำและอากาศอยู่มาก จึงทำให้อุณหภูมิที่ทางเข้าถังเก็บน้ำร้อนต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทางออกของแผงรับรังสี อุณหภูมิอุณหภูมิ

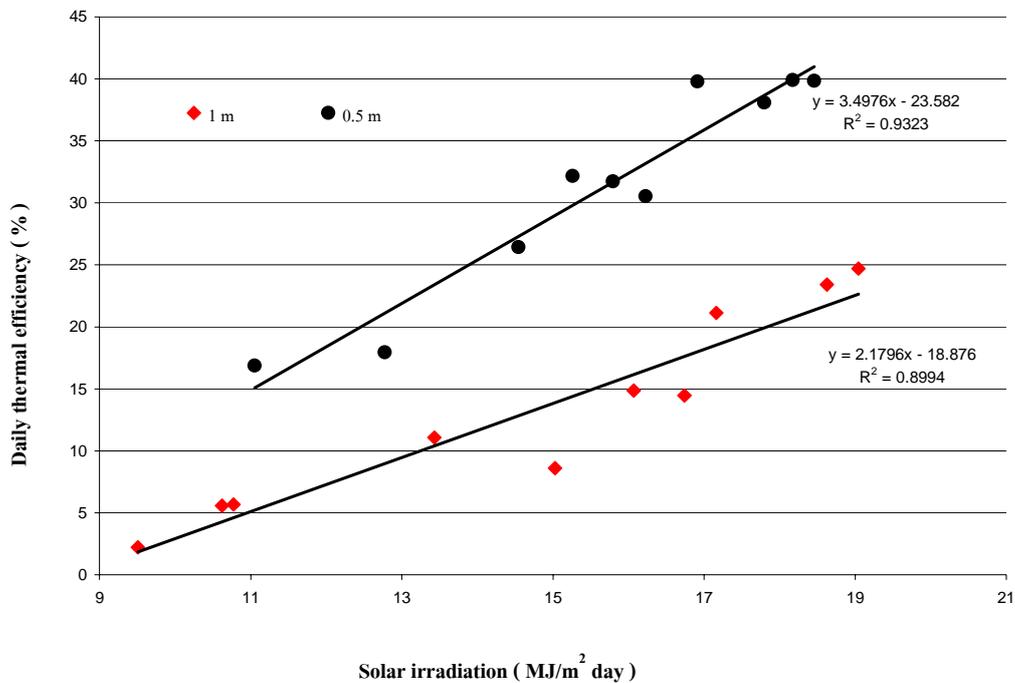
ที่ทางออกแผงมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามค่ารังสีอาทิตย์ที่เพิ่มมากขึ้น การทำงานของระบบสามารถพิจารณาจากเส้นอุณหภูมิที่ทางเข้าถังเก็บน้ำร้อนและทางออกของแผงรับรังสีในช่วงเวลา 10:10-14:48 น. และ 10:11-14:30 น. มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน มีการหมุนเวียนน้ำ(สารทำงาน)ได้รวดเร็วยิ่งขึ้นเนื่องจากปริมาณค่ารังสีที่สูงขึ้นในแต่ละวัน อุณหภูมิที่ทางออกของแผงรับรังสี มีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณค่ารังสีที่ลดลงและระบบไม่สามารถหมุนเวียนน้ำ(สารทำงาน)ให้ไหลผ่านไปยังถังเก็บน้ำร้อนด้านล่างได้อีก ดังนั้นน้ำ(สารทำงาน)ที่อยู่ภายในแผงรับรังสีจึงสูญเสียความร้อน ซึ่งเกิดจากการสมดุลทางความร้อนของสารทำงานในระบบ



รูปที่ 5 ปริมาณความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อน(Qs) และความดัน(Pc)

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อน(Qs) และความดันไอน้ำภายในแผงรับรังสี จากการทดลองพบว่าระบบเริ่มทำงานเมื่อความดันภายในระบบ มีค่าเท่ากับ 4.06 kPa และ 7.05 kPa ซึ่งเป็นการทำงานในตอนเช้าพบว่าการทำงานในตอนเช้ามีความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าน้อย ปริมาณค่า (Qs) มีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพราะระบบใช้เวลามากในการหมุนเวียนน้ำออกจากแผงรับรังสีต่อรอบเนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์ที่มีปริมาณน้อยในช่วงเช้า ที่เวลา 10:09 – 14:46 น. และ 10:17 – 14:25 น. เมื่อระบบมีการส่งความร้อนและปั๊มด้วย Pressurizing vapor เส้นกราฟ (Qs) มีความชันเพิ่มมากขึ้นค่าปริมาณของ (Qs) เกิดขึ้น

อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ค่ารังสีอาทิตย์ สูงสุดได้ว่าปริมาณความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อค่ารังสีอาทิตย์และการหมุนเวียนน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 0.5 m สามารถผลิตน้ำร้อนปริมาณ 80.6 ลิตรต่อวันและที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 1.0 m สามารถผลิตน้ำร้อนปริมาณ 52.7 ลิตรต่อวัน โดยมีค่าปริมาณความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อน 11.52 MJ/dayc และ 6.84 MJ/dayc ที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 0.5 m มีค่าปริมาณความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อน มากกว่าที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 1.0 m



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพทางความร้อน และค่ารังสีอาทิตย์ ที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 0.5 และ 1.0 m

จากรูปที่ 6 จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 0.5 m จะมีค่าสูงกว่าที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 1. m แสดงว่าพลังงานที่สูญเสียจะมีความมากขึ้นเมื่อความสูงในการส่งน้ำมีค่ามากขึ้น

6. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ (Discharge head) 0.5 m และ 1 m สรุปได้ว่า มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันสูงสุดคือ 39.91 และ 23.14% ที่ค่ารังสีอาทิตย์ 18.17 และ 18.57 MJ/m².day มีอุณหภูมิถึงเก็บน้ำร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันสูงสุดคือ 58.67 และ 59.17 °C สามารถผลิตน้ำร้อนได้ 80.6 และ 52.7 ลิตรต่อวัน ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำ คือ ปริมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์ และระดับความสูงในการส่งน้ำ เมื่อความสูงในการส่งน้ำลดลงจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

1. กอบสิน ทวีสิน, ระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์การศึกษาเปรียบเทียบ, วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2522.
2. พิชัย นามประกาย และ ยศสวิน กายนันท์, การหมุนเวียนน้ำโดยใช้พลังงานความร้อน, รายงานปัญหาพิเศษประกาศนียบัตรบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (บทที่ 1, 2), 2543.
3. ยศสวิน กายนันท์, เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยพลังไอน้ำ, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรม

ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

4. K.Sutthivirode, P.Namprakai and N.Roonprasang, "A new version of a solar water heating system coupled with a solar water pump", **Applied Energy**, Vol.86, No.9, pp. 1423-1430, 2009.
5. N.Roonprasang, P.Namprakai and N.Pratinthong, "Experimental studies of a new solar water heater system a solar water pump", **Energy**, Vol.33, No.4, pp. 639-646, 2008.
6. N.Roonprasang, P.Namprakai and N.Pratinthong, "A novel thermal water pump for circulating water in a solar water heating system", **Applied Thermal Engineering**, Vol.29, No.8-9, pp. 1598-1605, 2009.
7. Beni, G.D. and Friesen, R., "Passive Downward Heat Transport Experimental Results of A Technical Unit", **Solar Energy**, Vol. 34, No. 2, pp. 127-134, 1985.
8. Neeper, D.A., "Analytic Model of a Passive Vapor Transpot Heating System", **Solar Energy**, Vol. 41, No. 1, pp. 91-99, 1988.