

## การเพิ่มสมรรถนะระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำ และอากาศที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

### Performance Improvement of a Solar Water Heating System Circulating Hot Water by a Steam–Air Power without Heat Exchanger

จิรวัดน์ สิตรานนท์<sup>1</sup> พิชัย นามประกาย<sup>1</sup> ทวีวัฒน์ สุภารอส<sup>2</sup> และณัฐพล รุ่งประแสง<sup>3</sup>

Jirawat Sitranon<sup>1</sup>, Pichai Namprakai<sup>1</sup>, Taveewat Suparos<sup>2</sup> and Natthaphon Roonprasang<sup>3</sup>

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำ-อากาศ เนื่องจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำ-อากาศแบบเดิม ที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนที่มาจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์กับน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน แต่ยังคงมีการสูญเสียความดันจากหัวส่งน้ำที่ยังมีค่ามากอยู่ และการสูญเสียไอน้ำที่ถังแยกไอ เป็นผลให้อัตราการส่งน้ำร้อนไปเก็บมีค่าน้อยลง รวมทั้งประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำลงด้วย

เพื่อแก้ปัญหานี้จึงได้สร้างระบบใหม่ที่คล้ายกับระบบเดิม แต่มีการต่อถังแยกไอไประบายไอน้ำที่ถังสะสมน้ำร้อน และทำการลดหัวส่งน้ำเท่าที่จะเป็นไปได้ มีการหุ้มฉนวนที่ดีขึ้น โดยน้ำร้อนยังถูกส่งไปเก็บที่ถังสะสมโดยตรงเหมือนเดิม และทำการเก็บผลการทดลองเป็นระยะเวลา 9 ชั่วโมงต่อหนึ่งระดับความสูงในการส่งน้ำ จากการทดลองพบว่าที่ระดับความสูงในการจ่ายน้ำเท่ากับ 1.00 m ของระบบหลังการปรับปรุงนี้ มีค่าปริมาณความร้อนสะสมภายในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 7583.89 kJ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 25.08% อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อน 63.1°C และสามารถผลิตน้ำร้อนได้ 58.9 ลิตรต่อวัน และส่งน้ำร้อนไปเก็บที่ถังได้ถึง 15 รอบ เมื่อมีค่ารังสีอาทิตย์ 30.241 MJ/m<sup>2</sup>d ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำ-อากาศคือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์และระดับความสูงในการส่งน้ำ

**คำสำคัญ :** กำลังไอน้ำ-อากาศ ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน ระดับความสูงในการส่งน้ำ

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

Department of Energy Technology, Faculty of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

<sup>2</sup> ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

Department of Mechanical Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

<sup>3</sup> สถาบันพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จ. นครปฐม 73170

Rattanakosin Sustainable Energy and Environment Institute (R-SEE-I), Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

## ABSTRACT

The aim of this research was to study parameters affecting the efficiency of a solar water heating system circulating hot water by a steam-air power. The preceding system had a hot water storage tank without heat exchanger for transferring heat between hot water from a solar flat plate collector and water in the tank. However, the high discharge head still led to a considerable pressure loss. Moreover, the vapor loss occurring at the separation tank decreased the water pumping rate and thermal efficiency.

To work out this problem, a new system was constructed by modifying the previous one. Vapor at the separation tank was flowed to the storage tank directly. The discharge head was decreased and insulation was improved. The hot water was sent to the storage tank straightforwardly as usual. The test data were recorded for 9 hour for each discharge head. According to the experiments at a 1.00 m discharge head, the system after improvement had thermal energy of 7583.89 kJ stored in the storage tank, thermal efficiency of 25.08%, mean water temperature of 63.1 °C in the tank, and the produced hot water of 58.9 l/d when solar irradiation was 30.241 MJ/m<sup>2</sup>d. The pumping cycles were as high as 15. The significant parameters that had effects on the efficiency of the solar water heating system circulating hot water by steam-air power were solar irradiance and water discharge head.

**Keywords :** Steam-air power, Efficiency of water heating System, Discharge head

E-mail : Jirawat\_solar@hotmail.com

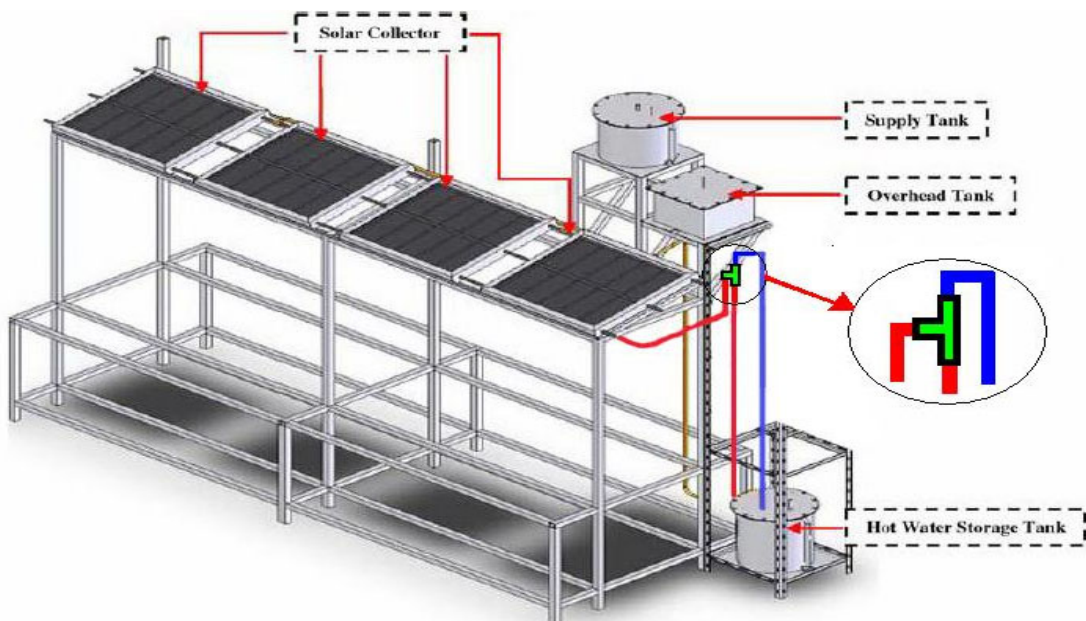
## คำนำ

การใช้เครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากมีราคาแพงกว่าเครื่องทำน้ำร้อนจากไฟฟ้า และก๊าซหุงต้ม นอกจากนี้การบริการในการขายและการซ่อมบำรุงหลังการขายเป็นไปอย่างลำบาก การหมุนเวียนน้ำตามแรงดัน (Force Circulation System) ต้องใส่แกนภายนอกเข้าไป (ปั๊มน้ำ) ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการขับปั๊มน้ำ เพราะฉะนั้นหากสามารถหมุนเวียนน้ำในระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานและสามารถนำไปใช้ในถิ่นทุรกันดารที่ไม่มีไฟฟ้าในประเทศไทยได้ เนื่องจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำแบบเดิม เกิดการสูญเสียความร้อนจากหมุนเวียนน้ำร้อนของระบบ จากการเปิดสู่บรรยากาศของความดันภายในระบบ ระดับความสูงในการจ่ายน้ำที่สูงมากเกินไปทำให้แผงรับรังสีต้องสร้างความดันในการขับดันน้ำมากเกินไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำและอากาศ ที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยออกแบบให้น้ำร้อนที่ผลิตได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์มากักเก็บภายในถังเก็บน้ำร้อนได้โดยตรงและนำไอน้ำที่ได้จากแผงรับรังสีเปิดสู่บรรยากาศภายในถังเก็บน้ำร้อน เปลี่ยนฉนวนใหม่และมีความหนาแน่นกว่าของเดิม เพื่อที่จะลดการสูญเสียความร้อนให้น้อยลง รวมทั้งลดความสูงในการจ่ายน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ

ระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ได้จัดแบ่งตามลักษณะการไหลเวียนของของไหลทำงานที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ได้เป็น 2 แบบ คือ แบบไหลเวียนตามธรรมชาติ (Thermosyphon System) และแบบไหลเวียนตามแรงดัน (Force Circulation System) ซึ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบไหลเวียนตามธรรมชาติ (Inverted Thermosyphon System) (พิชัย นามประกาย และ ยศสวิน กายนันท์, 2543)

### 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 m<sup>2</sup>) 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 เติมน้ำประปาที่ถังจ่ายน้ำหลักและเข้าแผงรับรังสีเท่ากับ 60, 3.1 ลิตร ตามลำดับ ตรวจสอบระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำที่แผงรับรังสี, ถังเก็บน้ำด้านบน และถังเก็บน้ำร้อน ทำความสะอาดกระจกของตัวรับรังสี บันทึกอุณหภูมิ, ความดัน และค่ารังสีดวงอาทิตย์ ทุกๆ 30 วินาที และเริ่มทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 08.00 – 17.00 น.



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำและอากาศ ที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

## 1. การวิเคราะห์ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำและอากาศที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

พลังงานความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อนสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_{Storage} = m_{w,s} \times c_{p,w} \times (T_{end,s} - T_{initial,s}) \quad (1)$$

เมื่อ	$Q_{Storage}$	=	การถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน, kJ
	$m_{w,s}$	=	มวลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน, kg
	$c_{p,w}$	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg.°C
	$T_{initial,s}$	=	อุณหภูมิของน้ำที่เวลาเริ่มต้นภายในถังเก็บน้ำร้อน, °C
	$T_{end,s}$	=	อุณหภูมิของน้ำที่เวลาสุดท้ายภายในถังเก็บน้ำร้อน, °C

ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ

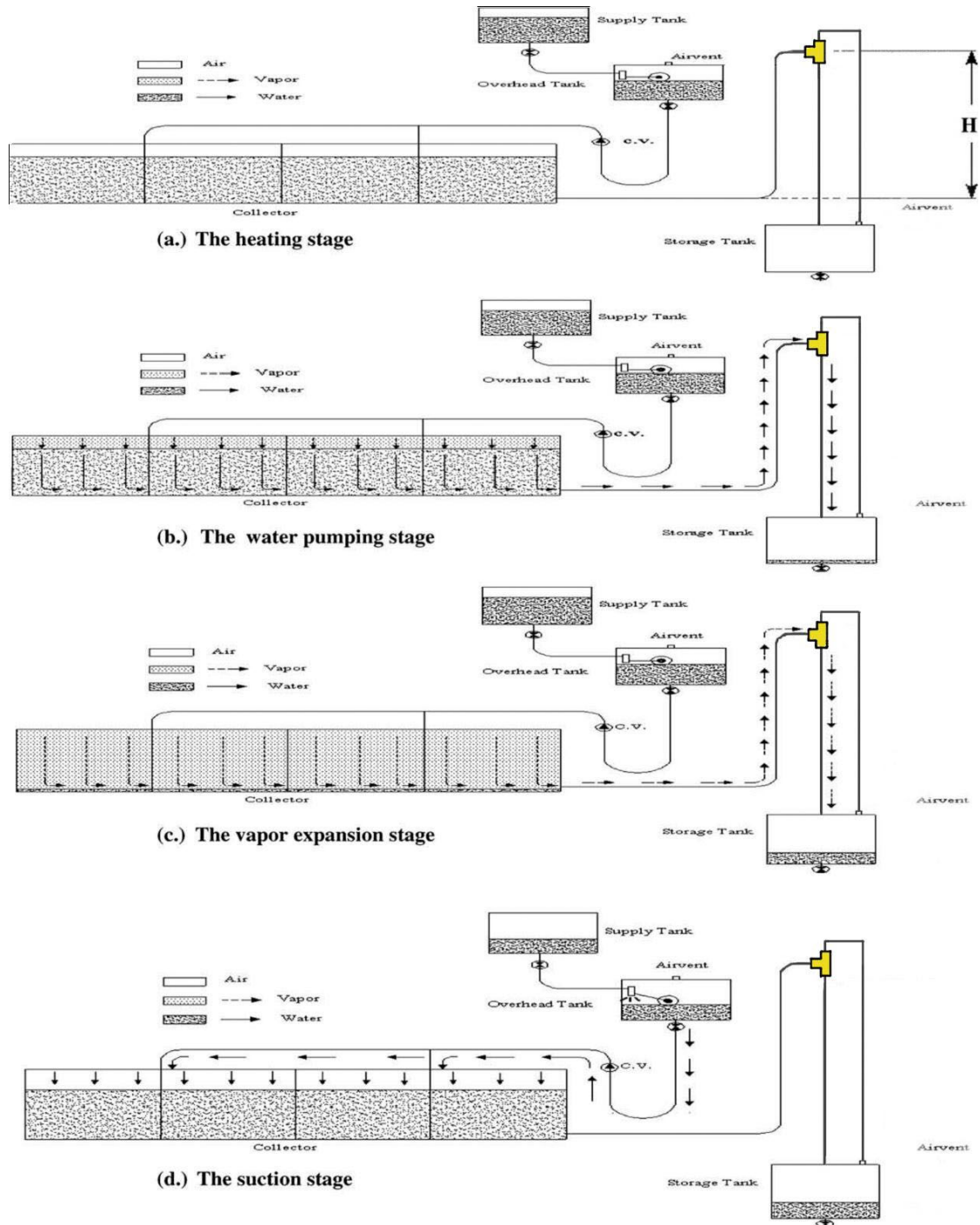
$$\eta_t = \frac{Q_{Storage}}{H_{tot}} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ	$\eta_t$	=	ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ, %
	$Q_{Storage}$	=	การถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน, kJ
	$H_{tot}$	=	ผลรวมค่ารังสีที่ตกกระทบบนตัวรับรังสีดวงอาทิตย์, kJ

## 2. หลักการทำงานของระบบ

เมื่อแผงรับรังสีอาทิตย์ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ น้ำและอากาศที่อยู่ภายในจะมีอุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น ไอน้ำและอากาศร้อน(ตามลูกศร) จะส่งแรงขับดันน้ำร้อนที่อยู่ภายในแผงรับรังสีให้ไหลไปยังท่อต่อ 3 ทาง จากนั้นจะไหลลงไปที่ถังเก็บน้ำร้อน (ด้วยอิทธิพลของค่าแรงโน้มถ่วงของโลก) ในขณะเดียวกัน น้ำจากถังเก็บน้ำด้านบนจะไม่สามารถไหลเข้ามาในแผงรับรังสีได้ในขณะนี้ เนื่องจากความดันไอที่เกิดขึ้นภายในแผงรับรังสีในจังหวะ Pressurizing water vapor นี้ จะดันมวลของน้ำในวาล์วก้นกลับรูปตัวยู (C.V.) อยู่แต่ก็ไม่มากพอที่จะดันน้ำให้ไหลย้อนผ่านวาล์วก้นกลับ (C.V) ไปถังเก็บน้ำด้านบนได้ เมื่อแผงรับรังสีอาทิตย์ผลิตไอลและขับดันน้ำภายในแผงรับรังสีให้ไหลออกไปตลอดเวลา จนกระทั่งระดับน้ำในแผงรับรังสีต่ำเท่ากับท่อทางออกของน้ำที่แผงรับรังสี ไอน้ำภายในตัวรับรังสีจะสามารถไหลออกและขับดันน้ำที่เหลืออยู่ภายในท่อส่งน้ำร้อนให้ลงไปสู่ถังเก็บน้ำร้อน และเมื่อแรงดันไอน้ำภายในแผงถูกระบายออกมาเรื่อยๆ จึงส่งผลให้ความดันภายในแผงรับรังสีเท่ากับความดันของบรรยากาศที่ข้อต่อ 3 ทาง น้ำที่ถูกกักเก็บภายในถังเก็บน้ำด้านบนจะไหลผ่านวาล์วก้นกลับ (C.V) ได้ เนื่องจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง (gravitational force) ซึ่งน้ำจากถังเก็บน้ำด้านบนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำไหลเข้าแผงรับรังสี จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำร้อน ทำให้ปริมาตรของไอน้ำและอากาศยุบตัวเกิดสุญญากาศ (vacuum) ช่วงขณะหนึ่ง และดูน้ำที่เหลืออยู่ในถังเก็บน้ำด้านบนให้ไหลเข้ามาในแผงรับรังสี เมื่อน้ำในถังเก็บน้ำด้านบนไหลเข้าแผงรับรังสีจนหมด น้ำที่อยู่ในแผงรับรังสีจะรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์และสร้างไอน้ำใหม่อีก

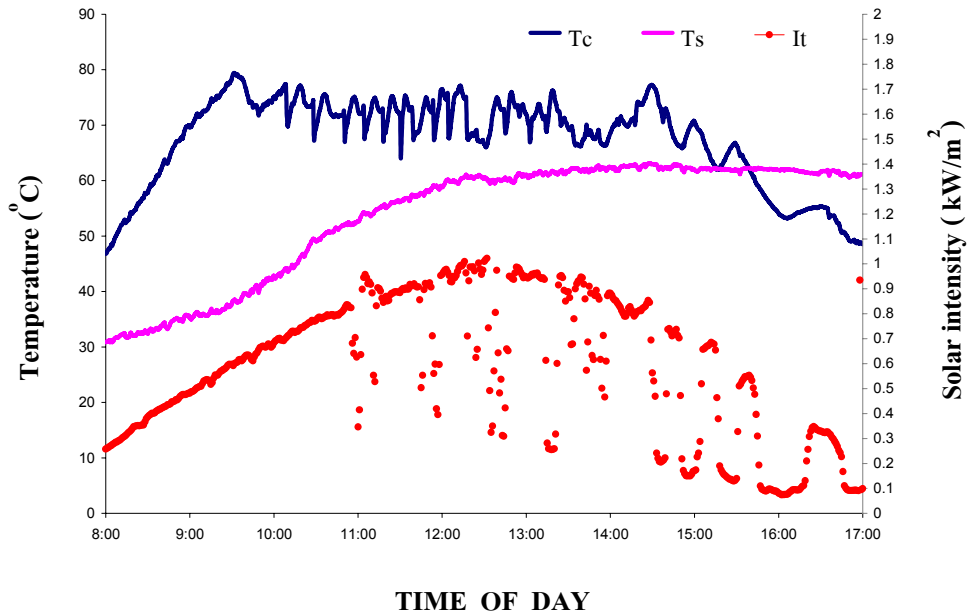
ครั้ง (และในขณะเดียวกันนี้ น้ำจากถังจ่ายน้ำหลักก็จะไหลผ่านวาล์วลอยเติมน้ำเพื่อเติมน้ำเข้าถังเก็บน้ำ ด้านบนโดยอัตโนมัติ) และระบบก็จะเริ่มทำงานในจังหวะ Pressurizing water vapor และหมุนเวียนน้ำในวัฏจักรต่อไป



รูปที่ 2 หลักการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำและอากาศที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

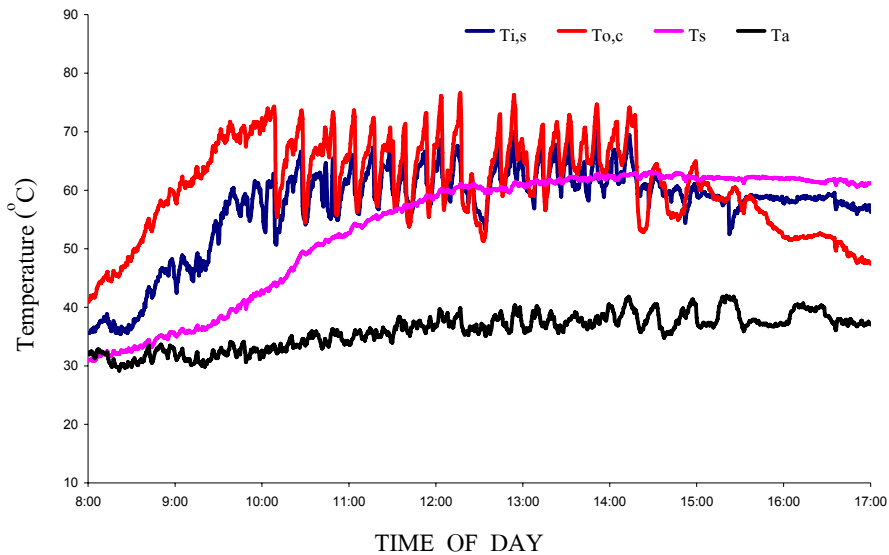
### ผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 วินาที แล้วนำมาพล็อตกราฟรวมเข้าด้วยกัน การทำงานของระบบสามารถพิจารณาได้จากเส้นอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรับรังสี, อุณหภูมิทางออกของแผงรับรังสี, อุณหภูมิทางเข้าถังเก็บน้ำร้อน, อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บน้ำร้อน และค่ารังสีอาทิตย์ จากผลการทดลองพบว่าระบบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำในแต่ละรอบการทำงานสามารถหมุนเวียนน้ำได้ 3.1 ลิตรต่อรอบจากการทดลองที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 1 พบว่าระบบจะเริ่มทำงานได้ก็ต่อเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ มีจำนวนรอบในการหมุนเวียนน้ำร้อน 19 รอบต่อวัน



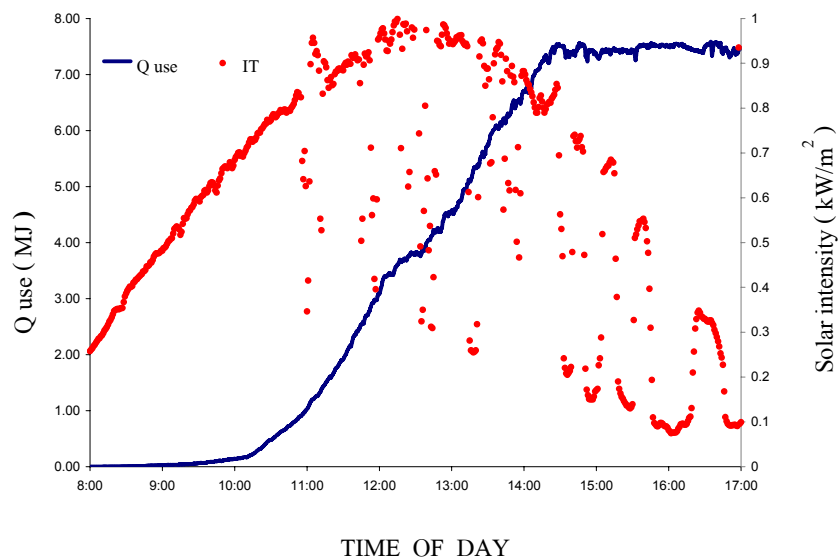
รูปที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรับรังสี, อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บน้ำร้อนและค่ารังสีอาทิตย์ (วันที่ทำการทดลอง 2 เมษายน 2552 ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน 30.241 MJ/day)

จากรูปที่ 3 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรับรังสี ( $T_c$ ), อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บน้ำร้อน ( $T_s$ ), และค่ารังสีอาทิตย์ ( $I_t$ ) การทำงานของระบบสามารถพิจารณาได้จากเส้นอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรับรังสี พบว่าระบบทำงานในช่วงเริ่มต้นเวลา 8:00 น. ระบบขับดันน้ำจากตัวรับรังสีไปสู่ถังเก็บน้ำร้อนอย่างช้าๆ ด้วยการขยายตัวของอากาศภายในตัวรับรังสี ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนของน้ำ (สารทำงาน) ที่ไหลออกจากแผงรับรังสีกับน้ำภายในถังน้ำร้อน ที่เวลา 09:33 น. ไอน้ำจากตัวรับรังสีสามารถระบายไอที่ถังเก็บน้ำร้อนด้านล่าง อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงรับรังสีมีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงเวลา 10:06-14:27 น. มีอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรับรังสีอยู่ระหว่าง 64.41-76.68 °C มีระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ย 13 นาทีต่อรอบ มีการระบายไอน้ำครั้งสุดท้ายที่เวลา 15:29 น. และอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 61.19 °C ที่เวลา 17:00 น. สรุปได้ว่าเครื่องทำน้ำร้อนหมุนเวียนด้วยพลังไอน้ำที่มีความสูงในการปั๊ม 1 m สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 63.1 °C เป็นปริมาตร 58.9 ลิตรต่อวัน



**รูปที่ 4** อุณหภูมิทางเข้าของถังเก็บน้ำร้อน ( $T_{i,s}$ ), อุณหภูมิทางออกของแผงรับรังสี ( $T_{o,c}$ ), อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บน้ำร้อน ( $T_s$ ) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_a$ ) (วันที่ทำการทดลอง 2 เมษายน 2552 ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน 30.241 MJ/day)

จากรูปที่ 4 ที่เวลา 08:00 น. อุณหภูมิที่ช่องทางเข้าถังเก็บน้ำร้อนและทางออกของแผงรับรังสี มีค่าอยู่ที่ 35.58 °C และ 40.83 °C จากกราฟแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามค่ารังสีอาทิตย์ที่เพิ่มมากขึ้น การทำงานของระบบสามารถพิจารณาจากเส้นอุณหภูมิที่ช่องทางเข้าถังเก็บน้ำร้อนและทางออกของแผงรับรังสีในช่วงเวลา 10:10-14:19 น. มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน มีการหมุนเวียนน้ำ(สารทำงาน)ได้รวดเร็วขึ้นเนื่องจากปริมาณค่ารังสีที่สูงขึ้นในแต่ละวัน อุณหภูมิที่ช่องทางออกของแผงรับรังสี มีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณค่ารังสีที่ลดลงและระบบไม่สามารถหมุนเวียนน้ำ(สารทำงาน)ให้ไหลผ่านไปยังถังเก็บน้ำร้อนด้านล่างได้อีก ดังนั้นน้ำ(สารทำงาน)ที่อยู่ภายในแผงรับรังสีจึงการสูญเสียความร้อน ซึ่งเกิดจากการสมดุลทางความร้อนของสารทำงานในระบบ



**รูปที่ 5** ปริมาณความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อน และค่ารังสีอาทิตย์ (วันที่ทำการทดลอง 2 เมษายน 2552 ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน 30.241 MJ/day)

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อน ( $Q_{use}$ ) และค่ารังสีอาทิตย์ ( $I_T$ ) จากการทดลองพบว่า ที่เวลา 08:00 – 10:19 น. ซึ่งเป็นการทำงานในตอนเช้าพบว่าการทำงานในตอนเช้ามีความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าน้อย ปริมาณค่า  $Q_{use}$  มีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพราะระบบใช้เวลามากในการหมุนเวียนน้ำออกจากแผงรับรังสีต่อรอบเนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์ที่มีปริมาณน้อยในช่วงเช้า ที่เวลา 09:19 – 14:26 น. เมื่อระบบมีการส่งความร้อนและปั๊มด้วย Pressurizing vapor เส้นกราฟ  $Q_{use}$  มีความชันเพิ่มมากขึ้นค่าปริมาณของ  $Q_{use}$  เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงในรอบวัน ค่า  $Q_{use}$  ที่ทำได้สูงสุดที่ระบบสามารถผลิตได้มีค่าอยู่ที่ 3.46 MJ สรุปได้ว่าปริมาณความร้อนของน้ำภายในถังน้ำร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อค่ารังสีอาทิตย์และการหมุนเวียนน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นเครื่องทำน้ำร้อนและการหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความสูงในการปั๊ม 1 m สามารถผลิตน้ำร้อนปริมาณ 30 ลิตรภายในถังเก็บน้ำร้อน โดยมีค่าปริมาณความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อน 7.58 MJ/day และมีประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดวันของระบบมีค่าเท่ากับ 25.08%

### สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ (Discharge head) 1 m สรุปได้ว่า มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันสูงสุดคือ 25.08% และมีอุณหภูมิถังเก็บน้ำร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันสูงสุดคือ 63.1 °C สามารถผลิตน้ำร้อนได้ 58.9 ลิตรต่อวัน ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำ คือ ปริมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับระบบเดิมก่อนปรับปรุง มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันสูงสุดคือ 20.9 %

### เอกสารอ้างอิง

- กอบสิน ทวีสิน. 2522, ระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์การศึกษาเปรียบเทียบ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สำนักคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ 2542, พลังงานและทางเลือกการใช้พลังงานประเทศไทย, ศรีเมืองการพิมพ์, หน้า91.
- พิชัย นามประกาย และ ยศสวิน กายนันท์. 2543, การหมุนเวียนน้ำโดยใช้พลังงานความร้อน, รายงานปัญหาพิเศษประกาศนียบัตรบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (บทที่ 1, 2)
- ยศสวิน กายนันท์, 2546, เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยพลังไอน้ำ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- K.Sutthivirode, P.Namprakai and N.Roonprasang, 2009, "A new version of a solar water heating system coupled with a solar water pump", Applied Energy, Vol.86, No.9, pp. 1423-1430.
- N.Roonprasang, P.Namprakai and N.Pratinthong, 2008, "Experimental studies of a new solar water heater system using a solar water pump", Energy, Vol.33, No.4, pp. 639-646.



N.Roonprasang, P.Namprakai and N.Pratinthong, 2009, "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.

Beni, G.D. and Friesen, R., 1985, "Passive Downward Heat Transport Experimental Results of A Technical Unit", Solar Energy, Vol. 34, No. 2, pp. 127-134.

Neeper, D.A., 1988, "Analytic Model of a Passive Vapor Transpot Heating System", Solar Energy, Vol. 41, No. 1, pp. 91-99.