Engng.J.CMU.(2015) 22 (1), 27-35

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การสูบน้ำรังสีอาทิตย์แบบขับเคลื่อนด้วยไอน้ำเป็นจังหวะ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบเป็นแหล่งกำเนิดไอน้ำ

Solar Pulsating-Steam Water Pumping with a Flat-Plate Solar Collector as a Steam Generator

พิลาวัณย์ สงวนไชยไผ่วงศ์ จิรวรรณ เตียรถ์สุวรรณ* และ ปิยะ เสียงสุคนธ์

Pilawan Sanguanchaipaiwong, Jirawan Tiansuwan and Piya Siangsukone

หน่วยวิจัยระบบความร้อนเชิงนิเวศน์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

ECO-TRU (Eco Thermal Research Unit), School of Energy, Environment and Materials,
King Mongkut's University of Technology Thonburi,
126 Pracha-utid Road, Bangmod, Toongkru, Bangkok, 10140

E-mail: jirawan.tia@kmutt.ac.th*, Tel. 02-470-8695-99 ต่อ 515, 518, Fax. 02-470-8674

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพการนำพลังงานจากรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในการสูบน้ำ โดยอาศัยหลักการผลิตและขับเคลื่อนไอน้ำเป็นจังหวะ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบขนาด 2 m^2 ที่เอียงทำมุม 14^o จากแนวระดับและหันหน้าไปทางทิศใต้ เป็นอุปกรณ์ผลิตไอน้ำ การศึกษาจะพิจารณารูปแบบการเดินท่อของน้ำเข้า และท่อของน้ำ/ไอน้ำ ที่ออกจากตัวเก็บรังสี ใน 4 รูปแบบ: 1.น้ำเข้าทางท่อด้านบนและน้ำ/ไอน้ำออกทางด้านล่างของตัวเก็บรังสี 2. น้ำเข้าและน้ำ/ไอน้ำออกทางด้านล่างของตัวเก็บรังสีในระดับเดียวกัน 3. น้ำเข้าและน้ำ/ไอน้ำออกทางด้านบนของตัวเก็บรังสีในระดับเดียวกัน และ 4. น้ำเข้าทางท่อด้านล่างและน้ำ/ไอน้ำออกทางด้านบนของตัวเก็บรังสี จากการศึกษาพบว่า ระบบปั๊มน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์แบบ 1 ดีที่สุดในการปั๊มน้ำ ซึ่งสามารถจ่ายน้ำได้ 6.12 L/day ที่ความสูง 2 m จากท่อทางออก โดยมีค่าประสิทธิภาพ 0.002115% ที่ค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดวันในการทดลองเท่ากับ 12.50 MJ (ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 704 W/m^2)

คำสำคัญ: การสูบน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์/ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ/การผลิตไอน้ำเป็นจังหวะ

ABSTRACT

This research was to study a potential of using solar energy for water pumping with a concept of solar pulsating-steam. A 2 m^2 flat plate solar collector, facing south with 14^o inclination, was used as a steam/water evaporator. In this study, investigations on allocation of water inlet and water/steam ducts on water pumping performance: 1. water inlet at the top header and water/steam outlet at the bottom header of the solar collector, 2. water inlet and water/steam outlet at the bottom head of the solar collector, 3. water inlet and water/steam outlet at the top header of the solar collector, and 4. water inlet at the bottom header and water/steam outlet at the top header of the solar collector, were carried out. It was found that the best pattern was type 1 of which the daily amount of pumped water of 6.12 L/day at 2 m height from the outlet. The pumping efficiency was 0.002115% at total solar radiation of 12.50 MJ (average solar intensity of 704 W/m^2).

Keyword: Solar Water Pumping/Flat Plate Solar Collector/Pulsating-steam

1. บทนำ

ประเทศไทยมีค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ เท่ากับ 18.2 MJ/m^2-day [1] ซึ่งถือได้ว่ามีศักยภาพทางพลังงานค่อนข้างสูง ทำให้มีการนำความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านอุปกรณ์การเปลี่ยนรูปพลังงานและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ แบบที่นิยมได้แก่ การผลิตพลังงานในรูปแบบความร้อนผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์และผลิตไฟฟ้าผ่านเซลล์รังสีอาทิตย์ เป็นต้น

การพัฒนางานวิจัยที่มีการนำความร้อนผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อนและนำมาประยุกต์ใช้ในการสูบน้ำมีการศึกษาพอสมควร โดย Wong and Sumathy [2] ได้ทำการศึกษาเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานจากรังสีอาทิตย์ที่ใช้นอร์มอลเพนเทนและเอทิลอีเธอร์เป็นสารทำงานโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบขนาด 1 m^2 ที่มีสารทำงานดังกล่าวอยู่ภายใน เพื่อรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์จนสารทำงานภายในเป็นไอ ไอของสารทำงานจะไปดันน้ำที่บรรจุอยู่ในกระบอกสูบ ไปเก็บไว้ยังถังที่อยู่สูง และเมื่อไอของสารทำงานควบแน่นจะทำให้น้ำที่ถูกอากาศดันอยู่ในกระบอกสูบกลับมายังตำแหน่งเดิมทำให้ช่วงนี้จึงเป็นการดึงน้ำเข้าสู่ตัวกระบอกสูบอีกครั้ง Roonprasang et al.[3] ได้ทำการศึกษาการออกแบบและสร้างระบบทำน้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำ ไม่ต้องพึ่งพาพลังงานกลหรือไฟฟ้าในการหมุนเวียนน้ำโดยใช้หลักการความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำและความดันที่เกิดขึ้นภายในระบบ และใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบขนาด 0.397 m^2 จำนวน 4 แผง ซึ่งระบบนี้จะมีถังน้ำป้อนอยู่ด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ Liengjindathaworn et al.[4, 5] ได้ทำการศึกษาการสูบน้ำพลังงานจากรังสีอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการผลิตและขับเคลื่อนไอน้ำเป็นจังหวะ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบสุญญากาศขนาด 1.8 m^2 ซึ่งหลักการทำงานของระบบนี้จะเป็นการใช้ไอน้ำที่ผลิตได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไปดันน้ำที่อยู่ในถังให้ไปเก็บไว้ในที่สูงและเมื่อไอน้ำเกิดการควบแน่นจะทำให้น้ำถูกดึงเข้าสู่ถังและส่งไปยังตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบสุญญากาศอีกครั้งหนึ่ง

นอกจากนี้มีการใช้สารทำงานจุดเดือดต่ำ ในตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ เมื่อสารทำงานเดือด จะดันส่วนที่เป็นของเหลว ทำให้เกิดการไหลสองสถานะ ไปตามท่อที่จมอยู่ในถังเก็บน้ำ ซึ่งอยู่ด้านล่างตัวเก็บรังสี ไอน้ำจะควบแน่นและมีความร้อนถ่ายเทให้กับน้ำในถัง ผลิตน้ำร้อนใช้ประโยชน์ได้ [6] นรินทร์ และคณะ [7] ศึกษาการเดือดของน้ำส่าที่เกิดจากการหมักข้าว ข้าวโพด และมีความเข้มข้นเอทานอลต่ำ สามารถแยกไอเอทานอลที่มีความเข้มข้นเอทานอลที่สูงขึ้นออกมาได้

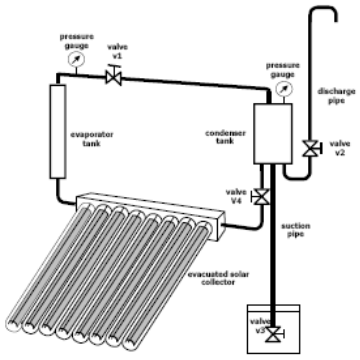
จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้อุปกรณ์ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รับพลังงานจากรังสีอาทิตย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำให้สารทำงานภายในเดือด ใช้ประโยชน์ในกิจกรรมหลายประเภท รวมถึงการนำไปใช้ในการยกน้ำ หรือปั๊มน้ำขึ้นสู่ที่สูงไม่ต้องใช้ไฟฟ้า สำหรับในงานวิจัยนี้จะศึกษาศักยภาพการนำพลังงานจากรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในการสูบน้ำ โดยอาศัยหลักการผลิตและขับเคลื่อนไอน้ำเป็นจังหวะ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ เป็นอุปกรณ์ผลิตไอน้ำ โดยพิจารณารูปแบบการเดินท่อของน้ำเข้า และท่อของน้ำ/ไอน้ำ ที่ออกจากตัวเก็บรังสี ที่มีผลต่อสมรรถนะการสูบน้ำ ใน 4 รูปแบบ ได้แก่ 1. น้ำเข้าทางท่อด้านบนและน้ำ/ไอน้ำออกทางด้านล่างของตัวเก็บรังสี 2. น้ำเข้าและน้ำ/ไอน้ำออกทางด้านล่างของตัวเก็บรังสีในระดับเดียวกัน 3. น้ำเข้าและน้ำ/ไอน้ำออกทางด้านบนของตัวเก็บรังสีในระดับเดียวกัน และ 4. น้ำเข้าทางท่อด้านล่างและน้ำ/ไอน้ำออกทางด้านบนของตัวเก็บรังสี

2. แนวคิด และหลักการ

2.1 การสูบน้ำโดยการผลิตและขับเคลื่อนไอน้ำเป็นจังหวะ

หลักการสูบน้ำโดยการผลิตและขับเคลื่อนไอน้ำเป็นจังหวะ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นตัวทำให้เกิดการเดือดของน้ำ แสดงในรูปที่ 1 [5] น้ำที่อยู่ในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับความร้อน จนน้ำบางส่วนเริ่มเดือด ทำให้มีความดันไอในตัวเก็บรังสีมากขึ้น เมื่อความดันถึงระดับที่กำหนดจะมีการเปิดวาล์ว v1 ไอที่เกิดขึ้น จะไปดันน้ำที่อยู่ในถัง

เก็บ ขับเคลื่อนน้ำในถังเก็บผ่านวาล์ว v2 ไปยังระดับที่สูงขึ้น ไอน้ำจะค้างในถัง และมีการสูญเสียความร้อนสู่อากาศรอบๆ จะควบแน่น ทำให้เกิดสุญญากาศภายในถัง สามารถดูดน้ำจากถังด้านล่าง มาที่ถังเก็บ และเมื่อเปิดวาล์ว v4 น้ำในถังเก็บสามารถไหลไปในตัวเก็บรังสี จากนั้นวาล์ว v1 และ v4 จะถูกปิด และวัฏจักรการทำงานจะเริ่มต้นอีก จากหลักการดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปั๊มน้ำเพื่อผลักดันของไหลให้สูงขึ้นโดยใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน



รูปที่ 1 หลักการทำงานของการสูบน้ำโดยการผลิตและขับเคลื่อนไอน้ำเป็นจังหวะ [5]

2.2 ระบบปั๊มน้ำจากพลังงานรังสีอาทิตย์

ในงานวิจัยนี้ จะใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบถูกใช้เป็นแหล่งความร้อนให้แก่น้ำโดยมีการศึกษาการทำงานของระบบและการออกแบบการต่อท่อทางเดินน้ำทางเข้า (ด้านดูด) และทางออก (ด้านจ่าย) ที่แตกต่างกัน 4 แบบ โดยใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบขนาด 2 m^2 ตั้งเอียงทำมุม 14^0 จากพื้นราบ

2) ความสูงท่อทางด้านจ่าย 2 m วัดจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ถึงแท็งก์น้ำ

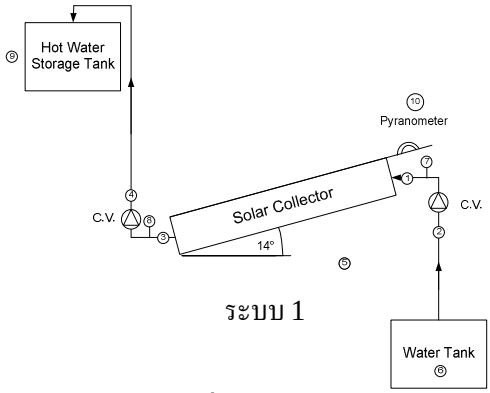
3) ความสูงทางท่อด้านสูบ 1 m วัดจากแท็งก์น้ำถึงตัวเก็บรังสีอาทิตย์

4) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทางด้านจ่ายเท่ากับ 6 mm

5) ติดตั้งเช็ควาวล์ที่ท่อด้านดูดและด้านจ่ายน้ำ

การออกแบบท่อทางเข้าและทางออกที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

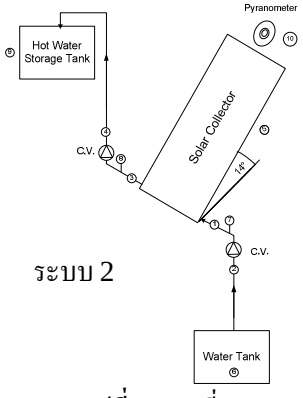
<u>แบบที่ 1</u> เป็นการติดตั้งทางเดินน้ำด้านดูดจากแท็งก์น้ำเข้า (6) ที่ติดตั้งอยู่ทางด้านล่างเข้าท่อทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีความสูงของท่อ 1 เมตรจากแท็งก์น้ำด้านเข้าและให้ต่อท่อน้ำทางออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ออกด้านล่างโดยต่อท่อไปยังแท็งก์เก็บน้ำด้านบน (9) ที่ความสูงของท่อเป็นระยะ 2 เมตรดังแสดงทางเดินน้ำในรูปที่ 2



ระบบ 1

รูปที่ 2 แบบที่ 1

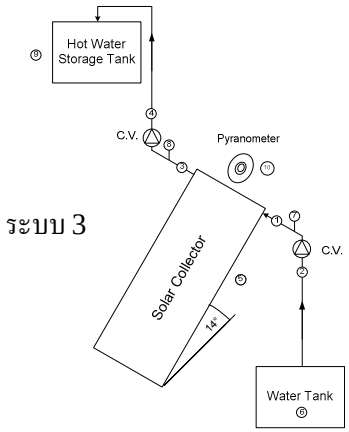
<u>แบบที่ 2</u> เป็นการติดตั้งท่อทางเดินน้ำด้านดูดจากแท็งก์น้ำเข้า (6) ที่ติดตั้งอยู่ทางด้านล่างเข้าท่อทางเข้าที่ด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ความสูงของท่อ 1 เมตรจากแท็งก์น้ำด้านเข้าและให้ท่อน้ำทางออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไหลออกด้านล่างโดยต่อท่อทางออกไปยังแท็งก์เก็บน้ำที่ความสูงของท่อเป็นระยะ 2 เมตรดังรูปที่ 3



ระบบ 2

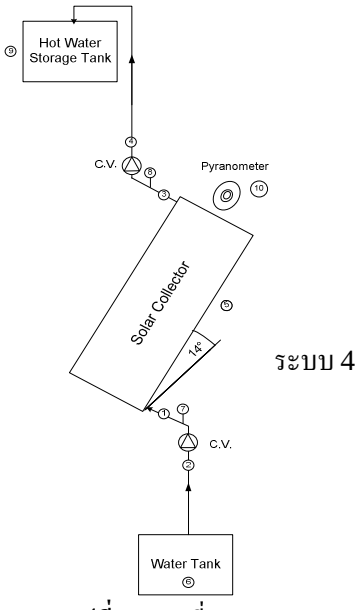
รูปที่ 3 แบบที่ 2

แบบที่ 3 เป็นการติดตั้งท่อทางเดินน้ำด้านดูดจากแท็งก์น้ำเข้า (6) เข้าด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความสูงของท่อ 1 เมตรจากแท็งก์น้ำด้านเข้าและให้ท่อน้ำทางออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ออกด้านบนโดยต่อท่อไปยังแท็งก์เก็บน้ำด้านบนที่ความสูงของท่อเป็นระยะ 2 เมตรดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบที่ 3

แบบที่ 4 เป็นการติดตั้งท่อทางเดินน้ำด้านดูดจากแท็งก์น้ำเข้า(6) เข้าท่อด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความสูงของท่อ 1 เมตรจากแท็งก์น้ำด้านเข้าและให้ท่อน้ำทางออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ออกทางด้านบนโดยต่อท่อไปยังแท็งก์เก็บน้ำด้านบนที่ความสูงของท่อเป็นระยะ 2 เมตรดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบที่ 4

ทำการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) อุณหภูมิน้ำทางเข้าที่ตำแหน่งก่อนเข้าแผง $T_{1(in)}$ และก่อนเข้าวาล์ว $T_{2(in)}$

2) วัดอุณหภูมิทางออก $T_{3(out)}$ หลังตัวเก็บรังสี และหลังวาล์ว $T_{4(out)}$

3) วัดความดันน้ำทางเข้า (P_7) และทางออก (P_8) (ความดันเกจ)

2.3 หลักการทำงานของระบบปั๊มน้ำด้วยพลังงานจากรังสีอาทิตย์

หลักการทำงานของระบบแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงให้ความร้อน ช่วงจ่ายน้ำ ช่วงสูบน้ำ ดังต่อไปนี้

1) ช่วงให้ความร้อน เมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำ $T_{1(in)}$, $T_{3(out)}$ และความดัน $P_{7(in)}$ ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2) ช่วงจ่ายน้ำ เมื่อความดันของของไหลภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงขึ้นจนสูงกว่าความดันภายในระบบ น้ำภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะถูกดันออกไปจากระบบ

3) ช่วงสูบน้ำ เมื่อน้ำในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ถูกดันออกจนหมดความดันภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $P_{7(in)}$ จะลดลงจนกระทั่งความดันภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์เข้าใกล้ความดันบรรยากาศภายนอก น้ำที่ทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์เริ่มมีการไหลเข้ามาภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิและความดันภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์เริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว จนเป็นสุญญากาศทำให้เกิดการดูดน้ำเข้าสู่ระบบ ทั้งนี้ในช่วงของการสูบน้ำเข้าสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำทางเข้าจุดที่ 1 $T_{1(in)}$ และอุณหภูมิน้ำทางเข้าจุดที่ 2 $T_{2(in)}$ จากแท็งก์เก็บน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งหากเกิดกรณีนี้หมายความว่าระบบจะทำงานในการดันน้ำออกและดึงน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ครบ 1 รอบ

2.4 ประสิทธิภาพของระบบปั๊มน้ำ

การคำนวณประสิทธิภาพของระบบปั๊มน้ำ [4] สามารถคำนวณได้จากพลังงานกลที่ใช้ในการสูบน้ำขึ้นมาต่อพลังงานที่ให้กับระบบ

$$\eta_p = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (1)$$

เมื่อ E_{out} เป็นพลังงานในการสูบน้ำขึ้นมา (hydraulic energy output)

E_{in} เป็นพลังงานที่ให้กับระบบ

โดยการพิจารณาพลังงานที่ให้กับระบบจากปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ระบบได้รับ ในส่วนของงานกลในการสูบน้ำสามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำที่ระบบสามารถปั๊มออกมาที่ระดับความสูงต่างๆที่ทำได้ และเวลาที่ใช้ในการทดลองซึ่ง [4] สามารถคำนวณได้ดังสมการ (2)

$$\eta_p = \frac{N \rho g H V}{A_c I_t \Delta t} \quad (2)$$

เมื่อ H เป็นความสูงรวมจากระดับน้ำที่สูบถึงระดับน้ำที่จ่าย (m)

V เป็นปริมาตรน้ำที่จ่ายออกมา (m^3)

N เป็นจำนวนรอบการทำงานของระบบใน 1 วัน

ρ เป็นความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

g เป็นความเร่งจากแรงโน้มถ่วง (มีค่าคงที่ 9.81 m/s^2)

A_c เป็นพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (m^2)

I_t เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (W/m^2)

Δt เป็นเวลาที่ใช้ในการทดลอง (s)

3. เงื่อนไขการทดลอง

1) การทดลองใช้เงื่อนไขของสภาวะของรังสีอาทิตย์ปกติที่มีค่ารังสีไม่คงที่ (เนื่องจากสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปของประเทศไทยมีเมฆ จึงทำให้ลักษณะของรังสีอาทิตย์ไม่คงที่ ซึ่งเป็นลักษณะของรังสีอาทิตย์ปกติภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย)

2) การวัดค่าต่างๆ ได้ทำการวัดค่ารังสีอาทิตย์ ค่าความดันน้ำ ค่าอุณหภูมิของน้ำที่ท่อทางเข้าและทางออก และปริมาณน้ำที่ชุดทดลองแต่ละแบบทำได้ (ดังแสดงในรูปที่ 2-5)

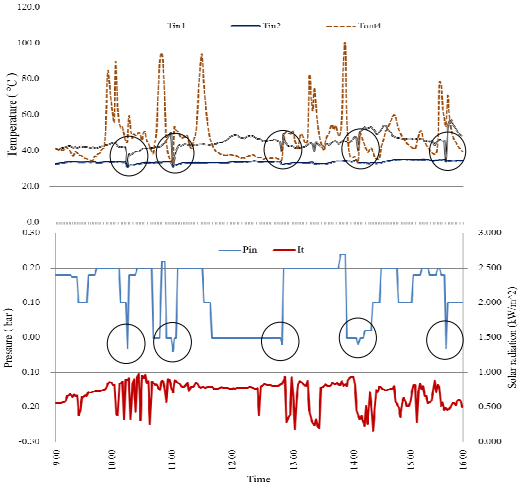
3) ในการทำการทดลองจะใช้ระบบแบบที่ 1 เป็นระบบเปรียบเทียบกับทุกระบบ

4. ผลการศึกษา

จากการทดลองระบบทั้ง 4 แบบในวันที่ค่ารังสีอาทิตย์ไม่คงที่ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

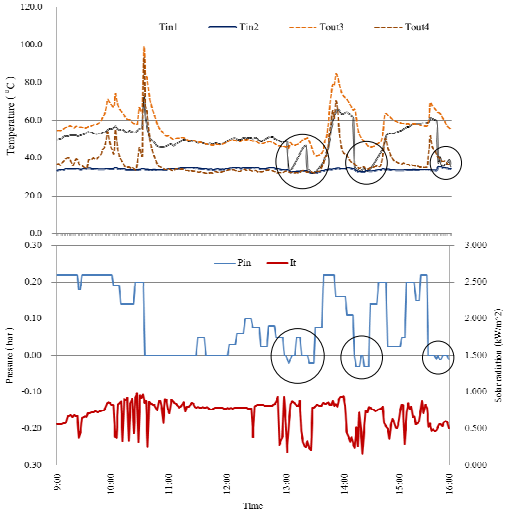
4.1 แบบที่ 1 และแบบที่ 2

ผลการทดลองเปรียบเทียบระบบแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ในวันที่ค่ารังสีอาทิตย์รวมทั้งวันมี 12.5 MJ คิดเป็นค่าความเข้มรังสีเฉลี่ย 704 W/m^2 ซึ่งผลการทดลองเป็นไปดังต่อไปนี้



รูปที่ 6 ค่าอุณหภูมิน้ำ (T_{in}, T_{out}) ในรูปบนค่าความดันของน้ำ ($P_{in, 7}$) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) ในรูปล่างของระบบที่ 1

จากรูปที่ 6 และ 7 พบว่าค่ารังสีอาทิตย์ทั้งวันส่งผลต่ออุณหภูมิและความดันภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์จนสามารถดันน้ำให้ออกจากตัวเก็บรังสีและดูดน้ำเข้าตัวเก็บรังสีโดยพิจารณาที่อุณหภูมิของน้ำ $T_{1(in)}$ และ $T_{2(in)}$ มีค่าใกล้เคียงกันเป็นรอบการทำงาน 1 รอบ ได้ปริมาณน้ำ 12 ลิตร ระบบแบบที่ 1 (จากรูปที่ 6) นี้มีจำนวน 5 รอบ ในการสูบน้ำ

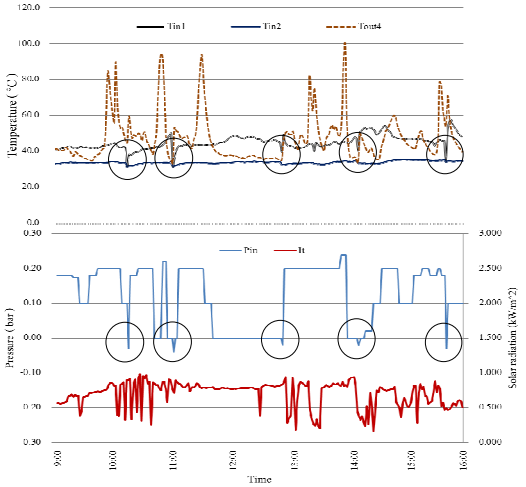


รูปที่ 7 ค่าอุณหภูมิน้ำ (T_{in}, T_{out}) ในรูปบนค่าความดันของน้ำ ($P_{in,\ 7}$) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) ในรูปล่างของแบบที่ 2

ในขณะที่จากรูป 7 พบว่าอุณหภูมิขาเข้า $T_{1(in)}$ และ $T_{2(in)}$ ของน้ำทั้ง 2 จุดที่มีค่าใกล้เคียงกันสามารถทำการสูบและดันน้ำออกได้ 3 รอบในระบบแบบที่ 2 ได้ปริมาณน้ำทั้งหมด 2.46 ลิตร

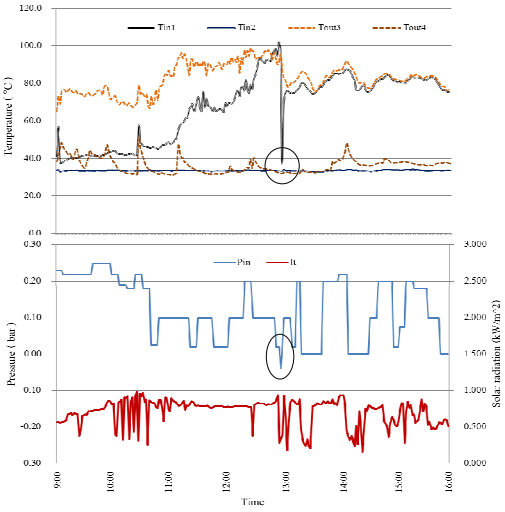
4.2 แบบที่ 1 และแบบที่ 3

การทดลองเปรียบเทียบระบบแบบที่ 1 และ แบบที่ 3 ในวันที่ค่ารังสีอาทิตย์รวมทั้งวันมี 12.5 MJ คิดเป็นค่าความเข้มรังสีเฉลี่ย 704 W/m^2 ซึ่งผลการทดลองเป็นไปดังต่อไปนี้



รูปที่ 8 ค่าอุณหภูมิน้ำ (T_{in}, T_{out}) รูปบนค่าความดันของน้ำ ($P_{7(in)}$) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) รูปล่างของระบบ ที่ 1

จากรูปที่ 8 พบว่าค่ารังสีอาทิตย์ทั้งวันส่งผลต่ออุณหภูมิและความดันภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์จนสามารถดันน้ำให้ออกจากตัวเก็บรังสีและดูดน้ำเข้าตัวเก็บรังสีโดยพิจารณาที่อุณหภูมิของน้ำ $T_{1(in)}$ และ $T_{2(in)}$ มีค่าใกล้เคียงกันเป็นรอบการทำงาน 1 รอบ ซึ่งระบบแบบที่ 1 นี้มีจำนวน 5 รอบการสูบน้ำ ปริมาณน้ำ 6.12 ลิตร

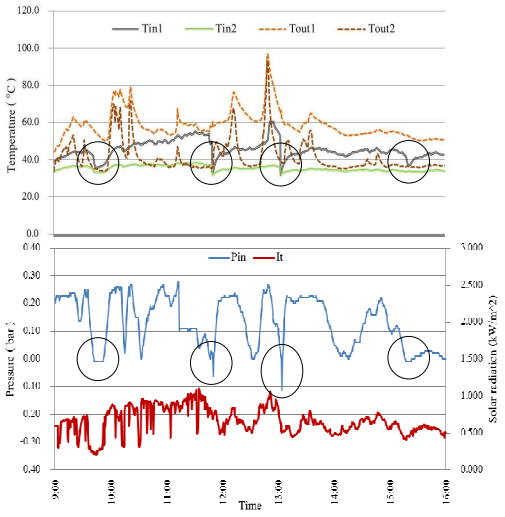


รูปที่ 9 ค่าอุณหภูมิน้ำ (T_{in}, T_{out}) ค่าความดันของน้ำ ($P_{7(in)}$) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) ของระบบที่ 3

จากรูป 9 พบว่าความสามารถในการสูบน้ำของระบบแบบที่ 3 นั้นเป็นไปได้เพียง 1 ครั้ง ได้ปริมาณน้ำ 0.35 ลิตร

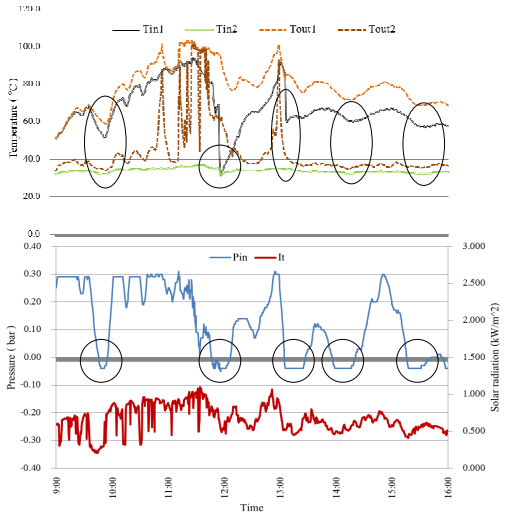
4.3 แบบที่ 1 และแบบที่ 4

การทดลองได้ดำเนินการในวันที่ค่ารังสีอาทิตย์รวมทั้งวันมี 16.7 MJ คิดเป็นค่าความเข้มรังสีเฉลี่ย 663 W/m^2 ซึ่งผลการทดลองเป็นไปดังต่อไปนี้



รูปที่ 10 ค่าอุณหภูมิน้ำ (T_{in}, T_{out}) ค่าความดันของน้ำ ($P_{7(in)}$) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) ของระบบที่ 1

จากรูปที่ 10 พบว่าระบบแบบที่ 1 นี้สามารถสูบน้ำได้ทั้งหมด 4 รอบ เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิของน้ำ $T_{1(in)}$ และ $T_{2(in)}$ มีค่าใกล้เคียงกันเป็นรอบการทำงานได้ปริมาณน้ำ 4.25 ลิตร



รูปที่ 11 ค่าอุณหภูมิน้ำ (T_{in}, T_{out}) ค่าความดันของน้ำ ($P_{7(in)}$) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) ของระบบที่ 4

จากรูป 11 พบว่ารอบการทำงานของระบบแบบที่ 4 นี้สามารถสูบน้ำได้ทั้งหมด 5 รอบ ได้ปริมาณน้ำ 1.65 ลิตร

4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองในแบบที่ 1, 2, 3 และ 4

จากการนำผลการทดลองทั้ง 4 แบบมาเปรียบเทียบสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาระบบสูบน้ำด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์แบบที่ 1, 2 และ 3 ที่ค่ารังสีอาทิตย์ไม่คงที่รวมทั้งวัน 12.5 MJ (ค่าเฉลี่ย 704 W/m^2)

ระบบสูบน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์	อุณหภูมิน้ำ (°C)		ช่วงความดันการปั๊มน้ำออก (bar, ความดันเกจ)	ปริมาณน้ำ (L/day)	จำนวนรอบการทำงาน	ปริมาณน้ำต่อรอบ (L/รอบ)
	ทางเข้า	ทางออก				
แบบที่ 1	33.6	51.5	0.20-0.24	6.12	5	1.224
แบบที่ 2	34	47.1	0.20-0.22	2.46	3	0.82
แบบที่ 3	33.5	41.9	0.22-0.25	0.35	1	0.35

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาระบบสูบน้ำด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์แบบที่ 1 และ 4 ที่ค่ารังสีอาทิตย์ไม่คงที่รวมทั้งวัน 16.7 MJ (ค่าเฉลี่ย 663 W/m^2)

ระบบสูบน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์	อุณหภูมิน้ำ (°C)		ช่วงความดันการปั๊มน้ำออก (bar, ความดันเกจ)	ปริมาณน้ำ (L/day)	จำนวนรอบการทำงาน	ปริมาณน้ำต่อรอบ (L/รอบ)
	ทางเข้า	ทางออก				
แบบที่ 1	34.8	48.7	0.21-0.28	4.25	4	1.063
แบบที่ 4	35.1	56.3	0.20-0.31	1.65	5	0.33

จากตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่าระบบสูบน้ำด้วยพลังงานจากรังสีอาทิตย์ในแบบที่ 1 สามารถสูบน้ำได้ปริมาณน้ำมากที่สุด โดยคิดเป็นอัตราการสูบน้ำเฉลี่ย 1.152

ลิตร/รอบ โดยที่แบบ 2, 3 และแบบที่ 4 สามารถสูบน้ำได้เฉลี่ย 0.82, 0.35 และ 0.33 ลิตร/รอบ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองระบบแบบที่ 1 สามารถทำงานได้ดีกว่าแบบที่ 2, 3 และ 4 ทั้งนี้เนื่องจาก ระบบแบบที่ 1 มีการดูดน้ำเข้าระบบ ทางส่วนบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำให้น้ำสามารถไหลเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ง่ายที่ความดันภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์เข้าใกล้ความดันบรรยากาศภายนอก ทำนองเดียวกันทางออกของน้ำที่อยู่ด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ก็จะมีแรงโน้มถ่วงช่วยในการดันน้ำออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่งผลให้การปั๊มน้ำออกจากระบบทำได้ง่ายขึ้น

ส่วนระบบแบบที่ 2 ทางเข้าของน้ำนั้นอยู่ด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์การจะดึงน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ต้องอาศัยแรงดูดที่ชนะความดันภายในของท่อทางด้านดูดที่เกิดจากความสูงของท่อ น้ำจึงจะสามารถถูกดึงเข้าสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ซึ่งทำให้น้ำเข้ามาภายในตัวเก็บรังสีได้ยาก และถึงแม้ว่าทางออกของน้ำจะอยู่ด้านล่างโดยมีแรงโน้มถ่วงช่วยในการดันน้ำออกก็ตาม

ส่วนระบบแบบที่ 3 แม้ทางเข้าของน้ำอยู่ด้านบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งจะช่วยให้น้ำเข้ามาภายในระบบได้ง่าย แต่ทางออกของน้ำก็อยู่ด้านบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์เช่นกันจึงทำให้การดันน้ำออกจากระบบนั้นต้องอาศัยความดันภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้เพิ่มขึ้นจนเอาชนะเฮดความสูงของระบบเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีแรงโน้มถ่วงมาช่วยจึงทำให้การปั๊มน้ำออกจากระบบยากมากขึ้น

ส่วนระบบแบบที่ 4 เป็นระบบที่นิยมใช้โดยทั่วไปในการทำน้ำร้อนซึ่งน้ำเย็นจะไหลเข้ามาทางด้านล่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดยการเอาชนะค่าเฮดความสูงของท่อทางด้านดูดและอาศัยความร้อนจากรังสีอาทิตย์ทำให้น้ำภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขยายตัวและเดือดกลายเป็นไอไปทางด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งลักษณะเช่นนี้ต้องมีการสะสมความดันภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์จนชนะค่าเฮดความสูงของระบบเพียงอย่างเดียว

ซึ่งจากการเปรียบเทียบการทำงานของทั้ง 4 ระบบจะพบว่า จากการออกแบบตำแหน่งทางเข้าและทางออกของน้ำบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีผลอย่างมากในการปั๊มน้ำ ซึ่งตำแหน่งที่ดีที่สุดในการติดตั้งทางออกของน้ำก็คือ ด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีแรงโน้มถ่วงเนื่องจากแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตั้งเอียงขึ้นจากแนวราบช่วยในการดันน้ำออกจากระบบโดยไม่ต้องอาศัยการสะสมความดันภายในแผงเพื่อใช้ในดันน้ำออกจากระบบเพียงอย่างเดียว

5. ประสิทธิภาพของระบบปั๊มน้ำด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์

จากข้อมูลเงื่อนไขต่างๆ ที่ได้มาการทดลองระบบปั๊มน้ำทั้ง 3 แบบ สามารถนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบจากสมการ 1 ได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของระบบปั๊มน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ

ระบบสูบน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์	ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดการทดลอง (W/m^2)	ประสิทธิภาพของระบบ (%)
แบบที่ 1	704	0.002115
	663	0.001248
แบบที่ 2	704	0.000612
แบบที่ 3	704	0.000029
แบบที่ 4	663	0.00017

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าระบบสูบน้ำด้วยพลังงานจากรังสีอาทิตย์แบบที่ 1 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่ 0.002115% เมื่อเทียบกับแบบที่ 2, 3 และ 4

อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำที่ต่ำส่งผลให้ประสิทธิภาพการสูบน้ำที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำจึงควรมีการพัฒนาปรับปรุงระบบให้สามารถปั๊มน้ำในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อที่จะสามารถนำน้ำและเฮด (ความสูง) ของน้ำที่ได้ไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

6. สรุป

ในการศึกษาระบบสูบน้ำด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ที่อาศัยหลักการผลิตและขับเคลื่อนไอน้ำเป็นจังหวะ โดย

พิจารณารูปแบบท่อทางเข้าของน้ำ และท่อทางออกของไอน้ำ/น้ำ 4 รูปแบบ พบว่า ระบบสูบน้ำด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์แบบ 1 ทำงานได้ดีที่สุด โดยสามารถจ่ายน้ำได้ 6.12 L/day และมีค่าประสิทธิภาพของระบบอยู่ที่ 0.002115% ที่ค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดวันในการทดลองเท่ากับ 12.50 MJ (ค่าเฉลี่ย 704 W/m^2) ทั้งนี้การสูบน้ำโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 2 m^2 ยังให้ปริมาณน้ำที่ต่ำส่งผลให้ประสิทธิภาพการสูบน้ำที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำจึงควรมีการพัฒนาปรับปรุงระบบให้สามารถปั๊มน้ำในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อที่จะสามารถนำน้ำและเฮด (ความสูง) ของน้ำที่ได้ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นอีก และหากพิจารณากระบวนการทำงานของระบบที่ไม่มีการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นระบบที่มีความน่าสนใจในอนาคต และควรมีการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้งานระบบตลอดจนความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยในอนาคตด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www2.egat.co.th/re/egat_pv/sun_thailand.htm, 2554.

[2] Wong, Y.W. and Sumathy, N. Performance of a Solar Water Pump with n-Pentane and Ethyl Ether as Working Fluids. *Energy Conversion and Management*, 2000; 41(9): 915-927.

[3] Roonprasang, N., Namprakai, P. and Pratinthong, N. Experimental Studies of a New Solar Water Heater System using a Solar Water Pump. *Energy*, 2008; 33: 639-646.

[4] Liengjindathaworn, S., Kirtikara, K., Namprakai, P. and Kiatsiriroat, T. Modeling of a Pulsating-Steam Solar Water Pumping With an Evacuated-Tube Solar Collector. Second Regional Conference on Energy Technology toward a Clean Environment, 2003, Phuket, Thailand.

[5] Liengjindathaworn, S., Kirtikara, K., Namprakai, P. and Kiatsiriroat, T. Parametric Studies of a Pulsating Steam Water Pump. Int. J. Ambient Energy, 2002; 23(1): 37-46.

[6] ณัฐนี วรยศ วิภาวดี วงษ์สุวรรณ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การพัฒนาระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในประเทศไทย. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2, หน้า 55-69, 2522.

[7] นรินทร์ มาละวรรณโณ ณัฐนี วรยศ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การศึกษาพารามิเตอร์ในการกลั่นเอทานอลโดยการเดือดโดยตรงในตัวเก็บรังสีอาทิตย์. การประชุมวิชาการ การถ่ายเท พลังงาน ความร้อนและมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 7, 13-14 มีนาคม, 2551 โรงแรมยูเรเซีย เชียงใหม่