

การเพิ่มสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบ ถังวางในแนวนอนโดยการลดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำบางท่อ ในแผงรับแสงอาทิตย์

Performance Improvement of Thermosyphon Solar Water Heater: Minimizing Water Flow Rate in Some Risers of the Solar Collector

พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล (Pisit Techarungpaisan) ^{1*}

อโศก ศรีทองธรรม (Asoke Shithongtum) ²

บรรชา บุคดาดี (Bancha Buddadee) ³

ทรงสุภา พุ่มชุมพล (Songsupa Pumchumpol) ³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ วิธีการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังวางในแนวนอน โดยการลดอัตราการไหลของน้ำบางท่อในแผงรับแสงอาทิตย์ เนื่องจากสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้รับจากแผงรับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นของน้ำร้อนเกิดจากการได้รับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ (Solar radiation) ทำให้แผ่นดูดซับความร้อน (Absorber plate) ร้อนขึ้นส่งผลไปยังอุณหภูมิของน้ำในท่อที่อยู่ในแผงรับแสงอาทิตย์ การลดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแผงรับแสงอาทิตย์จะทำให้ น้ำเคลื่อนตัวช้าลง ดังนั้นน้ำจะได้รับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลทำได้โดยการติดตั้งวาล์วเปิด-ปิด ที่ท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน (Top header) ภายในแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อปรับอัตราการไหลของน้ำ โดยได้มีการปรับการไหล 3 รูปแบบ แบบที่ 1 เปิดวาล์ว 100% ทุกท่อ แบบที่ 2 เปิดวาล์ว 50% ทุกท่อ แบบที่ 3 เปิดวาล์วสลับระหว่าง 100% และ 50% พบว่า สมรรถนะของระบบต่ำสุดอยู่ที่ 17.71% สำหรับการทดลองในแบบที่ 1 และสูงที่สุดอยู่ที่ 35.07% สำหรับการทดลองในแบบที่ 3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้คือ แนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้ที่มีจำหน่ายทั่วไปเชิงพาณิชย์ โดยลดขนาดท่อน้ำที่บริเวณใกล้ท่อรวมด้านบน (Top header) เพื่อลดอัตราการไหลของน้ำในท่อ ซึ่งเป็นแนวทางในการออกแบบแผงรับแสงอาทิตย์ให้มีสมรรถนะสูงขึ้นต่อไป

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

²นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

³อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

* corresponding author, e-mail: tec_pisit@yahoo.com

Abstract

This paper presents a method to increase the performance of a thermosyphon solar water heater with horizontal tank by minimizing water flow rate in some riser tubes of the solar collector. Its performance depends on the water temperature in the solar collector. Heat from solar radiation was absorbed by the absorber plate and transferred to the water, which flows in the riser tube. If the water in the riser tubes flows slowly, a higher rate of heat transfer to the water is obtained. Therefore, the water temperature is increased. Three experimental models were made by adjusting regulating valves in every riser at the top header of the solar collector. Model I is 100% valve opening for all risers. Model II is 50% valve opening for all risers. In Model III, the valves are 100% opened for every other tube. The results show that the lowest efficiency is Model I which is 17.71% and the highest efficiency is Model III which is 35.07%. This will be the new design for a thermosyphon solar water heater by reducing the diameter at the end of the riser near the top header in the solar collector.

คำสำคัญ: การไหลเวียนตามธรรมชาติ, เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, ท่อน้ำ, น้ำร้อน, รางสีแสงอาทิตย์

Keywords: Solar water heater , Hot water , Solar radiation , Riser , Natural circulation

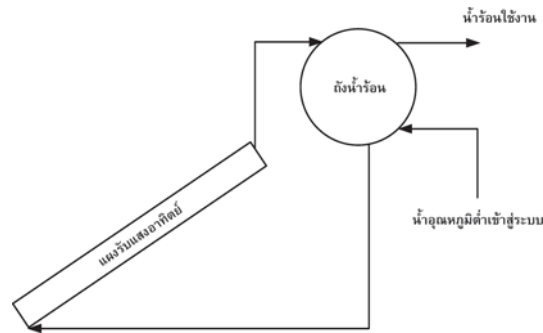
บทนำ

ความต้องการพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นตามความเปลี่ยนแปลงในหลายๆ ด้านส่งผลกระทบต่อการลดลงอย่างรวดเร็วของแหล่งพลังงานโดยเฉพาะน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งอาจหมดไปในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นการจัดการด้านพลังงานที่เหมาะสมและการศึกษาด้านพลังงานหมุนเวียนจึงถูกพิจารณาอย่างจริงจัง พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) หมายถึงพลังงานที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกอย่างไม่มีวันหมด เช่น สิ่งของเหลือใช้ทั้งจากการผลิตและแปรรูป มูลสัตว์ น้ำเสียจากชุมชน รวมทั้งแสงอาทิตย์ น้ำ ความร้อนใต้พิภพ ลม และคลื่น เป็นต้น การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมกับประเทศไทย เนื่องจากได้รับปริมาณแสงอาทิตย์สูงตลอดปีโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 16.5 MJ/m^2 (มารีน่า, 2542) เครื่องทำน้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลเวียนของน้ำตามธรรมชาติ (Thermosyphon solar water heater

with horizontal tank) เป็นหนึ่งในผลผลิตที่ได้รับจากการศึกษาค้นคว้าและวิจัยด้านพลังงานแสงอาทิตย์ การค้นคว้าวิจัยเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้เป็นเรื่องที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อนสามารถผลิตใช้งานตามที่พักอาศัยทั่วไปได้ การพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องให้สูงขึ้นจะช่วยให้การใช้งานของเครื่องมีความคุ้มค่ามากขึ้น และสามารถทดแทนเครื่องทำน้ำร้อนที่ใช้ไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

หลักการเบื้องต้น

โดยทั่วไปองค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) ถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank) ระบบท่อ (Pipes and fitting) ที่ต่อเชื่อมระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์กับถังเก็บน้ำร้อนผ่านท่อกลับ (Return pipe) และท่อจ่าย (Supply pipe) และท่อที่จะนำน้ำร้อนไปใช้ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการหมุนเวียนของน้ำตามธรรมชาติ (Domestic solar water heater with natural circulation)

การจำแนกชนิดของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ อาศัยลักษณะการหมุนเวียนของน้ำ ในระบบที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ แบบการหมุนเวียนของน้ำแบบธรรมชาติ (Natural circulation) ซึ่งเป็น Passive system เราเรียกว่าการไหลวนแบบ Thermosyphon และ แบบการหมุนเวียนของน้ำโดยใช้ปั๊ม (Forced circulation) ซึ่งเป็น Active system งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนแบบการหมุนเวียนของน้ำตามธรรมชาติ (Natural circulation) เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อนและสามารถผลิตใช้งานเองได้ โดยที่การหมุนเวียนของน้ำในระบบเริ่มจากน้ำที่ด้านล่างสุดของถังน้ำซึ่งเป็นส่วนที่ระดับอุณหภูมิของน้ำต่ำที่สุดและไหลเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) โดยผ่านท่อจ่าย (Supply pipe) เข้าที่ท่อรวมด้านล่างของแผงรับแสงอาทิตย์ (Bottom header) แล้วผ่านท่อน้ำในแผงในแผงรับแสงอาทิตย์ (Riser tubes) ไปยังท่อรวมด้านบน (Top header) ความร้อนที่ได้รับจากรังสีแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ท่อน้ำในแผงรับแสงอาทิตย์ (Riser tubes) เพิ่มขึ้น ขณะที่ความหนาแน่นของน้ำลดต่ำลงเป็นผลให้น้ำที่ร้อนขึ้นเกิดการขยายตัวและลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์ไปรวมตัวกันที่ท่อรวมด้านบน (Top header) และไหลไปยังถังเก็บน้ำร้อนโดยผ่านท่อกลับ (Return pipe) ที่อยู่ระหว่างด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์กับด้านบนของถังน้ำ ที่ด้านล่างสุดของถังน้ำจะถูกแทนที่ด้วยน้ำร้อนที่ไหลมาจากแผงรับแสงอาทิตย์ (มารีน่า, 2542) ดังแสดงในรูปที่ 1

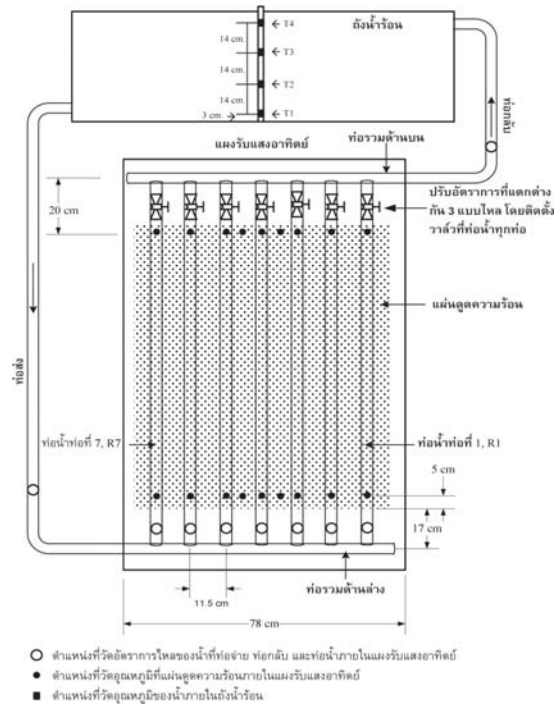
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลเวียนของน้ำ ตามธรรมชาตินำเสนอครั้งแรกโดย Close ในปี ค.ศ.1962 หลังจากนั้นมียานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มมากขึ้นแต่ส่วนใหญ่อยู่บนพื้นฐานงานวิจัยของ Close ซึ่ง Close ได้เปรียบเทียบผลการทดลอง ที่ได้กับสมการทางคณิตศาสตร์ระหว่างอัตราการไหลของของเหลวที่เกิดจากความแตกต่าง ของความหนาแน่นของของเหลวภายในระบบ Thermosyphon และอุณหภูมิภายในระบบ อุณหภูมิภายในถังน้ำร้อน อุณหภูมิที่ท่อเข้า - ออก ของแผงรับแสงอาทิตย์ นอกจากงานวิจัยของ Close แล้วงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น Shariah และ Löff ปี ค.ศ.1996 ที่ศึกษาเกี่ยวกับค่าที่เหมาะสม ระหว่างปริมาณของถังเก็บน้ำร้อนกับพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ พบว่า ถังเก็บน้ำร้อนที่สูงมากกว่า 1 เมตร จะไม่มีผลกระทบต่อ Solar fraction (Solar fraction หมายถึง อัตราส่วนความร้อนที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ต่อพลังงานที่ต้องการในกระบวนการ) นอกจากถังน้ำร้อนที่สูงน้อยกว่า 1 เมตร และการใช้งานในปริมาณสูง งานวิจัยที่ศึกษาอิทธิพลของชนิดของท่อน้ำภายในแผงรับแสงอาทิตย์ต่อสมรรถนะของระบบระหว่างท่อเหล็กกับท่อโพลีโพรพิลีน โดย Riazi and Razavi (1997) พบว่า การใช้ท่อน้ำที่เป็นโพลีโพรพิลีนให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ท่อน้ำที่เป็นท่อเหล็ก งานวิจัย ที่แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของเครื่อง โดย Helwa et al (1995) พบว่า ในพื้นที่ที่ปริมาณแสงอาทิตย์ต่ำบางครั้งการติดตั้งใช้งานมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่ม พลังงานความร้อนสำรอง

แก่ระบบเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน งานวิจัยที่เสนอความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายพฤติกรรมของระบบได้แก่ Khalifa and Mehdi (1999) แสดงสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายพฤติกรรมอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน Gupta and Garg (1968) ได้ศึกษาเกี่ยวกับขนาดที่แตกต่างกันของท่อน้ำภายในแผงรับแสงอาทิตย์ พบว่าท่อน้ำที่ขนาดใหญ่กว่าจะมีอัตราการไหลที่สูงกว่าแต่ความแตกต่างของอุณหภูมิในถังระหว่างด้านบนกับด้านล่างของถังมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับท่อน้ำที่มีขนาดเล็กกว่า Shitzer et al. (1978) ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายทั่วไป ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิที่แผ่นดูดความร้อนและภายในถังน้ำร้อนเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแผงรับแสงอาทิตย์และถังน้ำร้อนในแต่ละช่วงเวลาทำการทดลอง งานวิจัยที่เสนอสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายพฤติกรรมของอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ นำเสนอโดย Zvirin et al. (1976) และ Morrison (1979) และงานวิจัยที่ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของระบบเช่น งานวิจัยที่ศึกษาดำแหน่งของท่อน้ำร้อนจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้าถึงที่กึ่งกลางกับด้านบนของถังน้ำร้อน พบว่า การต่อท่อน้ำร้อนที่ด้านบนของถังให้สมรรถนะที่ดีกว่า พิสิษฐ์ และ ชวลิต (2547) งานวิจัยที่ศึกษาอัตราการไหลที่ท่อ เข้า-ออก และท่อน้ำภายในแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ Pisit et al. (2005) พบว่า จากการเปรียบเทียบระบบที่แตกต่างกัน 3 แบบระบบที่มีอัตราการไหลต่ำ สมรรถนะของการทำน้ำร้อนที่ได้รับสูงกว่าระบบที่อัตราการไหลสูงกว่า Techarungpaisan and Teeboonma (2006) พบว่า การลดอัตราการไหลของท่อน้ำบางท่อภายในแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบได้เช่นกัน

การเตรียมการทดลองและวิธีการทดลอง

การเตรียมการทดลอง

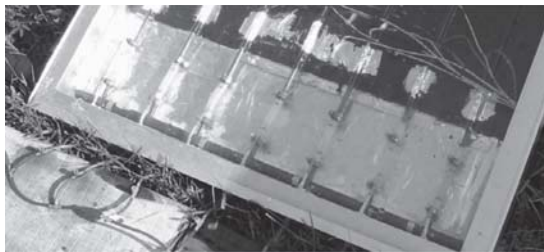
การศึกษาค้นคว้านี้ได้สร้างชุดทดลองโดยอ้างอิงกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย จากแนวคิดด้านอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแผงรับแสงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อการสะสมความร้อนของน้ำในท่อน้ำและสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้ ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงออกแบบการทดลองเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำ โดยการติดตั้งลิ้น เปิด-ปิด ที่ท่อน้ำ (Riser tubes) ใกล้ท่อรวมด้านบน (Top header) ทุกท่อ เพื่อวัดอัตราการไหลของน้ำในทุกๆ ชั่วโมง ที่ท่อจ่าย ท่อกลับ และท่อน้ำภายในแผงรับแสงอาทิตย์ วัดอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที ที่ท่อจ่าย ท่อกลับและแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำ และวัดอุณหภูมิภายในถังน้ำร้อนทุกๆ 5 นาที ซึ่งแตกต่างกันเนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลน้ำในท่อโดยวาล์ว เปิด-ปิด ที่ท่อน้ำ (Riser tubes) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2. แผนผังการเตรียมชุดทดลอง

1. การเตรียมชุดทดลองสำหรับวัดอัตราการไหล

การวัดอัตราการไหลใช้วิธี Dry trace inject (Close, 1962 ; Pannigul, 1999) โดยการตัดแผ่นคูความร้อน 15 cm. ตามความยาวของท่อน้ำ ตัดท่อน้ำทุกท่อความยาว 12 cm. แทนที่ด้วยท่อใยสไนเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.975 cm. เชื่อมต่อระหว่างท่อน้ำและท่อจ่ายด้านล่างติดตั้งเครื่องฉีดสีที่ท่อใยสไนทุกท่อ เช่นเดียวกัน ตัดท่อจ่ายและท่อกลับความยาว 15 cm. แทนที่ด้วยท่อใยสไนเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.95 cm. และติดตั้งชุดเข็มฉีดยาที่ท่อใยสไนที่ท่อจ่ายและท่อกลับสีที่ใช้ในการทดลองมีความหนาแน่น 0.9722 เดิมสารสีในถุงน้ำเกลือซึ่งสูงกว่าด้านบนสุดของถังน้ำร้อนปล่อยสารสีผ่านท่อใยสไนขนาดเล็กซึ่งต่อระหว่างชุดเข็มฉีดยาควบคุมอัตราการไหลโดยวาล์วพลาสติกที่ชุดเข็มฉีดยาแต่ละชุด ดังแสดงในรูปที่ 3 ขณะที่ตำแหน่งที่วัดอัตราการไหลแสดงในรูปที่ 2 วัดอัตราการไหลโดยน้ำพักจับเวลาเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความยาว 5 cm. ในท่อน้ำทุกท่อ ท่อจ่าย และท่อกลับ ทุก 1 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึงเวลา 16:00 น. ปรับตั้งเครื่องโดยวัดอัตราการไหลระหว่าง 0.03-0.5 cm³/s ค่าคลาดเคลื่อน ± 5%



รูปที่ 3. ชุดทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลโดยวิธี Dry trace inject (Close, 1962 ; Pannigul, 1999)

2. การเตรียมชุดทดลองสำหรับวัดอุณหภูมิ
วัดอุณหภูมิโดย Thermocouple ชนิด K (ค่าคลาดความเคลื่อน ± 0.5%) อุณหภูมิของแผ่น คูความร้อนวัดที่ผิวของแผ่นคูความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง อุณหภูมิของท่อจ่ายและท่อกลับวัดที่ผิวของท่อจ่ายและท่อกลับปิดทับ

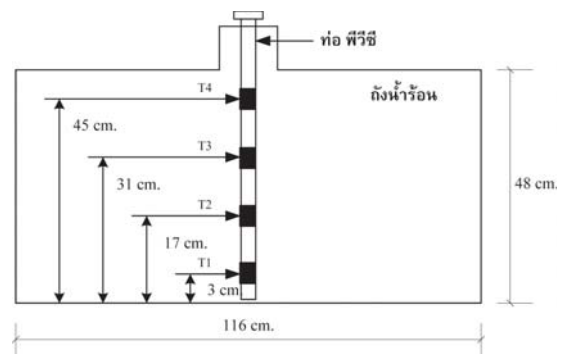
Thermocouple ด้วยแผ่นสติกเกอร์อะลูมิเนียม ดังแสดงในรูปที่ 3 วัดอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนโดย Thermocouple ชนิด K เช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 4 เก็บข้อมูลการวัดอุณหภูมิโดย Data logger (Cambell รุ่น CRX23)

3. การวัดพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องมือสำหรับวัดปริมาณแสงอาทิตย์ใช้ไพราโนมิเตอร์ (NovaLynx Corporation รุ่น 240-8101 Star Pyranometer ค่าความคลาดเคลื่อน ± 2%)

4. การวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4. ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนวัด 4 ตำแหน่งที่แตกต่างกันในแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4 อุณหภูมิของน้ำตำแหน่งต่ำสุดคือ T₁ ตำแหน่งสูงสุดคือ T₄ อุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่ง สามารถนำมาคำนวณประสิทธิภาพของระบบได้โดยค่า T₁, T₂, T₃, T₄ ใช้คำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำภายในถังน้ำร้อน (Water mean tank temperature, T_{sm}) จากสมการที่ 1 จำนวนหามาของน้ำในแต่ละส่วน m₁, m₂, m₃, m₄ (พิสิษฐ์ และ ชาลิต, 2547) ประสิทธิภาพของระบบมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับต่อพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์รวมทั้งตกกระทบบนระนาบของตัวรับรังสี (Pannigul, 1999)

$$T_{sm} = \frac{\sum_{i=1}^4 T_i m_i}{\sum_{i=1}^4 m_i} \tag{1}$$

เมื่อกำหนดให้

T_{sm} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อน
 T_i คือ อุณหภูมิของน้ำในส่วนที่ 1 ถึงส่วนที่ 4

4

m_i คือ มวลของน้ำในส่วนที่ 1 ถึงส่วนที่ 4
ประสิทธิภาพของระบบ η_{sys} คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\eta_{sys} = \frac{\Sigma Q_w}{\Sigma I_t A_c} \quad (2)$$

โดย Q_w คือ ความร้อนที่น้ำได้รับ

และ $I_t A_c$ คือ รังสีแสงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบน
ระนาบของตัวรับรังสี

ดังนั้น พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ Q_w คำนวณได้
จากสมการที่ 3

$$\Sigma Q_w = \sum_{t=6:00}^{16:00} m C_p (T_{sm,t+1} - T_{sm,t}) \quad (3)$$

เช่นเดียวกัน รังสีแสงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบ
บนระนาบของตัวรับรังสี $I_t A_c$ คำนวณได้จากสมการที่ 4

$$\Sigma I_t A_c = \Sigma (I_t A_c)_t \quad (4)$$

วิธีทำการทดลอง

เพื่อที่จะศึกษาสมรรถนะที่เปลี่ยนแปลงไป
ของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการลด

อัตราการไหลของน้ำบางท่อในแผงรับแสงอาทิตย์นั้น
คณะวิจัยจึงออกแบบและสร้างชุดทดลองตามที่อธิบาย
ก่อนหน้านี้และรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดย
วิธีการทดลองดำเนินการตามรายละเอียดดังนี้

การทดลองประกอบด้วย 3 แบบ เมื่อสิ้นสุด
การทดลองในแต่ละวันจะปล่อยน้ำออกจากระบบ ดังนี้
การทดลองแบบที่ 1 เปิดวาล์วที่ท่อน้ำทุกท่อ
100% ตามตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 2

การทดลองแบบที่ 2 เปิดวาล์วที่ท่อน้ำทุกท่อ
50% ตามตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 2

การทดลองแบบที่ 3 เปิดวาล์วที่ท่อน้ำ R1,
R3, R5, R7 100% ที่ท่อน้ำ R2, R4, R6 50% ตาม
ตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 2

และรายละเอียดการทดลองทั้ง 3 แบบแสดง
ในตารางที่ 2

เนื่องจากการทดลองแต่ละแบบนี้ใช้เครื่องมือ
ชุดเดียวกัน ดังนั้นตัวแปรที่ไม่อาจควบคุมได้ที่เกิดขึ้น
กับแต่ละแบบของการทดลองได้แก่ ค่าความเข้มแสง
อาทิตย์ และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (Ambient
temperature) เพื่อให้ค่าของตัวแปรเหล่านี้มีค่าใกล้เคียง
กันในการทดลองแต่ละแบบ เพื่อนำผลของแต่ละแบบ
มาเปรียบเทียบกันได้นั้น ต้องทำการทดลองแต่ละแบบ
หลายครั้งแล้วเลือกวันที่การทดลองแต่ละแบบที่มีค่า
รังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมใกล้เคียง
กันมาเปรียบเทียบ ซึ่งผลการทดลองที่เปรียบเทียบกัน
ถูกนำเสนอในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 1. รายละเอียดชุดทดลอง

อุปกรณ์	การทดลองแบบที่ 1	การทดลองแบบที่ 2	การทดลองแบบที่ 3
ก.ถังน้ำร้อน			
- ปริมาตร	200 Liters	200 Liters	200 Liters
- ขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลาง 48 cm. ยาว 116 cm.	เส้นผ่านศูนย์กลาง 48 cm. ยาว 116 cm.	เส้นผ่านศูนย์กลาง 48 cm. ยาว 116 cm.
- วัสดุ	ทำจากสแตนเลส ความหนา 1 mm.	ทำจากสแตนเลส ความหนา 1 mm.	ทำจากสแตนเลส ความหนา 1 mm.
- ฉนวน	ไมโครไฟเบอร์หนา 2.45 cm. หุ้มทับด้วยสังกะสี หนา 1 mm.	ไมโครไฟเบอร์หนา 2.45 cm. หุ้มทับด้วยสังกะสี หนา 1 mm.	ไมโครไฟเบอร์หนา 2.45 cm. หุ้มทับด้วยสังกะสี หนา 1 mm.

ตารางที่ 1. รายละเอียดชุดทดลอง (ต่อ)

อุปกรณ์	การทดลองแบบที่ 1	การทดลองแบบที่ 2	การทดลองแบบที่ 3
ข. ท่อส่งและท่อกลับ			
- ขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ "
- วัสดุ	ท่อทองแดง	ท่อทองแดง	ท่อทองแดง
- จำนวน	แอโรเฟลคหนา $\frac{3}{4}$ "	แอโรเฟลคหนา $\frac{3}{4}$ "	แอโรเฟลคหนา $\frac{3}{4}$ "
ค. แผงรับแสงอาทิตย์			
- ขนาดแผงรับ	780x1820x100 mm.	780x1820x100 mm.	780x1820x100 mm.
- ท่อน้ำท่อที่ 1	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "
- ท่อน้ำท่อที่ 2	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "
- ท่อน้ำท่อที่ 3	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "
- ท่อน้ำท่อที่ 4	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "
- ท่อน้ำท่อที่ 5	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "
- ท่อน้ำท่อที่ 6	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "
- ท่อน้ำท่อที่ 7	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ "
- แผ่นดูดความร้อน			
- จำนวน	ไมโครไฟเบอร์ 3 cm.	ไมโครไฟเบอร์ 3 cm.	ไมโครไฟเบอร์ 3 cm.
- กระจก	กระจกใส หนา 5 mm.	กระจกใส หนา 5 mm.	กระจกใส หนา 5 mm.

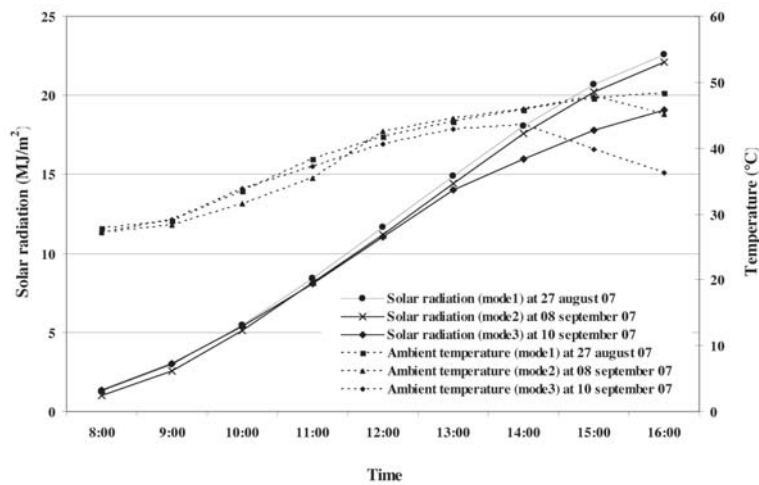
ตารางที่ 2. รายละเอียดรูปแบบการทดลอง

การ เปิด-ปิด วาล์วที่ท่อน้ำในการทดลองทั้ง 3 แบบ			
ลำดับที่	การทดลองแบบที่ 1	การทดลองแบบที่ 2	การทดลองแบบที่ 3
- ท่อน้ำท่อที่ 1	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 100%
- ท่อน้ำท่อที่ 2	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 50%
- ท่อน้ำท่อที่ 3	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 100%
- ท่อน้ำท่อที่ 4	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 50%
- ท่อน้ำท่อที่ 5	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 100%
- ท่อน้ำท่อที่ 6	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 50%
- ท่อน้ำท่อที่ 7	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 100%

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองทั้ง 3 แบบจากปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 5 ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์รวม

ระหว่างวันสำหรับการทดลองแบบที่ 1 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 อยู่ระหว่าง 22.57 MJ/m² 22.08 MJ/m² และ 19.07 MJ/m² ตามลำดับ โดยเริ่มการทดลองในแต่ละวันที่เวลาระหว่าง 8:00 น. ถึง 16:00 น. และในระหว่างการทดลองไม่มีการถ่ายน้ำออกนอกระบบ

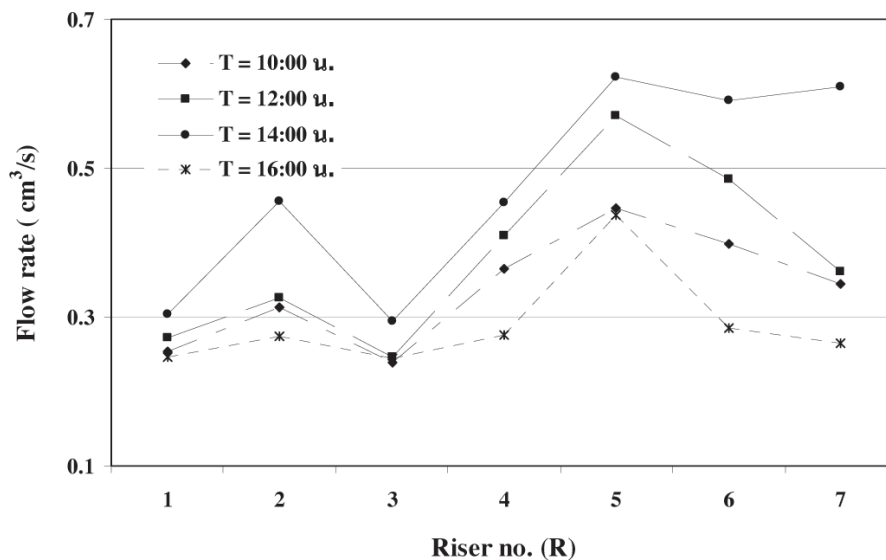


รูปที่ 5. การเปรียบเทียบอุณหภูมิแวดล้อมและปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์

1. อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำและอุณหภูมิที่แผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน

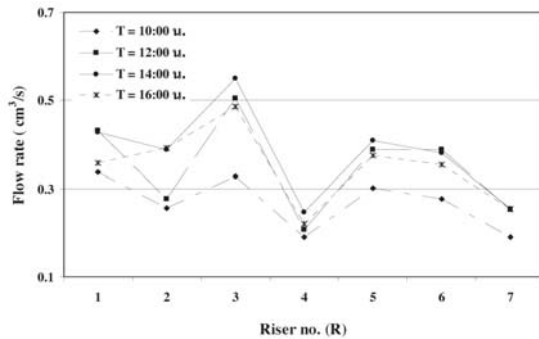
อัตราการไหลภายในท่อน้ำสำหรับการทดลองแบบที่ 1 นั้น ได้แสดงในรูปที่ 6 แม้ว่าเราจะเปิดวาล์วที่ท่อน้ำ 100% เท่ากันทุกท่อ แต่อัตราการไหลของน้ำที่ท่อน้ำแต่ละท่อในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการวัดมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากท่อน้ำแต่ละท่อได้รับปริมาณแสงอาทิตย์ที่

ตกกระทบบนแผงรับแสงอาทิตย์แตกต่างกันตามทิศการเคลื่อนของดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก และพบว่าอัตราการไหลของน้ำมีค่าระหว่าง 0.245 ถึง 0.623 cm³/s อัตราการไหลสูงสุดของน้ำในท่อเกิดขึ้นที่เวลา 14:00 น. และอัตราการไหลต่ำสุดของน้ำในท่อเกิดขึ้นที่เวลา 16:00 น. เนื่องจากปริมาณแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่เวลา 14:00 น. และต่ำสุดอยู่ที่เวลา 16:00 น.



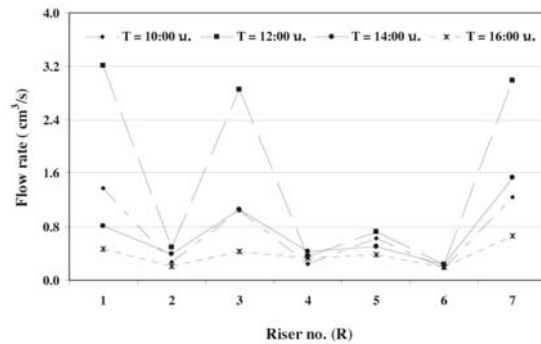
รูปที่ 6. อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำสำหรับการทดลองแบบที่ 1

อัตราการไหลภายในท่อน้ำสำหรับการทดลองแบบที่ 2 แสดงในรูปที่ 7 เช่นเดียวกับการทดลองแบบที่ 1 แม้ว่าจะเปิดวาล์วที่ท่อน้ำ 50% เท่ากันทุกท่อ แต่อัตราการไหลของน้ำที่ท่อน้ำแต่ละท่อในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการวัดมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากท่อน้ำแต่ละท่อได้รับปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับแสงอาทิตย์แตกต่างกันตามทิศการเคลื่อนของดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก และพบว่าอัตราการไหลที่วัดได้ต่ำกว่าการทดลองแบบที่ 1 เนื่องจากการเปิดวาล์วที่ท่อน้ำทุกท่อเพียง 50% อัตราการไหลของน้ำ มีค่าระหว่าง 0.189 ถึง 0.547 cm³/s อัตราการไหลสูงสุดของน้ำในท่อเกิดขึ้นที่เวลา 14:00 น. และอัตราการไหลต่ำสุดของน้ำในท่อเกิดขึ้นที่เวลา 10:00 น. เนื่องจากปริมาณแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่เวลา 14:00 น. และต่ำสุดอยู่ที่เวลา 10:00 น.



รูปที่ 7. อัตราการไหลภายในท่อน้ำ สำหรับการทดลองแบบที่ 2

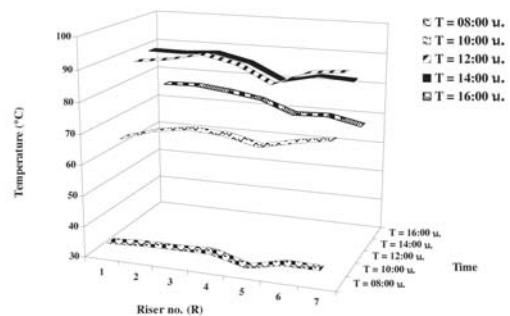
อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำสำหรับการทดลองแบบที่ 3 แสดงในรูปที่ 8 เนื่องจากท่อน้ำที่เปิดวาล์วเพียง 50% (R2, R4, R6) สะสมความร้อนได้มากกว่าและถ่ายเทความร้อนไปสู่ท่อน้ำที่เปิดวาล์ว 100% (R1, R3, R5, R7) ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำที่ท่อน้ำ R1, R3, R5, R7 จึงสูงกว่าอัตราการไหลของน้ำที่ท่อน้ำ R2, R4, R6 ชัดเจน อัตราการไหลของน้ำมีค่าระหว่าง 0.20 ถึง 2.99 cm³/s อัตราการไหลสูงสุดของน้ำในท่อเกิดขึ้นที่เวลา 12:00 น. และอัตราการไหลต่ำสุดของน้ำในท่อเกิดขึ้นที่เวลา 16:00 น. เนื่องจากปริมาณแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่เวลา 12:00 น. และต่ำสุดอยู่ที่เวลา 16:00 น. ตามลำดับ



รูปที่ 8. อัตราการไหลภายในท่อน้ำ สำหรับการทดลองแบบที่ 3

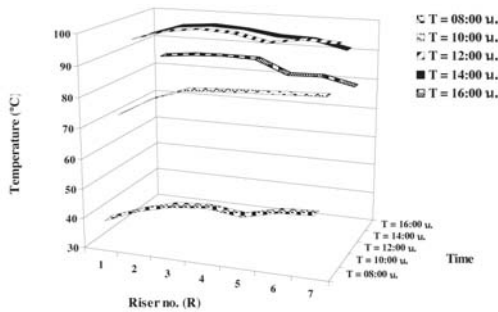
เมื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลระหว่างการทดลองแบบที่ 1 และ 2 พบว่าอัตราการไหลโดยเฉลี่ยของน้ำในท่อน้ำในการทดลองแบบที่ 2 น้อยกว่าการทดลองแบบที่ 1 เพราะการเปิดวาล์วที่ท่อน้ำเพียง 50% ซึ่งทำให้อัตราการไหลช้าลงเมื่อเทียบกับการทดลองแบบที่ 1 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองแบบที่ 3 ก่อนข้างแตกต่างจากการทดลองทั้ง 2 แบบแรกที่กล่าวไปแล้วพบว่า ท่อน้ำที่เปิดวาล์ว 100% มีอัตราการไหลสูงกว่าท่อน้ำที่เปิดวาล์วเพียง 50% เห็นได้ชัดมากที่สุดที่เวลา 12:00 น. เนื่องจากความร้อนโดยรวมของท่อน้ำที่เปิดวาล์ว 100% เพิ่มขึ้น

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน สำหรับการทดลองแบบที่ 1 แสดงในรูปที่ 9 พบว่า ส่วนใหญ่อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ อยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C เริ่มตั้งแต่เวลา 11:00 น. ถึง 15:00 น. รวมทั้งสิ้นเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุดมีค่าเท่ากับ 87°C



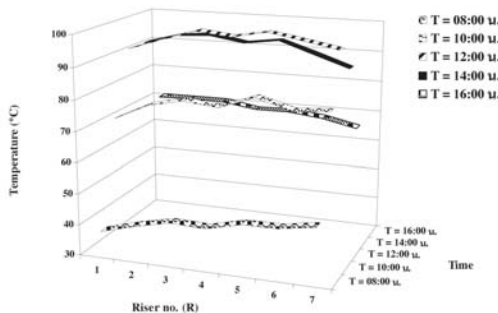
รูปที่ 9. อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน สำหรับการทดลองแบบที่ 1

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของ ท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน สำหรับการทดลองแบบที่ 2 แสดงในรูปที่ 10 พบว่า ส่วนใหญ่อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัด ได้อยู่ระหว่าง 90°C ถึง 95°C เริ่มตั้งแต่เวลา 11:00 น. ถึง 15:00 น. รวมทั้งสิ้นเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุด มีค่าเท่ากับ 93°C



รูปที่ 10. อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำ ใกล้ท่อรวมด้านบนสำหรับการทดลองแบบที่ 2

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของ ท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน สำหรับการทดลองแบบที่ 3 แสดงในรูปที่ 11 พบว่า ส่วนใหญ่อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัด ได้ อยู่ระหว่าง 90°C ถึง 95°C เริ่มตั้งแต่เวลา 11:00 น. ถึง 14:00น. รวมทั้งสิ้นเวลา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุด มีค่าเท่ากับ 91°C



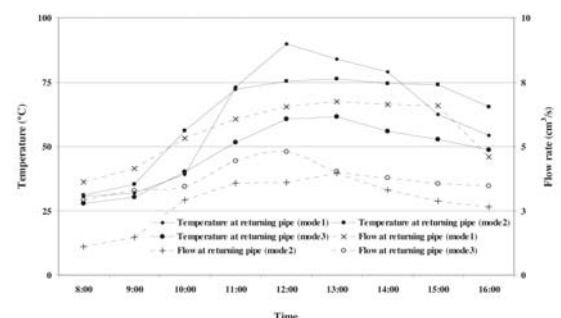
รูปที่ 11. อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำ ใกล้ท่อรวมด้านบนสำหรับการทดลองแบบที่ 3

เปรียบเทียบอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ ตำแหน่งของท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน จากการทดลองทั้ง 3 แบบ พบว่า เนื่องจากผลการวัดอัตราการไหลในการทดลองแบบที่ 2 มีค่าต่ำที่สุด เป็นผลให้น้ำในท่อน้ำ

สะสมความร้อนได้มากที่สุด ดังนั้นอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน ในการทดลองแบบที่ 2 จึงสูงที่สุด โดยอุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุดเท่ากับ 93°C ที่เวลา 14:00 น. ขณะที่การทดลองแบบที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 87°C ที่เวลา 14:00 น. และการทดลองแบบที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 91°C ที่เวลา 12:00 น. ตามลำดับ

2. อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่ท่อกลับ

อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่ท่อกลับจาก การทดลองทั้ง 3 แบบ แสดงในรูปที่ 12 อุณหภูมิของ น้ำที่ท่อกลับ เช่นเดียวกับผลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน อุณหภูมิของน้ำที่ท่อกลับในการทดลองแบบที่ 2 มีค่า สูงที่สุด เนื่องจากการทดลองแบบที่ 2 น้ำในท่อน้ำ ภายในแผงรับแสงอาทิตย์สะสมความร้อนได้มากที่สุด จึงมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำที่ท่อกลับในแนวทางเดียวกัน อัตราการไหลของน้ำที่ท่อกลับ พบว่า การทดลองแบบ ที่ 1 มีอัตราการไหลของน้ำสูงที่สุด รองลงมาเกิดในการทดลองแบบที่ 3 การทดลองแบบที่ 2 มีอัตราการไหล ของน้ำต่ำที่สุด ซึ่งมีผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ ในถังน้ำร้อน รวมทั้งประสิทธิภาพของระบบดังแสดง ในหัวข้อถัดไป

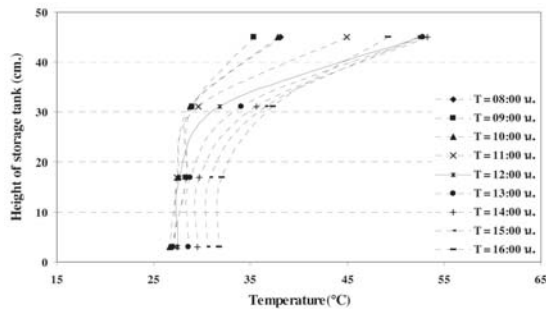


รูปที่ 12. อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่ท่อกลับ สำหรับการทดลองทั้ง 3 แบบ

3. อุณหภูมิเฉลี่ยและการกระจายตัวของ อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อน

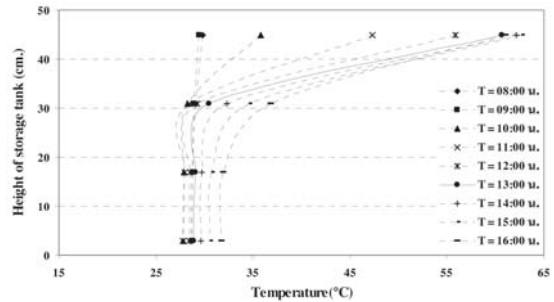
รูปที่ 13 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิ

ของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่ง T_1 ถึง T_4 ระหว่างเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. ในการทดลองแบบที่ 1 พบว่า อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ เพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงอาทิตย์ ที่ตำแหน่ง T_1 ถึง T_3 ความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำอยู่ในระดับต่ำตลอดช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. ขณะที่ตำแหน่ง T_3 และ T_4 มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิของน้ำอยู่ในระดับสูง เนื่องจากที่ตำแหน่ง T_4 ได้รับความร้อนซึ่งไหลจากแผงรับแสงอาทิตย์โดยตรงและมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 20.61°C ที่เวลา 12:00 น.



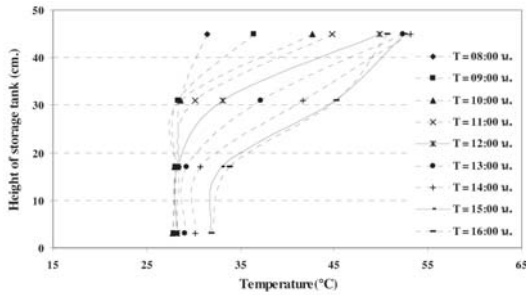
รูปที่ 13. การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในถังน้ำร้อน สำหรับการทดลองแบบที่ 1

รูปที่ 14 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่ง T_1 ถึง T_4 ระหว่างเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. ในการทดลองแบบที่ 2 เช่นเดียวกับการทดลองในแบบที่ 1 พบว่า อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ เพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงอาทิตย์ ที่ตำแหน่ง T_1 ถึง T_3 ความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำอยู่ในระดับต่ำตลอดช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. ขณะที่ตำแหน่ง T_3 และ T_4 มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิของน้ำอยู่ในระดับสูง และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 30.16°C ที่เวลา 13:00 น. และเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองในแบบที่ 1



รูปที่ 14. การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในถังน้ำร้อน สำหรับการทดลองแบบที่ 2

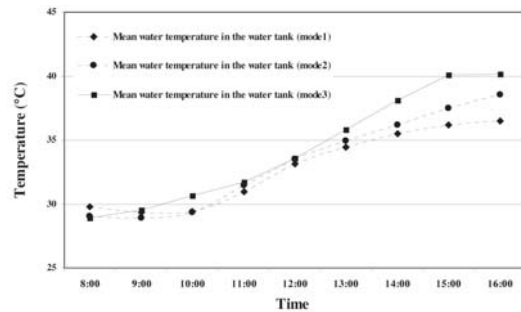
รูปที่ 15 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่ง T_1 ถึง T_4 ระหว่างเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. ในการทดลองแบบที่ 3 ความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ เพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงอาทิตย์ เช่นเดียวกับการทดลองในแบบที่ 1 และ 2 แต่การกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนแตกต่างจาก 2 การทดลองที่ผ่านมาซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำอยู่ในระดับต่ำตลอดช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. ที่ตำแหน่ง T_1 ถึง T_3 ส่วนในการทดลองแบบที่ 3 ความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำอยู่ในระดับต่ำตลอดช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. อยู่ที่ตำแหน่ง T_1 ถึง T_2 ความแตกต่างกันของอุณหภูมิของน้ำอยู่ในระดับสูงมี 2 ตำแหน่งที่ตำแหน่ง T_2 ถึง T_3 และ T_3 ถึง T_4 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 12.10°C ที่เวลา 15:00 น. ที่ตำแหน่ง T_2 ถึง T_3 และเท่ากับ 16.71°C ที่เวลา 12:00 น. ที่ตำแหน่ง T_3 ถึง T_4 ขณะที่ 2 การทดลองที่ผ่านมาความแตกต่างกันของอุณหภูมิของน้ำอยู่ในระดับสูงมี 1 ตำแหน่งที่ตำแหน่ง T_3 ถึง T_4 แสดงให้เห็นว่าการทดลองแบบที่ 3 มีการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในสมำเสมอมากที่สุด และมีผลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนซึ่งแสดงในลำดับถัดไป



รูปที่ 15. การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในถังน้ำร้อน สำหรับการทดลองแบบที่ 3

อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนแสดงในรูปที่ 16 พบว่า ช่วงแรกของการทดลองปริมาณแสงอาทิตย์และการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนต่ำ ดังนั้นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนที่คำนวณได้จึงมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณแสงอาทิตย์และการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนสูงขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนที่คำนวณได้จึงเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณแสงอาทิตย์เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นช่วงเวลาที่ปริมาณแสงอาทิตย์ลดลง อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจึงลดต่ำลงเช่นกัน แสดงผลชัดเจนในการทดลองแบบที่ 1 ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 10:00 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำลดต่ำลงจากอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 29.79°C ที่เวลา 8:00 น. เป็น 29.39°C ที่เวลา 10:00 น. เพราะปริมาณแสงอาทิตย์ที่ลดลงในช่วงเวลา หลังจากนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเพิ่มสูงขึ้นมีค่าเท่ากับ 30.94°C ที่เวลา 11:00 น. และเพิ่มต่อเนื่องเช่นเดียวกันกับการทดลองทั้ง 2 แบบที่เหลือ ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 การทดลอง เป็นผลจากอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่ท่อกลับซึ่งแตกต่างกันในการทดลองทั้ง 3 แบบ อุณหภูมิของน้ำที่ท่อกลับ พบว่าการทดลองแบบที่ 2 มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากการทดลองแบบที่ 2 น้ำในท่อน้ำภายในแผงรับแสงอาทิตย์สะสมความร้อนได้มากที่สุดจึงมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำที่ท่อกลับ ในแนวทางเดียวกัน อัตราการไหลของน้ำที่ท่อกลับพบว่า การทดลองแบบที่ 1 มีอัตราการไหลของน้ำสูงที่สุด รองลงมาเกิดในการทดลองแบบที่ 3 การทดลองแบบที่ 2 มีอัตราการไหลของน้ำต่ำที่สุด เป็นผลให้การ

กระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนในการทดลองทั้ง 3 แบบ พบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนสม่ำเสมอที่สุดเกิดขึ้นในการทดลองแบบที่ 3 การทดลองแบบที่ 2 และการทดลองแบบที่ 1 ตามลำดับ ตามผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 13, 14 และ 15 ดังนั้นเมื่อคำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนจากสมการที่ 1 โดยมวลแต่ละส่วน (m_1, m_2, m_3, m_4) และ อุณหภูมิของน้ำ (ที่ตำแหน่ง T_1, T_2, T_3, T_4) ดังแสดงในรูปที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดของน้ำในถังน้ำร้อนจึงเกิดขึ้นในการทดลองแบบที่ 3 การทดลองแบบที่ 2 และการทดลองแบบที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 16. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำภายในถังน้ำร้อน จากการทดลองทั้ง 3 แบบ

4. ประสิทธิภาพของระบบ

ประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิและปริมาณน้ำร้อนที่ได้รับจากแผงรับแสงอาทิตย์ ดังนั้นแม้ว่าอุณหภูมิของน้ำที่กลับในการทดลองแบบที่ 2 มีค่าสูงที่สุด แต่ผลิตน้ำร้อนได้ในปริมาณน้อย เนื่องจากอัตราการที่ท่อกลับไหลมีค่าต่ำที่สุดพิจารณาได้จากการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำดังรูปที่ 14 เมื่อคำนวณประสิทธิภาพของระบบจากสมการที่ 1 ถึง 4 พบว่าการทดลองแบบที่ 3 มีประสิทธิภาพของระบบสูงที่สุด แม้ว่าอุณหภูมิของน้ำที่สูงที่สุดจะไม่เท่าการทดลองแบบที่ 2 แต่ได้น้ำร้อนในปริมาณมากดูได้จากรูปที่ 15 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อน น้ำในถังส่วนใหญ่มีอุณหภูมิสูงทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการทดลองแบบที่ 3 สูงกว่าแบบอื่นๆ แสดงได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบระหว่างการทดลองทั้ง 3 แบบ

	ประสิทธิภาพรวมของระบบ %		
	การทดลองแบบที่ 1	การทดลองแบบที่ 2	การทดลองแบบที่ 3
ที่เวลา 12:00 น. (%)	17.21	23.81	25.10
ที่เวลา 14:00 น. (%)	18.89	24.31	34.28
ที่เวลา 16:00 น. (%)	17.71	25.74	35.07

สรุปผล

1. การลดอัตราการไหลที่ท่อน้ำใกล้ท่อรวม เพื่อลดอัตราการไหลของน้ำในท่อลง ทำให้น้ำในท่อสะสมความร้อนได้มากขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ท่อกลับจึงเพิ่มสูงขึ้น

2. ประสิทธิภาพของระบบ และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังขึ้นอยู่กับ ระดับอุณหภูมิและปริมาณน้ำร้อนที่ได้รับจากแผงรับแสงอาทิตย์ ดังนั้นการทดลองในแบบที่ 3 จึงมีประสิทธิภาพของระบบ และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังถึงสูงสุด เนื่องจากระดับอุณหภูมิและปริมาณน้ำร้อนที่ได้รับจากแผงรับแสงอาทิตย์มีค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับถังน้ำร้อนขนาด 200 ลิตร

3. จากรูปแบบของท่อน้ำภายในแผงรับแสงอาทิตย์ของการทดลองแบบที่ 3 ซึ่งสามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ได้มากที่สุด จึงน่าจะใช้เป็นแนวทางสำหรับออกแบบแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อพัฒนาของสมรรถนะให้สูงขึ้น โดยแนวการออกแบบใหม่คือ การบีบที่ท่อน้ำที่ปลายด้านบนในแผงรับแสงอาทิตย์ โดยบีบที่ท่อกครั้งหนึ่งในตำแหน่ง ท่อเว้นท่อ ซึ่งจะได้อุณหภูมิสูงขึ้นและทดสอบเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประเภทเงินรายได้และทุนสนับสนุน การวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

มารีน่า มะหนิ, 2542, “วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์” มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล และ ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์, 2547, ผลของตำแหน่งการต่อท่อน้ำร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์เข้าสู่ถังน้ำร้อนแบบวางนอนต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์, วิศวกรรมสาร มช. ปีที่ 31, ฉ.1 (มกราคม-มีนาคม 2547), หน้า 56-71--0125-8273

Abdul-Jabbar N. Khalifa, M.M. Mehdi, 1999, **On the verification of one dimensional heat flow in a horizontal thermosyphon storage tank**, Energy Conversion & Management, Volume 40, Issue 9, June 1999, Pages 961-974

Close, D.J., 1962, **The performance of solar water heaters with natural circulation.**, Solar Energy, Volume 6, Issue 1, January-March 1962, Pages 33-40

Gupta, C.L. and Garg,H.P. 1968, **System Design in Solar Water Heater with Natural Circulation**, Solar Energy, Volume 12, Issue 2, December 1968, Pages 163-170

Helwa, N.H., Mobarak, A.M., El-Sallak, M.S., and

- El-Ghetany, H.H., **Effect of Hot-Water Consumption on Temperature Distribution in a Horizontal Solar Water Storage Tank**, Applied Energy, 1995, Volume 52, Pages 185-197
- G. L. Morrison and D. B. J. Ranatunga, **Thermosyphon Circulation in Solar Collector**, Solar Energy, Volume 24, Issue 2, 1980, Pages 191-198
- Pisit Techarungpaisan, Bancha Buddadee, Sivanappan Kumar, 2005, **Investigation of Water Flow Rate in a Thermosyphon Solar Water Heater**, The 19th Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. October 19-20, 2005, Songkla, Thailand
- P.Techarungpaisan, U.Teeboonma, 2006, **Improving performance of solar water heater with natural circulation by the unflow riser**, SET2006-5th International Conference on Sustainable Energy Technologies. Vicenza, Italy 30 August-1 September 2006
- Pannigul, P. ,1999, **A study of temperature and flow distribution in a natural circulation Solar water heater system**, Master Thesis, Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and development, Bangkok, Thailand
- Riazi R., Mohammad and Razavi Jalil, **Performance of Polypropylene and Steel Tubes in Solar Water Heaters with Natural Circulation**, Energy Sources, Volume 19, Issue 2 February 1997, Pages 147-152
- A. M. Shariah and G. O. G.Löf, **The optimization of tank-volume-to-collector-area ratio for a thermosyphon solar water heater**, Renewable Energy, Volume 7, Issue 3, March 1996, Pages 289-300
- Shitzer, Kalmanoviz, D., Zvirin, Y. and Grossman, G. 1978, **Experiments with a Flat Plate Solar Water Heating System in Thermosyphon Flow**, Energy Source, Volume 19, Pages 147-152
- Y. Zvirin, A. Shitzer and G. Grossman, **The natural circulation solar heater-models with linear and nonlinear temperature distributions**, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 20, Issue 9, September 1977, Pages 997-999