การศึกษาระบบการส่งถ่ายความร้อนโดยใช้ไอน้ำ เป็นสารทำงานหมุนเวียนในแนวราบ

STUDY OF HEAT TRANSFER SYSTEM WITH STEAM AS A HORIZONTAL CIRCULATING WORKING FLUID

จิรวัฒน์ สิตรานนท์[1], อมร จิตรวิโรจน์[2], พิชัยนาม ประกาย[3] และ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์[4]
[1,4]อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110,
[1]Jirawat_solar@hotmail.com, [4]k_yong28@hotmail.com
[2]ครูผู้ช่วย, โรงเรียนพนัสพิทยาคาร, 52 ม. 6 ถนนสุขประยูร ต.กุฎโง้ง อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี 20140, newamorn1@gmail.com
[3]อดีตอาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140, ipicakai@gmail.com

Jirawat Sitranon[1], Amorn Chitwiroj[2], Pichai Namprakai[3] and Kittisak Witinantakit[4]
[1,4]Lecturer, Program in Energy Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, 43 Village No. 6 Bang Phra Sub-district, Siracha District, Chonburi 20110, Thailand
[1]Jirawat_solar@hotmail.com, [4]k_yong28@hotmail.com
[2] Assistant Teacher, Phanatpittayakarn School, 52 Village No. 6 Kud Ngong Sub-district, Phanat Nikhom District, Chonburi 20140, Thailand, newamorn1@gmail.com
[3]Former lecturer of King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha Utid Road Bangmod Thongku Bangkok 10140, Thailand, ipicakai@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาระบบการส่งถ่ายความร้อนโดยใช้ไอน้ำเป็นสารทำงานหมุนเวียนในแนวราบ ที่ใช้พลังงานความร้อนต่ำหรือพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งจากระบบใด ๆ ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบหมุนเวียนไอน้ำด้วยพลังงานความร้อน 2 แบบ ที่มีอุณหภูมิถังผลิตไอน้ำ 2 ระดับ คือ 110 °C และ 115 °C โดยให้ปริมาตรอากาศ 0 ลิตร ต่อน้ำ 3 ลิตร ในถังผลิตไอน้ำร้อน และอากาศ 0.5 ลิตร ต่อน้ำ 2.5 ลิตร พบว่า การทำงานระบบหมุนเวียนไอน้ำด้วยพลังงานความร้อนแบบที่ 1 (ถังผลิตไอน้ำไปยังถังกักเก็บน้ำร้อนและถังขับดัน) สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ 115 °C

โดยใช้อัตราส่วนอากาศ 0 ลิตร ต่อน้ำ 3 ลิตร ปริมาณความร้อนที่สะสมภายในถังกักเก็บน้ำร้อนเท่ากับ 2.656 MJ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 25.425
คำสำคัญ: การหมุนเวียนสารในแนวราบ, ระบบหมุนเวียนไอน้ำ, สารทำงาน

ABSTRACT

The research was a study and development of the heat transfer system by used steam as working fluid circulating in a horizontal plane. It was powered by a low heat, or thermal energy waste from any system. The investigator designed 2 models of the steam circulating thermal system, when temperatures in heating tank were 110 and 115 ^{o}C. The volume of air 0 Liters and water 3 Liters in the steam heating tank and air 0.5 Liters and water 2.5 Liters. It was found that the circulating steam thermal system model 1 (heating tank to storage tank and pressure tank) at 115 ^{o}C using ratio air 0 Liters and water 3 Liters. The quantity of heat accumulated in the storage tank was 2.656 MJ could have best efficiency 25.45%.
KEYWORDS: horizontal circulation, steam circulation system, working fluid

1. บทนำ

การใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูง ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการ โดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ และถูกปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมโดยเปล่าประโยชน์ แต่หากนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ ก็ย่อมสามารถลดพลังงานที่ป้อนเข้ากระบวนการได้ นั่นหมายความว่าระบบจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยใช้อุปกรณ์ที่นำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ หรือ อุปกรณ์การส่งถ่ายความร้อน การส่งถ่ายความร้อนโดยการหมุนเวียนของของไหล ที่เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยวิธีการพาความร้อน เช่น ปั๊มความร้อน คือระบบที่ทำงานในการปั๊มความร้อนจากตำแหน่งหนึ่งไปใช้งานอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยอาศัยหลักการทางเธอร์โมไดนามิกส์ ทำงานตามวัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot cycle) ทำให้สามารถดึงความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อน แล้วนำไปถ่ายโอนให้กับบริเวณที่ต้องการความร้อน ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้ผลิตความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม หรืออาคาร ที่มีอุณหภูมิในการทำความร้อนไม่เกิน 60 °C ซึ่งเป็นช่วงที่ปั๊มความร้อนทำงานที่ประสิทธิภาพสูง โดยการผลิตความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง รวมทั้งข้อจำกัดของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 80-90 °C

ระบบปั๊มน้ำพลังงานความร้อน (Thermal water pump) อาศัยหลักการของการปั๊มน้ำและการไหลเวียนน้ำโดยการประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนมาใช้ในการปั๊มน้ำ และการหมุนเวียนของไหล

ด้วยกำลังไอน้ำ สามารถรับและคายความร้อนได้ดี โดยการหมุนเวียนน้ำร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน [1] ต่อมาได้มีการใช้ ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ทำให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนสร้างความดัน และขับดันน้ำร้อนไปแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน (ภายในถังเก็บน้ำร้อนมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนติดตั้งอยู่) และไหลผ่านเข้าไปยังถังพักน้ำเพื่อระบายความร้อน หลังจากนั้นก็จะไหลกลับเข้าสู่ระบบ เมื่อความดันภายในถังขับดันมีค่าใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ [2] การศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับการไหลหมุนเวียนด้วยตัวเองแบบธรรมชาติ (Thermosiphons) ใช้แหล่งพลังงานจากรังสีอาทิตย์ ความร้อนที่ถ่ายโอนขณะการหมุนเวียนด้วยตัวเอง มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ และความร้อนสัมผัสของของเหลว การหมุนเวียนด้วยตัวเองแบบธรรมชาติ อาศัยจัดวางอุปกรณ์ให้แหล่งเก็บน้ำหล่อเย็นไว้ด้านบน สูงกว่าแหล่งผลิตไอน้ำ และควบคุมการหมุนเวียนด้วยความดันไอน้ำ และใช้วาล์วลูกลอยควบคุมระดับของของเหลว เพื่อสร้างความแตกต่างระหว่างความดันของแหล่งผลิตไอน้ำ และการควบแน่น ของเหลวจะเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยความดันไอน้ำ ซึ่งทิศทางการไหลหมุนเวียนจะตรงกันข้ามกับการไหลตามธรรมชาติ การใช้ความดันไอน้ำจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ฟองไอน้ำ เนื่องจากฟองของไอน้ำจะเคลื่อนที่ไปตามของเหลวที่ไหล โดยความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่ 100 °C ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จึงมีความเสี่ยงที่อากาศภายนอกจะรั่วไหลเข้าไปในรอบการหมุนเวียน ทำให้เป็นอุปสรรคในการควบแน่นของไอน้ำ [3] การเพิ่มประสิทธิภาพการหมุนเวียนน้ำร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ โดยใช้กำลังไอน้ำเป็นตัวขับเคลื่อนน้ำภายในระบบ และส่งน้ำร้อนไปเก็บที่ถังน้ำร้อน เพื่อลดการสูญเสียความร้อนในการหมุนเวียนน้ำ และลดการสูญเสียของไอน้ำในช่วงการเปิดสู่บรรยากาศของไอน้ำ [4] การสูบน้ำโดยใช้พลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ ทำให้ระบบสามารถสูบและส่งน้ำได้ โดยอาศัยการขับดันน้ำด้วยไอน้ำที่มีความดันสูง และสูบน้ำด้วยการควบแน่นของไอน้ำหลังจากการขับดันน้ำ โดยระบายความร้อนอากาศจึงทำให้เกิดความดันสุญญากาศ ควบคุมการหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยการเปิด ปิดวาล์วควบคุม [5] การศึกษาประสิทธิภาพของปั๊มน้ำความร้อนด้วยกำลังไอน้ำแบบอัตโนมัติ ที่อาศัยอากาศในการเพิ่มความดันในถังขับดัน วิธีการควบคุมและการเติมอากาศเข้าถังขับดัน เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบดังกล่าว [6] เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนแบบไฮบริด ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งความร้อนเสริม ในการสูบน้ำในแนวดิ่ง ทำให้ระบบสามารถทำงานตลอดเวลา แต่จะเกิดการสูญเสียความร้อนค่อนข้างมากในขั้นตอนการให้ความร้อน และการขับดันน้ำ ภายในตัวรับรังสีแบบแผ่นราบโดยเฉพาะ ช่วงที่รังสีอาทิตย์น้อยหรือไม่มีรังสีอาทิตย์ [7] จากงานวิจัยดังกล่าวพบว่ายังมีข้อจำกัดในการหมุนเวียนน้ำร้อน ที่ต้องหมุนเวียนในแนวดิ่งเท่านั้น และเป็นระบบเปิด ทำให้ความดันและความร้อนสูญเสียให้กับบรรยากาศ

เมื่อคำนึงถึงปัญหาดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงมีความพยายามที่จะศึกษาและวิจัยระบบการส่งถ่ายความร้อนแบบการหมุนเวียนของไหลในแนวราบ โดยการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น ความร้อนจากไอเสียของเตาเผา เตาหลอม หรือหม้อต้มไอน้ำ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ระบบการส่งถ่ายความร้อน ส่วนใหญ่ใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานจากฟอสซิล หรือเป็นระบบที่ผ่านวัฏจักรเชิงความร้อนต่างๆ ที่ใช้แหล่งพลังงานจากภายนอกในการหมุนเวียนและพบว่ามีอุปกรณ์ประกอบมาก ใช้เทคนิคซับซ้อน ต้องการการบำรุงรักษามาก ต้นทุนสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและออกแบบระบบการส่งถ่ายความร้อนแบบการหมุนเวียนของไหลในแนวราบ ด้วยกำลังไอน้ำและอากาศ ควบคุมทิศทางการไหลด้วยวาล์วกันกลับ และไม่ใช้แหล่งพลังงานจากภายนอกในการหมุนเวียน โดยใช้ประโยชน์จากความร้อนทิ้งในการสร้างกำลังไอน้ำและอากาศ ในการหมุนเวียนด้วยตัวเอง โดยจำลองแหล่งพลังงานความร้อนทิ้งด้วยฮีตเตอร์ ระบายความร้อนด้วยน้ำ และเป็นระบบปิด เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบหมุนเวียนสารทำงานด้วยพลังงานความร้อน โดยการทำงานของระบบได้แก่ช่วงให้ความร้อนและช่วงระบายความร้อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หมุนวนในลักษณะนี้ต่อๆ ไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและหลักการทำงานของระบบ

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความดันไอน้ำที่ถังผลิตความร้อน [8]

$$P_{vapor} = 133.32 \times 10^{\left(8.07131 - \frac{1730.63}{T_{vapor}+233.426}\right)} \quad (1)$$

ความดันรวมที่ถังความดัน [9]

$$P_{system} = P_{air} + P_{vapor} \quad (2)$$

โดยความดันของอากาศที่เติมเข้าถังความดันหาได้จาก

$$P_{air}V_{air} = m_{air}R_{air}T_{air} \quad (4)$$

อุณหภูมิของน้ำในถังผลิตความร้อนหาได้จากสมการ [6]

$$m_{v,HT}\left(h_{g,T_{HT}} - h_{f,T_x}\right) + m_{w,HT}C_{p,w,HT}(T_{HT} - T_x) + m_f\left(h_{f,PT} - h_{f,T_x}\right) = m_e h_{fg,T_x} \quad (5)$$

โดยที่ $m_{v,HT}$ = มวลไอน้ำภายในถังผลิตความร้อน, kg
$m_{w,HT}$ = มวลน้ำภายในถังผลิตความร้อน, kg
m_f = มวลน้ำที่ไหลถังผลิตความร้อน, kg
m_e = มวลน้ำที่ระเหยในถังผลิตความร้อน, kg
$h_{g,T_{HT}}$ = เอนธัลปีของไอน้ำภายในถังผลิตความร้อน, kJ/kg
h_{f,T_x} = เอนธัลปีของน้ำที่อุณหภูมิ T_x, kJ/kg
$h_{f,PT}$ = เอนธัลปีของน้ำภายในถังความดัน, kJ/kg
h_{fg,T_x} = ค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอที่อุณหภูมิ T_x, kJ/kg
$C_{p,w,HT}$ = ค่าความจุความร้อนของน้ำภายในถังผลิตความร้อน, kJ/kg °C
T_{HT} = อุณหภูมิในถังผลิตความร้อน, °C
T_x = อุณหภูมิผสมภายในถังผลิตความร้อน, °C

ปริมาณความร้อนสะสมในถังกักเก็บน้ำร้อน

$$\mathrm{Q_{st}} = m_w \times C_p \times (T_2 - T_1) \quad (6)$$

โดยที่ $\mathrm{Q_{st}}$ = ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังกักเก็บน้ำร้อน, kJ
m_w = มวลน้ำในถังกักเก็บน้ำร้อน, kg
C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg°C
T_2 = อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่เวลาสุดท้าย, °C
T_1 = อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่เวลาเริ่มต้น, °C

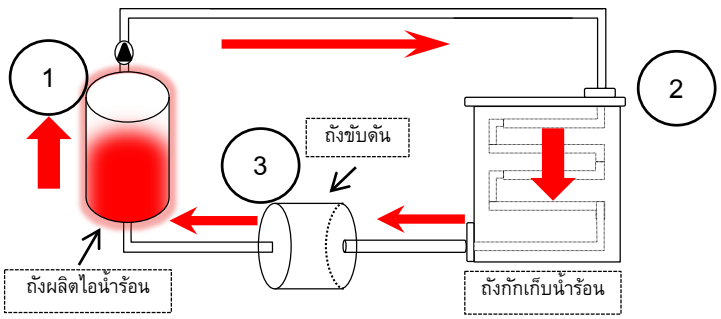
ประสิทธิภาพของความร้อนของระบบ

$$\eta_t = \frac{\mathrm{Q_{st}}}{\mathrm{Q_{input}}} \times 100\% \quad (7)$$

โดยที่ η_t = ประสิทธิภาพความร้อนของระบบ
$\mathrm{Q_{input}}$ = ปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ, kJ

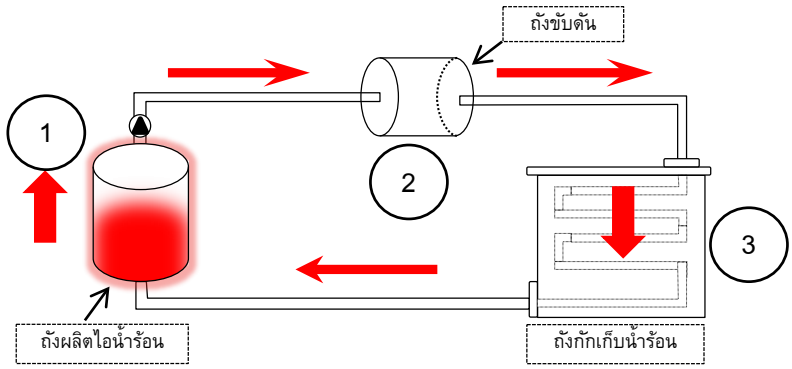
2.2 หลักการทำงานของระบบ

การหมุนเวียนสารทำงาน ในแบบที่ 1 ดังรูปที่ 1 ไอน้ำหมุนเวียนผ่านถังเก็บน้ำร้อน ที่มีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ภายในก่อน ดังนั้นเมื่อถังผลิตไอน้ำร้อน (หมายเลข 1) ได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์ทำให้น้ำภายในถังผลิตน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความดันก็จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ จนกระทั่งน้ำในถังผลิตไอน้ำร้อนเดือดกลายเป็นไอเคลื่อนที่ไปยังถังกักเก็บน้ำร้อน (หมายเลข 2) โดยผ่านวาล์วกันกลับ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในถัง ทำให้น้ำหลังออกจากถังกักเก็บน้ำร้อนนี้มีอุณหภูมิลดลง อุณหภูมิน้ำที่ลดลงทำให้ความดันลดลงด้วย น้ำที่ไหลออกจากถังกักเก็บน้ำร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำร้อน เมื่อไหลเข้าถังขับดัน (หมายเลข 3) ที่มีอากาศอยู่ภายใน ทำให้ความดันเพิ่มขึ้น เนื่องจากอากาศเมื่อได้รับความร้อนจากน้ำร้อนทำให้ความดันสูงขึ้นตามอุณหภูมิและความดันยังคงสูงกว่าความดันในถังผลิตไอน้ำร้อน ทำให้น้ำสามารถหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังผลิตไอน้ำร้อนได้ เมื่อน้ำเย็นเข้าสู่ถังผลิตไอน้ำร้อนจะทำให้อุณหภูมิของถังผลิตไอน้ำร้อนเกิดภาวะสุญญากาศ ทำให้ถังผลิตไอน้ำร้อนสามารถดูดน้ำกลับเข้าสู่ถังผลิตไอน้ำร้อนได้เป็นครบรอบการทำงานและเริ่มต้นทำงานในรอบถัดไป



รูปที่ 1 หลักการทำงานระบบหมุนเวียนไอน้ำด้วยพลังงานความร้อนแบบที่ 1

การหมุนเวียนสารทำงาน ในแบบที่ 2 ดังรูปที่ 2 ไอน้ำหมุนเวียนผ่านถังขับดันก่อน เมื่อน้ำในถังผลิตไอน้ำร้อน (หมายเลข 1) ได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์จนกระทั่งเดือดกลายเป็นไอ เคลื่อนที่ผ่านท่อไอน้ำไปยังถังขับดัน (หมายเลข 2) ซึ่งในถังขับดันมีอากาศอยู่ภายในถัง เมื่อได้รับความร้อนจากไอน้ำจะทำให้ความดันภายในถังขับดันสูงขึ้น เนื่องจากความดันในระบบสามารถหาได้จาก ผลรวมของความดันของอากาศรวมกับความดันของไอน้ำภายในถังขับดัน ทำให้ความดันในถังขับดันสูงกว่าถังผลิตไอน้ำร้อน จึงสามารถหมุนเวียนน้ำผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแลกเปลี่ยนความร้อนภายในถังกักเก็บน้ำร้อน (หมายเลข 3) ทำให้อุณหภูมิก่อนที่จะเข้าสู่ถังผลิตไอน้ำร้อนลดลง แต่ความดันยังคงสูงกว่าความดันในถังผลิตไอน้ำร้อน ทำให้น้ำสามารถหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังผลิตไอน้ำร้อนได้เป็นครบรอบการทำงานและเริ่มต้นทำงานในรอบถัดไป



รูปที่ 2 หลักการทำงานระบบหมุนเวียนไอน้ำด้วยพลังงานความร้อนแบบที่ 2

3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์

1) ถังความดันหรือถังขับดัน (Pressure tank) ลักษณะของถังความดันเป็นรูปทรงกระบอกทำจากสแตนเลสหนา 3 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถังความดัน 0.25 m ความสูงของถังความดัน 0.34 m ปริมาตร 16.7 ลิตร ไม่มีการหุ้มฉนวน

2) ถังแลกเปลี่ยนและกักเก็บความร้อน (Heat exchanger and storage tank) รูปทรงสี่เหลี่ยม วัสดุที่ใช้ทำถังให้ความร้อนเป็นสแตนเลส หนา 3 mm ขนาดมิติภายในถังให้ความร้อน 0.4 x 0.4 m ความสูงของถังให้ความร้อน 0.3 m ปริมาตร 48 ลิตร วัสดุที่ใช้ทำฉนวนเป็นยางสังเคราะห์

3) ถังผลิตความร้อน (Heating tank) ลักษณะของถังให้ความร้อนรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า วัสดุที่ใช้ทำถังให้ความร้อนเป็นสแตนเลส หนา 3 mm ขนาดมิติภายในถังให้ความร้อน 0.3 x 0.2 m ความหนาของถังให้ความร้อน 0.05 m ปริมาตร 3 ลิตร วัสดุที่ใช้ทำฉนวนเป็นยางสังเคราะห์

4) วาล์วกันกลับ (แบบ swing check valve) ใช้แรงกดของน้ำและไอน้ำการใช้งานใช้กับน้ำร้อนและไอน้ำ

5) ฮีตเตอร์ ประเภทของ แท่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 m ความยาว 0.35 m กำลังไฟฟ้า 3,000 W แรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 V

6) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger) ทางเข้าของกระแสไฟฟ้าตรง 20 - 50 mV ค่าความแม่นยำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ±0.05% อุณหภูมิระหว่าง -200 - 1,370 °C ค่าความแม่นยำอุณหภูมิ ±0.15% แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่าง 180 - 250 V ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ของแหล่งจ่ายกำลัง 50/60 เฮิรตซ์ ±1%

7) ตัวแปลงสัญญาณความดัน (Pressure transducers) แปลงสัญญาณความดันเป็นแรงดันไฟฟ้า วัดความดันและใช้หลักการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าย่านการวัด -14.7 - 30 psi (-1 - 2

bar) ค่าความแม่นยำ ±0.25% ของย่านการวัดทั้งหมด อุณหภูมิของสารทำงาน -40 - 125 °C แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 9 ถึง 30 V (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง) น้ำหนัก 0.5 kg ใช้กับไอน้ำและอากาศ

8) ตัวตรวจจับอุณหภูมิ (thermocouple wire) type K ย่านการวัด 0 - 200 °C มีค่า ±2% -110 ถึง 285 °C มีค่า ±2.2% 285 ถึง 1,250 °C มีค่า ±0.75% ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฉนวนหุ้มภายนอกและภายใน 0.32 x 0.2 cm

9) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (switching power supply) กำลังไฟฟ้าด้านออก 60 W (max) แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า 110 ถึง 250 V (แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ) ช่วงความถี่ด้านเข้า 47 ถึง 440 Hz แรงดันไฟฟ้าด้านออก 12 V ±3%

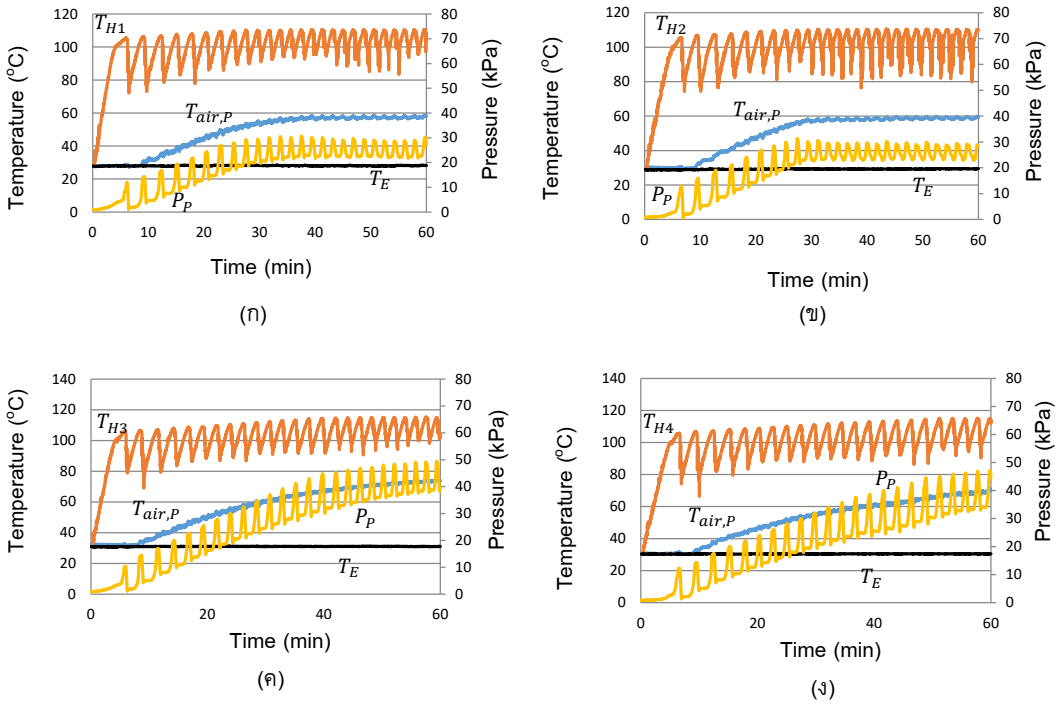
3.2 วิธีการวิจัย

1. ศึกษาการทำงานของระบบหมุนเวียนสารทำงาน (ไอน้ำ) การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง โดยแบ่งวิธีการไหลของสารทำงานออก เป็น 2 แบบ
2. กำหนดตำแหน่งวัดอุณหภูมิ และความดัน และติดตั้งเครื่องมือวัดความดันและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
3. เติมน้ำ 1 ลิตร ในถังความดันและเติมน้ำในถังผลิตไอน้ำร้อนให้เต็ม โดยสัดส่วนอากาศกับน้ำในถังผลิตไอน้ำร้อนอยู่ในอัตราส่วน 0:3 โดยปริมาตร
4. จดตัวเลขที่ kWh meter ก่อนทำการทดลอง และเปิดสวิตซ์ไฟที่เบรกเกอร์และสวิตซ์เครื่องบันทึก อุณหภูมิบันทึกอุณหภูมิทุก 1 วินาที ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง
5. ทำการทดลองที่อุณหภูมิที่ 110 °C และ 115 °C ทั้ง 2 แบบ (ทำการทดลองอย่างละ 5 ครั้ง)
6. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 3 ถึง 5 โดยเปลี่ยนสัดส่วนอากาศกับน้ำในถังผลิตไอน้ำร้อนอยู่ในอัตราส่วน 0.5:2.5 โดยปริมาตร
7. นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ อุณหภูมิถังผลิตไอน้ำร้อน อุณหภูมิอากาศในถังขับดัน อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ความดันในถังขับดัน จำนวนรอบในการหมุนเวียน ปริมาณความร้อนสะสมในถังกักเก็บน้ำร้อน ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ และสรุปผลการวิจัย

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและศึกษาการทำงานของระบบ โดยพิจารณาจากอุณหภูมิถังผลิตไอน้ำร้อน อุณหภูมิอากาศ ไอน้ำ และความดันในถังขับดัน อุณหภูมิน้ำในถังกักเก็บน้ำร้อน โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนสะสมในถังกักเก็บน้ำร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาอุณหภูมิถังผลิตไอน้ำร้อน 2 อุณหภูมิ คือ 110 °C และ 115 °C โดยให้ปริมาณอากาศในถังขับดันคงที่ สัดส่วนอากาศกับน้ำในถังผลิตไอน้ำร้อนอยู่ใน

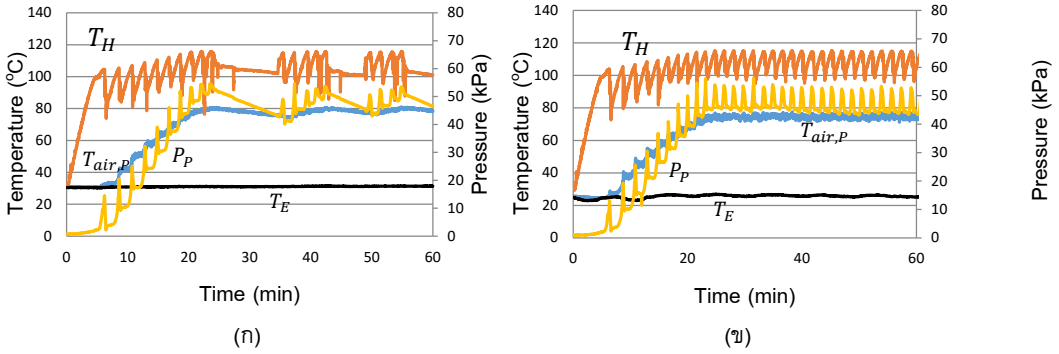
อัตราส่วน 0:3 (ไม่มีอากาศ และน้ำ 3 ลิตร) และ 0.5:2.5 (อากาศ 0.5 ลิตร และน้ำ 3 ลิตร) โดยปริมาตร ซึ่งแต่ละอุณหภูมิจะให้ไอน้ำเคลื่อนที่ตามระบบดังรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันในระบบแบบที่ 1

จากรูปที่ 3 เมื่อ T_H คือ อุณหภูมิถังผลิตไอน้ำร้อน $T_{air,P}$ คือ อุณหภูมิอากาศในถังขับดัน P_P คือ ความดันในถังขับดันและ T_E คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดย (ก) ที่อุณหภูมิ 110 °C น้ำในถังผลิตไอน้ำร้อน 2.5 ลิตร (ข) ที่อุณหภูมิ 110 °C น้ำในถังผลิตไอน้ำร้อน 3 ลิตร (ค) ที่อุณหภูมิ 115 °C น้ำในถังผลิตไอน้ำร้อน 2.5 ลิตร (ง) ที่อุณหภูมิ 115 °C น้ำในถังผลิตไอน้ำร้อน 3 ลิตร ที่อุณหภูมิ 110 °C การหมุนเวียนน้ำได้ปริมาตรน้ำต่อรอบน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 115 °C ที่จำนวนรอบใกล้เคียงกัน เนื่องจากน้ำที่หมุนเวียนเกิดจากไอน้ำที่ควบแน่นเป็นน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูง การระเหย และการเดือดของน้ำเป็นไอน้ำก็จะมากขึ้นตาม และหมุนเวียนด้วยความดันไอน้ำ ดังสมการที่ 1 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความดันก็เพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้ปริมาณความร้อนความร้อนสะสมสูงขึ้นตามดังสมการที่ 6 เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลให้ความดันเพิ่มขึ้น จำนวนรอบในการหมุนเวียนน้ำร้อนก็เพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้อุณหภูมิในถังกักเก็บน้ำร้อนสูงขึ้นจากการแลกเปลี่ยนความร้อน และ

ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงขึ้นตาม ดังสมการที่ 7 เมื่อปริมาณความร้อนความร้อนสะสมในถังกักเก็บสูงขึ้น ความดันรวมภายในระบบจากสมการที่ 2 ที่เกิดจากความดันไอน้ำรวมกับความดันของอากาศในระบบ จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ในแต่ละรอบ ที่อุณหภูมิ 115 °C เนื่องจากความดันของอากาศที่อยู่ภายในถังขับดันจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิภายในถังขับดันดังสมการที่ 4 เมื่อปริมาตรคงที่ มวลอากาศคงที่ ความดันจะขึ้นกับอุณหภูมิ ตามกฎแก๊สอุดมคติ เนื่องจากความร้อนสะสมของถังขับดันสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิภายในถังขับดันสูงขึ้นในแต่ละรอบ ดังนั้นอุณหภูมิถังผลิตไอน้ำร้อนที่สูงขึ้นส่งผลต่อจำนวนนอบในการหมุนเวียนน้ำสูงขึ้นตาม ดังรูปที่ 3 (ค) และ (ง) ที่อุณหภูมิ 115 °C ส่วนปริมาตรอากาศที่เติมเข้าถังผลิตไอน้ำร้อน 0.5 ลิตร ส่งผลให้ความดันรวมในถังสูงขึ้นตาม เมื่อความดันสูงขึ้นจำนวนรอบในการหมุนเวียนน้ำก็สูงขึ้นดัง ดังรูปที่ 3 (ก) และ (ค) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำร้อนสูงขึ้น และปริมาตรการเติมอากาศมากขึ้น ส่งผลให้ระบบหมุนเวียนความร้อน และแลกเปลี่ยนความร้อนกับถังกักเก็บน้ำร้อนได้มากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันในระบบแบบที่ 2

จากรูปที่ 4 เมื่อ T_H คือ อุณหภูมิถังผลิตไอน้ำร้อน $T_{air,P}$ คือ อุณหภูมิอากาศในถังขับดัน P_P คือ ความดันในถังขับดันและ T_E คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดย อุณหภูมิ 115 °C น้ำในถังผลิตไอน้ำร้อน 3 ลิตร โดยไอน้ำหมุนเวียนผ่านถังขับดันก่อน และไหลผ่านถังกักเก็บน้ำร้อน ดังรูปที่ 4 (ก) ไม่ได้ระบายความร้อนที่ถังขับดัน และ รูปที่ 4 (ข) ระบายความร้อนให้กับถังขับดันด้วยอากาศ ระบบหมุนเวียนน้ำไม่สม่ำเสมอ ในกรณีที่ไอน้ำหมุนเวียนผ่านถังขับดันก่อน เนื่องจากความดันในสมการที่ 2 เป็นความดันไอน้ำ และเกิดขึ้นที่ถังขับดันก่อน จึงมีความดันสูงตามอุณหภูมิของไอน้ำ ซึ่งถูกส่งมาจากถังผลิตไอน้ำโดยตรง ไอน้ำที่ความดันสูงขึ้น ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในถังเก็บน้ำร้อน ทำให้ความดันลดลง และไม่สามารถไหลกลับเข้าถังผลิตไอได้ เนื่องจากมีความดันที่ต่ำกว่า ความดันในถังผลิตไอน้ำ ดังนั้นมวลของน้ำในถังผลิตไอน้ำจึงลดน้อยลง เมื่อระบบ

สามารถหมุนเวียนน้ำได้แล้วนั้น มวลน้ำจึงเติมเข้าถังผลิตไอน้ำเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้อุณหภูมิของถังผลิตไอน้ำลดลงมา ดังสมการที่ 5 ที่มีการหมุนเวียนมวลน้ำเข้าถังผลิตไอน้ำ จากถังขับดันทำให้ทราบถึงอุณหภูมิของผสมภายในถังผลิตความร้อนที่ลดลง ที่อุณหภูมิ 80-90 °C ดังนั้นเพื่อลดการสะสมความดันที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของถังขับดันสูงขึ้น จึงระบายความร้อนของถังขับดันด้วยอากาศ เพื่อลดอุณหภูมิของถังขับดันลง ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) ทำให้ระบบสามารถทำงานได้สม่ำเสมอ และสามารถหมุนเวียนได้จำนวนรอบมากกว่า แบบที่ 1 ดังนั้นถังขับดันของระบบในแบบที่ 2 ต้องระบายความร้อนด้วยอากาศระบบจึงจะสามารถหมุนเวียนได้อย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากอุณหภูมิถังผลิตไอน้ำร้อนที่สูงขึ้น ไหลผ่านถังขับดันที่เพิ่มความดันให้กับระบบก่อน ไหลเข้าถังกักเก็บน้ำร้อน ทำให้ความดันในช่วงแรกสูงขึ้น และหลังจากนั้นความดันก็ลดลง เนื่องจากมวลน้ำที่เกิดจากการควบแน่นภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้ความดันที่ไหลกลับเข้าถังผลิตไอน้ำลดลง ระบบจึงหมุนเวียนได้ไม่สม่ำเสมอ และจำนวนรอบลดลง ส่งผลให้ปริมาณความร้อนในถังกักเก็บน้ำร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนลดลงด้วย

ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังกักเก็บน้ำร้อน และประสิทธิภาพความร้อนของระบบ ในแบบที่ 1 สูงกว่าแบบที่ 2 เนื่องจากจำนวนรอบในการหมุนเวียนในแบบที่ 2 น้อยกว่ามาก และไม่สม่ำเสมอ แต่ในแบบที่ 2 ในกรณีที่ใช้อากาศช่วยระบายความร้อนให้กับถังขับดันกลับมีจำนวนรอบในการหมุนเวียนสูงกว่าแบบที่ 1 แต่ปริมาณความร้อน และประสิทธิภาพความร้อนของระบบยังคงน้อยกว่า จากอุณหภูมิของไอน้ำก่อนเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนได้ลดลงเนื่องจากการระบายความร้อนด้วยอากาศที่ถังขับดัน จึงทำให้ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังกักเก็บน้ำร้อนลดลง เนื่องจากอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนลดลงจากการสูญเสียความร้อนในการใช้อากาศระบายความร้อนของถังขับดัน ดังสมการที่ 6 และเมื่อปริมาณความร้อนสะสมภายในถังกักเก็บน้ำร้อนลดลง ประสิทธิภาพความร้อนของระบบลดลง ดังสมการที่ 7 พลังงานความร้อนที่ได้รับหารด้วยพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้า ถ้าพลังงานเข้าคงที่ พลังงานออกลดลง ประสิทธิภาพก็จะลดลงตามลำดับ ดังนั้น การหมุนเวียนในแบบที่ 1 ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบจะแปรผันตามปริมาณความร้อนสะสมภายในถังกักเก็บน้ำร้อน โดยที่ถังผลิตไอน้ำร้อนไม่มีอากาศ (น้ำ 3 ลิตร) การหมุนเวียนในแบบที่ 2 ระบบจะทำงานได้สม่ำเสมอ ก็ต่อเมื่อมีการระบายความร้อนด้วยอากาศที่ถังขับดัน แต่ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง เนื่องจากเป็นการสูญเสียความร้อนของระบบที่ส่งผลให้ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังกักเก็บน้ำร้อนลดลง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความไม่แน่นอนของอุณหภูมิ ถังผลิตไอน้ำร้อน ถังขับดัน ความดัน ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังกักเก็บน้ำร้อน และประสิทธิภาพความร้อนของระบบ

system	Data	$T_{air,P}$ (°C)	T_H (°C)	P_{sys} (kPa)	Q_{st} (kJ)	η_t (%)
แบบที่ 1	Mean 110°C 2.5L	47.78	98.91	18.12	849.35	9.83
	Mean 110 °C 3L	49.88	98.54	19.23	826.34	9.98
	Mean 115°C 2.5L	56.40	100.55	25.04	1043.91	10.36
	Mean 115°C 3L	51.95	98.79	21.51	1179.89	11.30
	Max 110°C 2.5L	58.80	110.60	30.69	1286.58	14.89
	Max 110°C 3L	60.00	110.70	31.36	1338.88	16.17
	Max 115°C 2.5L	75.20	115.30	49.39	2437.18	24.18
	Max 115°C 3L	71.00	115.20	47.21	2656.84	25.45
	SD 110°C 2.5L	11.21	13.03	8.72	710.69	8.23
	SD 110°C 3L	11.09	13.88	9.22	643.99	7.78
	SD 115°C 2.5L	14.66	13.43	13.97	889.79	8.83
	SD 115°C 3L	13.09	14.11	12.31	948.46	9.08
แบบที่ 2	Mean 110°C 2.5L	58.66	97.40	24.78	96.14	2.23
	Mean 110 °C 3L	60.42	98.61	25.77	50.16	0.82
	Mean 115°C 2.5L	69.36	101.61	38.25	135.98	2.10
	Mean 115°C 3L	66.99	101.11	38.20	94.14	2.18
	Mean 115°C 3L air	63.40	102.39	36.21	376.56	8.72
	Max 110°C 2.5L	67.90	110.50	34.54	188.28	3.08
	Max 110°C 3L	69.30	110.70	36.00	125.52	1.94
	Max 115°C 2.5L	81.20	115.90	55.54	366.10	8.47
	Max 115°C 3L	79.50	116.50	54.98	177.82	4.12
	Max 115°C 3L air	78.10	115.20	56.21	836.80	13.67
	SD 110°C 2.5L	11.65	11.20	9.47	49.79	0.77
	SD 110°C 3L	9.39	12.16	8.54	46.42	1.07
	SD 115°C 2.5L	16.55	12.78	16.53	123.66	2.86
	SD 115°C 3L	16.65	14.16	16.37	33.26	0.54
	SD 115°C 3L air	17.98	14.20	16.82	313.80	4.84

หมายเหตุ: $T_{air,P}$ คือ อุณหภูมิอากาศในถังขับดัน, T_H คือ อุณหภูมิถังผลิตไอน้ำร้อน, P_{sys} คือ ความดันภายในระบบ, Q_{st} คือ ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังกักเก็บน้ำร้อน และ η_t คือ ประสิทธิภาพความร้อน

5. สรุป

ระบบแบบที่ 1 ไอน้ำจะไหลผ่านอุปกรณ์และเปลี่ยนความร้อนก่อน และควบแน่นเป็นน้ำไหลไปที่ถังความดัน และรอไหลเข้าถังผลิตความร้อน โดยที่ถังขับดันมีมวลอากาศที่ช่วยเพิ่มความดันให้ระบบ เมื่อความดันที่ถังความดันเพิ่มขึ้นจนสามารถชนะความดันที่ถังผลิตความร้อนได้ น้ำก็จะไหลเข้าถังผลิตความร้อน และทำให้อุณหภูมิภายในถังลดลง ความดันในถังผลิตความร้อนก็ลดลงตามลำดับ ทำให้ระบบในแบบที่ 1 สามารถหมุนเวียนน้ำได้สม่ำเสมอ โดยได้ปริมาณความร้อน 2.656 MJ และประสิทธิภาพความร้อนของระบบร้อยละ 25.45 อุณหภูมิของน้ำหลังจากการหมุนเวียนน้ำแต่ละรอบที่ถังผลิตไอน้ำมีค่า 90 °C ขึ้นไป การหมุนเวียนในแบบที่ 2 ระบบจะหมุนเวียนได้สม่ำเสมอ โดยต้องอาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศที่ถังขับดัน จึงทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน และทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเท่ากับร้อยละ 13.64% ดังนั้นระบบหมุนเวียนในแบบที่ 1 จึงมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าแบบที่ 2 ถึงร้อยละ 46.4%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่อนุเคราะห์สถานที่เก็บผลการทดลอง

References

[1] Roonprasang N, Namprakai P, Pratinthong N. Experimental studies of a new solar water haeter system using a solar water pump. Int J Energy 2008;33:639–46.

[2] Roonprasang N, Namprakai P, Pratinthong N. A novel thermal water pump for circulating water in a solar water heating system. Appl Therm Eng 2009;29:1598-605

[3] Dobriansky S Y. Concepts of self-acting circulation loops for downward heat transfer (reverse thermosiphons). Energy Convers Manag 2011;52:414-25.

[4] Sutthivirode K, Namprakai P, Roonprasang N. A new version of a solar water heating system coupled with a solar water pump. Appl Energy 2009;86:1423-30.

[5] Liengjindathaworn S, Kirtikara K, Namprakai P, Kiatsiriroat T. Parametric studies of a pulsating-steam water pump. Int J Ambient Energy 2002;23:37-46.

[6] Sitranon J, Lertsatitthanakorn C, Namprakai P, Namprakai N, Suparos T, Roonprasang N. Parametric consideration of a thermal water pump and application for agriculture. J Sol Energy Eng 2014;137:03100601-12.

[7] Moonsri P, Kunchornrat J, Namprakai P. Hybrid energy thermal water pump for producing hot water from a shallow well in Thailand. J Sol Energy Eng 2016;142: 0401502301-15.

[8] Perry RH, Green DW, Maloney JO. Perry's chemical engineers' handbook. 7th ed. New York: McGraw-Hill Inc; 1997.

[9] Sitranon J, Lertsatitthanakorn C, Namprakai P, Namprakai N, Suparos T, Roonprasang N. Performance enhancement of solar water heater with a thermal water pump. J Energy Eng (ASCE) 2014;141:0401403601-10.

ประวัติผู้เขียนบทความ

จิรวัฒน์ สิตรานนท์ ปร.ด. (เทคโนโลยีพลังงาน) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, E-Mail: Jirawat_solar@hotmail.com อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่อยู่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
งานวิจัยที่สนใจ: Thermal Energy, Solar Energy, Steam-Air Power, Solar Thermal Water Pump

อมร จิตรวิโรจน์ วท.บ.(ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยบูรพา, E-Mail: newamorn1@gmail.com ครูผู้ช่วย, กลุ่มสาระการเรียนรู้ (ฟิสิกส์) วิทยาศาสตร์ม, โรงเรียนพนัสพิทยาคาร ที่อยู่ 52 ม.6 ถนนสุขประยูร ต.กุฎโง้ง อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี 20140
งานวิจัยที่สนใจ: พลังงาน, การเปลี่ยนสถานะ การเคลื่อนที่ของสารทำงาน, กำลังไอน้ำ

รศ.พิชัย นามประกาย วท.ด.(เทคโนโลยีพลังงาน) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, E-Mail: ipicakai@gmail.com อดีตอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่อยู่ 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140
งานวิจัยที่สนใจ: Solar Radiation, Solar Energy, Solar Thermal Water Pump, Solar Energy Water Still

กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ ปร.ด. (เทคโนโลยีอุณหภาพ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, E-Mail: k_yong28@hotmail.com อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่อยู่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
งานวิจัยที่สนใจ: Drying Technology, Combustion

Article History:

Received: September 12, 2019

Revised: December 26, 2019

Accepted: December 27, 2019