

การศึกษาการหมุนเวียนของระบบหมุนเวียนไอน้ำในแนวนอน

A STUDY OF THE CIRCULATION OF STEAM CIRCULATING SYSTEM IN THE HORIZONTAL

จิรวัดน์ สิตรานนท์*, ศรีมา แจ้คำ, อังคณา มากมี, ฉัตรชัย อุ่ณวิเศษ

Jirawat Sitranon*, Sririma Jakhom, Aungkana Makmee, Chatchai Onwised

สำนักวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Siracha,
Chonburi, Thailand, 20110

*Corresponding author e-mail: jirawat_si@mott.ac.th

วันที่เข้าระบบ 19 มิถุนายน 2564

วันที่แก้ไขบทความ 29 มิถุนายน 2564

วันที่ตอบรับบทความ 29 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการหมุนเวียนของระบบหมุนเวียนไอน้ำในแนวนอน ซึ่งลักษณะการทำงานของระบบจะอาศัยความดันในการขับเคลื่อนการไหลของสารทำงาน การทำงานของระบบหมุนเวียนไอน้ำในแนวนอนประกอบด้วย 4 ขั้นตอน การให้ความร้อน การขับเคลื่อน การระบายความร้อน และการหมุนเวียน จากการทดลองพบว่าอัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำส่งผลต่อระยะเวลาในการหมุนเวียน เมื่ออัตราการไหลสูง ระบบจะใช้เวลาหมุนเวียนน้อยลง และปริมาณพลังงานความร้อนสะสมก็ลดลงตามไปด้วย สำหรับความยาวในการหมุนเวียนน้ำ 16 m ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด 87.46% โดยระยะทางที่เพิ่มขึ้นจาก 16 m. เป็น 18 m ประสิทธิภาพลดลง 13.72% และจาก 18 m เป็น 20 m ประสิทธิภาพลดลง 18.42% ดังนั้นเพิ่มระยะทางในการหมุนเวียนไอน้ำจำเป็นต้องเพิ่มความดันในระบบให้สูงขึ้นตามไปด้วย

คำสำคัญ: การหมุนเวียน, อัตราการไหลเชิงมวล, ประสิทธิภาพทางความร้อน

Abstract

The goal of this research was to study the circulation of the horizontal steam circulating system. The behavior of the system relies on pressure to drive the flow of the working fluid. The conditions to be studied are length of steam circulation. An operation of the circulation of the horizontal steam circulating system consisted of four stages: heating, pumping, cooling, and circulating. From the test, it is found that the mass flow rate of the steam affects the cycle time. When the flow rate is high, the system takes less turnover time and the amount of thermal energy stored was reduced accordingly. For a 16 m circulating length, the max thermal efficiency was 87.46, with the distance increased from 16 m to 18 m the efficiency decreased by 13.72% and the distance increased from 18 m to 20 m the efficiency decreased by 18.42%. Therefore, to increase the distance of steam circulation, it is necessary to increase the pressure in the system as well.

Keywords: Circulation, Mass flow rate, Thermal efficiency

1. บทนำ

พลังงานความร้อน เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มนุษย์ได้มาจากหลากหลายแห่ง ทั้งจากธรรมชาติและการสร้างขึ้น ผลของพลังงานความร้อนจากแหล่งต่างๆเหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสสารได้หลายชั้น เริ่มได้ตั้งแต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสสาร หรือการเปลี่ยนสถานะของสสาร มากกว่านั้น พลังงานความร้อนยังสามารถทำให้กระบวนการทางเคมีเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อีกด้วย จากการศึกษาที่ประเทศไทยมีการเจริญเติบโตทางด้านภาคอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นอย่างมากมายและต่อเนื่อง ซึ่งโรงงานแต่ละแห่งจำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตความร้อนเดือนละหลายล้านบาท จึงจำเป็นต้องมีแนวคิดในการประหยัดพลังงาน โดยการใช้หลักการการประหยัดพลังงานของโรงงาน นั่นคือ การลดใช้พลังงานลงโดยการจัดการพลังงานให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยไม่ทำให้กระบวนการผลิตลดลงและไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง เช่น การนำความร้อนสูญเสียกลับมาใช้ใหม่ โดยทั่วไปแล้วในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจขนาดใหญ่ที่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีการ

สูญเสียพลังงานทั้งในรูปของพลังงานความร้อนและพลังงานความเย็นสู่สิ่งแวดล้อม การนำพลังงานที่สูญเสียกลับมาใช้ใหม่นั้นจัดว่าเป็นหนึ่งในวิธีการลดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์อีกด้วยในหลักการทั่วไปของการนำพลังงานที่สูญเสียกลับมาใช้ใหม่นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำหลักการทางวิศวกรรมความร้อนวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบ ในเบื้องต้นนั้นมีหลากหลายวิธีที่เป็นแนวทางในการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ในหลายส่วนของอุตสาหกรรมและสามารถนำพลังงานเหล่านี้กลับเข้าสู่ระบบผลิตเช่น การอุ่นอากาศ, การอุ่นน้ำร้อนหรือการต้มน้ำต่าง ๆ ได้ โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ซึ่งจะทำให้การใช้เครื่องจักรเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม อาจมีการปล่อยแก๊สเสียอุณหภูมิหลายร้อยองศาออกสู่อากาศทุกวัน ในเชิงระบบนิเวศน์นั้นคือการทำลายสิ่งแวดล้อม ในเชิงพลังงานคือการทิ้งสิ่งของมีค่าให้สลายไปในอากาศ หากเรานำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเราเรียกว่า "อีโคโนไมเซอร์" (Economizer) ที่เหมาะสมไปติดตั้งบริเวณที่มีการปล่อยแก๊สเสีย ก่อนที่แก๊สเสียจะถูกปล่อยทิ้งสู่อากาศ แก๊สนี้ก็จะถ่ายเทความร้อนสู่ของไหลอีกตัวที่เราต้องการทำอุณหภูมิให้สูงขึ้น เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ ต่อไป การใช้เทคนิคปั๊มฟอง (Bubble pump technique) ที่ใช้ความร้อนในการขับเคลื่อนของไหลภายในท่อให้สูงขึ้น ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลจะไม่มีงานทางกลเข้ามาเกี่ยวข้องสมรรถนะของปั๊มฟอง (Bubble pump performance) จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความยาวท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง ความร้อนที่ได้รับ และคุณสมบัติของของไหลที่อยู่ภายในท่อ เป็นต้น (Srikirin, 2002) การใช้ฟองของไอน้ำเคลื่อนที่ไปตามของเหลวที่ไหล โดยความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่ 100 °C ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จะส่งผลให้อากาศภายนอกกรว้ไหลเข้าไปในรอบการหมุนเวียน ทำให้เป็นอุปสรรคในการควบแน่นของไอน้ำ (Dobriansky, 2011)

การศึกษาและออกแบบระบบหมุนเวียนสารทำงานด้วยพลังงานความร้อนระบบสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ 115 °C และมีประสิทธิภาพปั๊มน้ำสูงสุด 1.33 % ปริมาณความร้อนสะสมในถังผลิตไอน้ำร้อนเท่ากับ 878.64 kJ (อังคณา, 2559) และการศึกษาะบบหมุนเวียนสารทำงานในแนวราบด้วยพลังงานความร้อน โดยการควบคุมทิศทางการไหลของน้ำร้อนที่ไหลผ่านถังขัดตัน และไหลผ่านถังเก็บน้ำร้อน พบว่า การไหลของน้ำร้อนผ่านถังขัดตันก่อนทำให้ระบบมีความดันเพิ่มมากขึ้น และสามารถหมุนเวียนน้ำร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความที่ติดตั้งไว้ภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ดีกว่าระบบที่หมุนเวียนน้ำร้อนผ่านถังเก็บน้ำร้อนก่อน (อมร, 25562) ต่อมาได้มีการพัฒนาปรับปรุงให้สารทำงานที่หมุนเวียนเปลี่ยนสถานะจากการหมุนเวียนของน้ำร้อน ให้หมุนเวียนไอน้ำแทน สามารถทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงขึ้น แต่ระบบยังไม่สามารถหมุนเวียนน้ำร้อนได้ในระยะทางที่เพิ่มขึ้นได้

(จิรวัดน์, 2562) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาระยะทางในการหมุนเวียนความร้อนในแนวราบของระบบที่ส่งถ่ายความร้อนจากแหล่งพลังงานไปยังอีกแหล่ง ที่ระยะทาง 16, 18 และ 20 m โดยคำนึงถึงพลังงานที่ใช้ในการหมุนเวียน และพลังงานความร้อนที่ได้รับ

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาการหมุนเวียนความร้อนของระบบหมุนเวียนไอน้ำในแนวราบ
- 2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนที่ความยาวในการหมุนเวียนความร้อนเพิ่มขึ้น

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ปริมาณความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อน

$$Q_s = m_{w,s} \times C_{p,w} \times (T_{2,s} - T_{1,s}) \quad (1)$$

เมื่อ Q_s = ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังเก็บน้ำร้อน (kJ)

$m_{w,s}$ = มวลน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (kg)

$C_{p,w}$ = ความร้อนจำเพาะของสารตัวกลางน้ำ (kJ/kg °C)

$T_{2,s}$ = อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่เวลาสุดท้าย (°C)

$T_{1,s}$ = อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่เวลาเริ่มต้น (°C)

3.1.2 ประสิทธิภาพของความร้อนของระบบ

$$\eta_t = \frac{Q_s}{Q_{input}} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ η_t = ประสิทธิภาพความร้อนของระบบ (%)

Q_s = ปริมาณความร้อนสะสมภายในถังผลิตไอน้ำร้อน (kJ)

Q_{input} = ปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ (kJ)

3.1.3 ความดันที่ใช้ในการหมุนเวียนไอน้ำ (Perry *et al.*, 1997, Sitranon *et al.*, 2014)

$$P_{system} = P_{air} + P_{vapor} \quad (3)$$

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

$$P_{vapor} = 133.32 \times 10^{\left(8.07131 - \frac{1730.63}{T_{vapor} + 233.426}\right)} \quad (5)$$

เมื่อ P_{system} = ความดันรวมในระบบ (kPa)
 P_{air} = ความดันของอากาศในระบบ (kPa)
 P_{vapor} = ความดันของไอน้ำในระบบ (kPa)
 m_{air} = มวลอากาศในระบบ (kg)
 V_{air} = ปริมาตรอากาศในระบบ (m³)
 R_{air} = ค่าคงที่ของแก๊ส (kJ/kg °C)
 T_{air} = อุณหภูมิอากาศในระบบ (°C)
 T_{vapor} = อุณหภูมิไอน้ำในระบบ (°C)

3.2 หลักการทำงานของระบบหมุนเวียนไอน้ำ

3.2.1 ช่วงให้ความร้อน เมื่อถึงผลิตไอน้ำร้อน ได้รับความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า (heater) ทำให้น้ำภายในถังอุณหภูมิสูงขึ้น ความดันก็สูงขึ้นตามอุณหภูมิจนกระทั่งน้ำในถังผลิตไอน้ำมีอุณหภูมิ 100 °C ไอน้ำจึงเริ่มเคลื่อนที่ไปยังถังความดัน (Pressure tank) เพื่อเตรียมพร้อมในการขับเคลื่อนน้ำจากถังความดัน

3.2.2 ช่วงขับเคลื่อนน้ำ เมื่อไอน้ำในถังผลิตไอน้ำร้อนเดือดจนกลายเป็นไอ ไอน้ำจะที่ผ่านท่อไอน้ำไปยังถังความดันซึ่งในถังความดันจะมีอากาศอยู่ภายในถัง เมื่อได้รับความร้อนจากไอน้ำจะทำให้ความดันภายในถังความดันสูงขึ้นมากกว่าความดันในถังผลิตไอน้ำร้อน จนสามารถดันน้ำในถังความดันเข้าสู่ถังแลกเปลี่ยนความร้อนได้

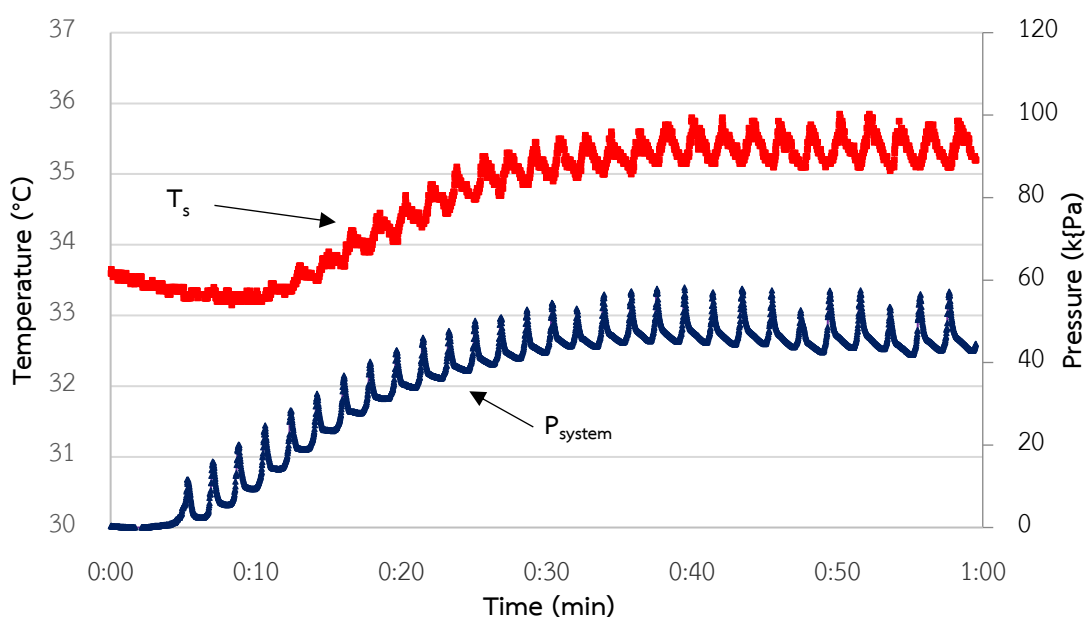
3.2.3 ช่วงหล่อเย็น เมื่อน้ำไหลออกจากถังความดัน เข้าสู่ถังแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการหล่อเย็นจนน้ำร้อนกลายเป็นน้ำเย็นจนทำให้อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าถังผลิตไอน้ำร้อนลดลงแต่ยังคงสูงกว่าความดันภายในถังผลิตไอน้ำร้อน

3.2.4 ช่วงหมุนเวียนน้ำ หลังจากทีน้ำผ่านถังแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วอุณหภูมิน้ำจะลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำร้อนแต่ความดันยังคงสูงกว่าความดันภายในถังผลิตไอน้ำร้อน ทำให้น้ำสามารถหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังผลิตไอน้ำร้อนได้ เป็นครบรอบการทำงานและเริ่มต้นทำงานในรอบถัดไป

3.3 การทดลอง โดยการเติมน้ำ 1 ลิตร ในถังความดันและเติมน้ำในถังผลิตไอน้ำร้อนให้เต็ม ทำการทดลองที่อุณหภูมิถังผลิตไอน้ำ 115 °C ที่ระยะความยาวในการหมุนเวียนไอน้ำ 16, 18 และ 20 m ในระยะเวลา 1 hr บันทึกความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าระบบ และบันทึกข้อมูลความดันและอุณหภูมิจากการติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ วิเคราะห์ข้อมูลที่บันทึก

4. ผลการวิจัย

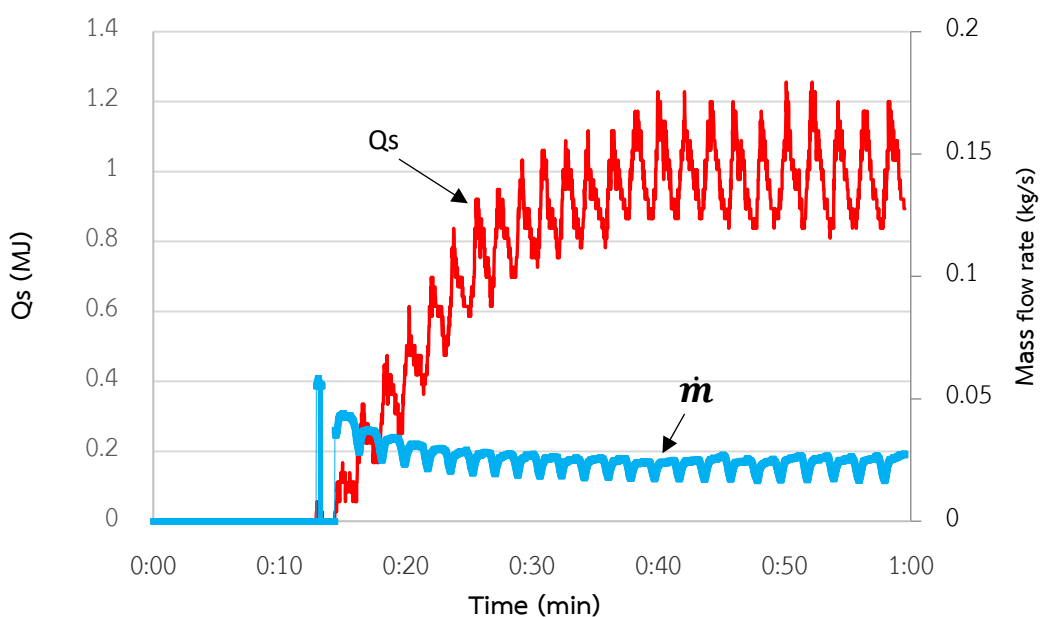
ความดันที่ใช้ในการหมุนเวียนไอน้ำจะเพิ่มสูงขึ้น ในลักษณะฟันปลา เนื่องจากอุณหภูมิของภายในถังขับเคลื่อนสูงขึ้นจากการรับความร้อนของไอน้ำเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและการผสมกันระหว่างไอน้ำและอากาศ ดังสมการที่ 3 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังนั้นความดันก็สูงขึ้นตาม ดังสมการที่ 4 และ 5 เมื่อความดันที่สูงขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้นหมุนเวียนผ่านถังเก็บความร้อน โดยมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนติดตั้งอยู่ภายในถัง ทำให้อุณหภูมิไอน้ำที่อยู่ภายในถังสูงขึ้นจากการแลกเปลี่ยนความร้อนที่หมุนเวียนผ่าน ดังภาพที่ 1



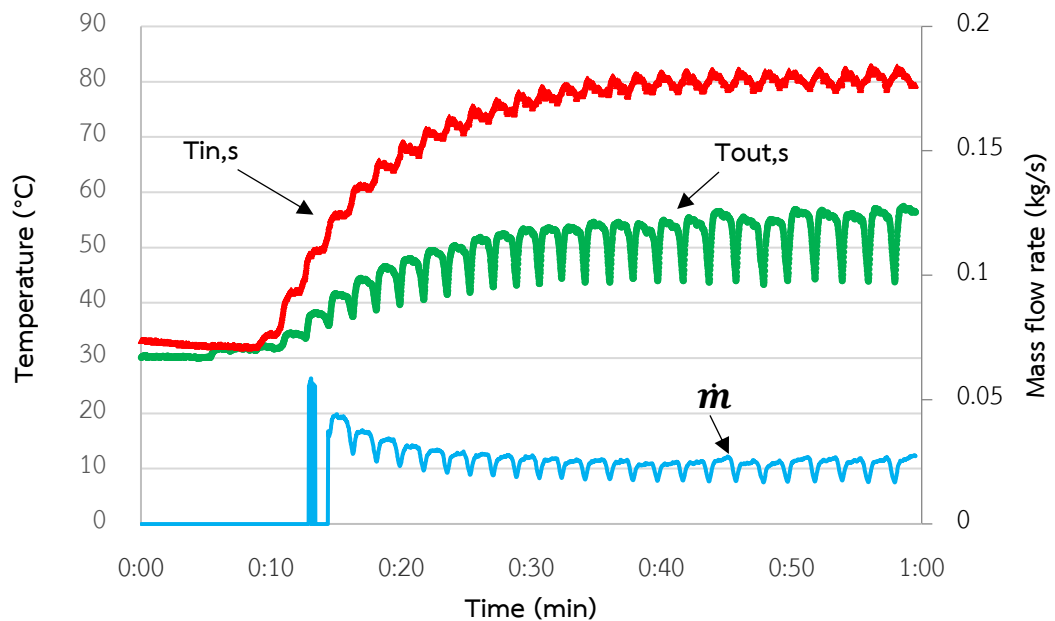
ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิถังเก็บน้ำร้อนกับความดันของระบบ

ปริมาณความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นภายในถังเก็บน้ำร้อนจะค่อยๆสูงขึ้นตามลำดับ จากการหมุนเวียนไอน้ำ และอุณหภูมิของถังเก็บน้ำร้อนที่สูงขึ้น แต่เมื่อไม่มีการหมุนเวียนของไอน้ำ เนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นไม่สามารถเอาชนะ ความดันภายในถังผลิตไอน้ำได้ ระบบจึงยังไม่เริ่มทำงาน การทำงานของระบบที่หมุนเวียนไอน้ำ จากอัตราการไหลของมวลไอน้ำ พบว่ามีอัตราการไหลเริ่มต้นสูง แต่ปริมาณความร้อนค่อยๆเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในช่วงเริ่มต้นมีค่าไม่มาก หลังจากนั้นอัตราการไหลค่อยลดลงจนอยู่ในระดับคงที่ แต่มีค่าขึ้นลงอยู่ในช่วงจังหวะในการทำงานของระบบ ซึ่งมีลักษณะคล้ายฟันปลา เหมือนกับความดัน ดังภาพที่ 2

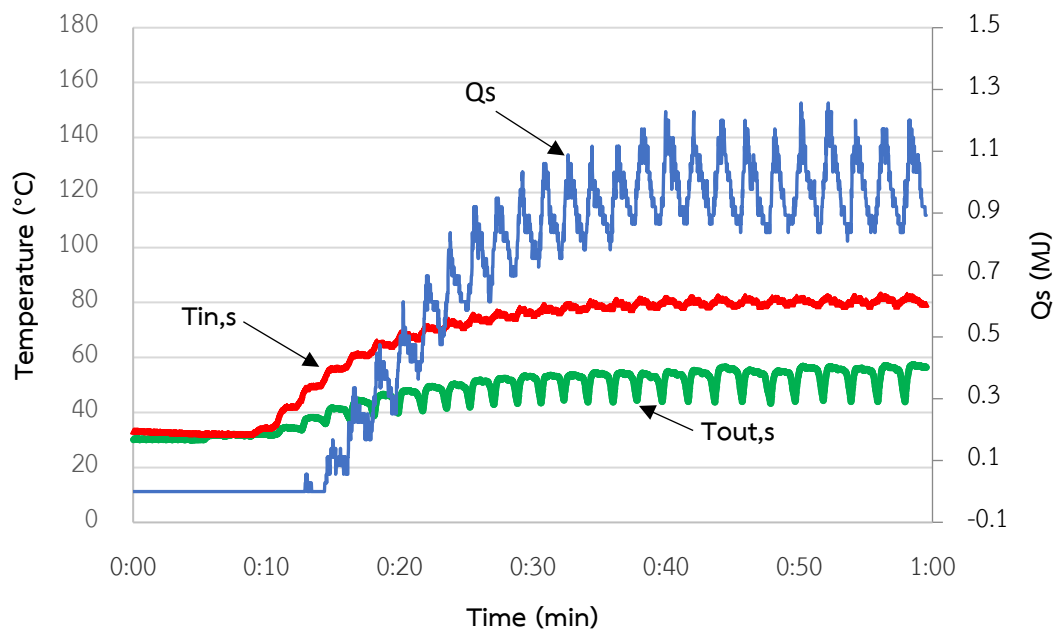
อุณหภูมิทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกับทางออก ในช่วงเริ่มต้น หลังจากนั้นจะมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูงขึ้น จนอุณหภูมิด้านทางเข้ามีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เกิดการผสมกันภายในถังแช่ตัน และอัตราการไหลที่เกิดขึ้นส่งผลให้ผลต่างของอุณหภูมิทางเข้ากับทางออกมีค่าความแตกต่างกัน ดังภาพที่ 3 ซึ่งจะแปรผกผันกันตามอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังสมการที่ 1 และส่งผลกระทบโดยตรงกับปริมาณความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อน ดังภาพที่ 4 อุณหภูมิไอน้ำทางเข้าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถังเก็บความร้อนจนมีค่าลดลงเท่าอุณหภูมิทางออก เป็นจังหวะรอบการทำงานที่มีความถี่ตามความดันที่ใช้ในการหมุนเวียนไอน้ำ



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของปริมาณความร้อนในถังเก็บน้ำร้อน กับอัตราการไหล



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกถังเก็บน้ำร้อน กับอัตราการไหล

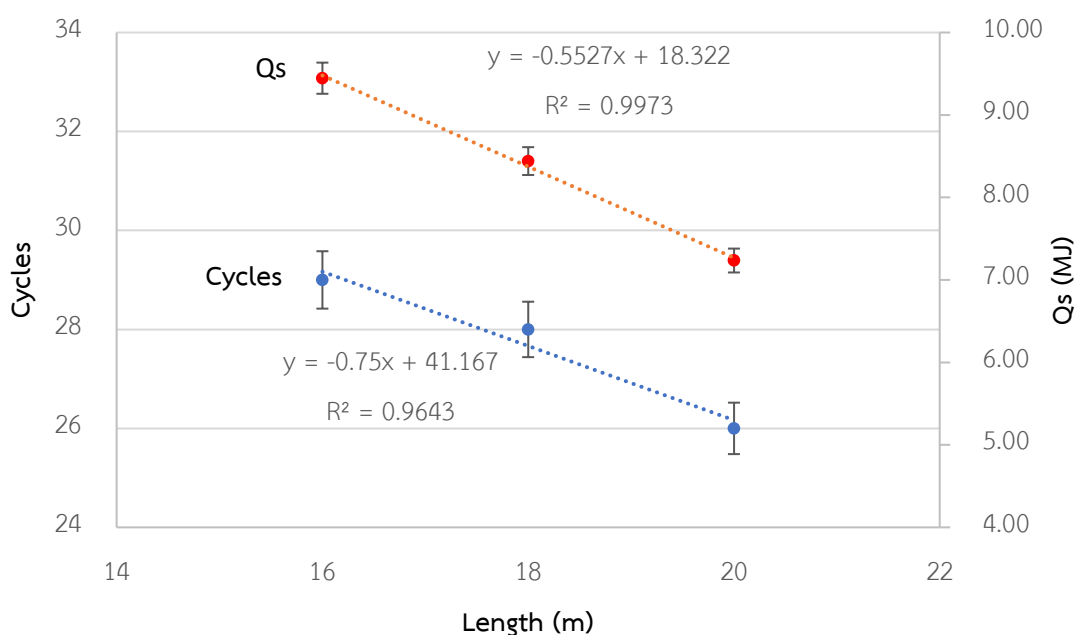


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกถังเก็บน้ำร้อน
กับปริมาณความร้อนในถังเก็บน้ำร้อน

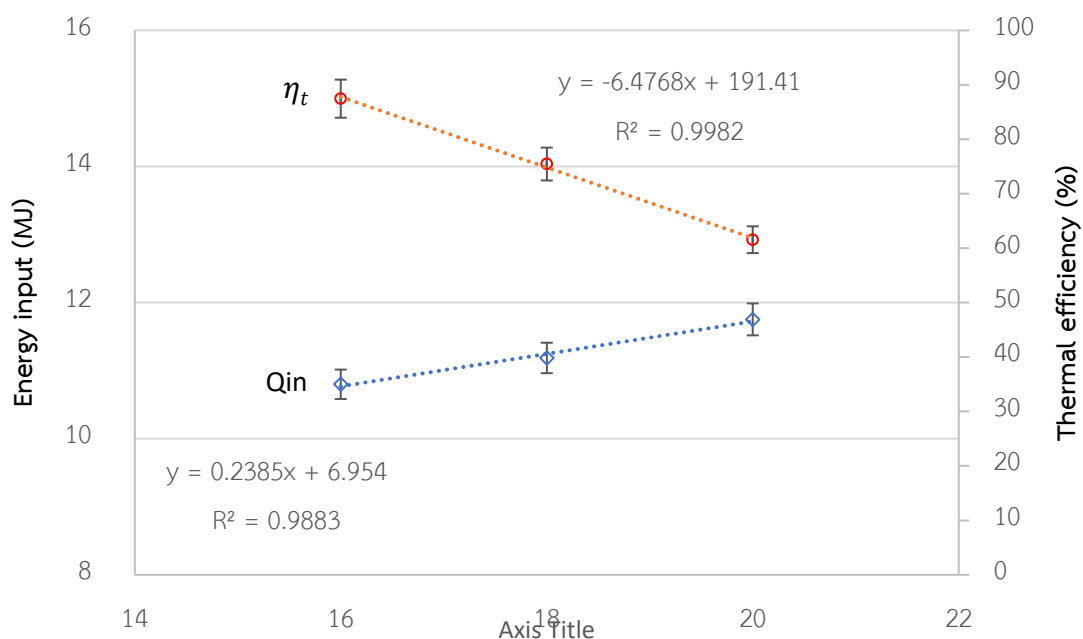
เมื่อระบบหมุนเวียนไอน้ำมีระยะทางในการหมุนเวียนมากขึ้น ก็จะทำให้เกิดความเสียดทาน และสูญเสียความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นในท่อที่ใช้หมุนเวียนไอน้ำ จึงทำให้ระบบใช้เวลาหมุนเวียนมากขึ้น

ในแต่ละรอบ ส่งผลในจำนวนรอบลดลง ดังนั้นจำนวนรอบในการหมุนเวียนที่เกิดขึ้นเป็นจังหวะ จะสอดคล้องกับปริมาณความร้อนสะสมภายในถังเก็บความร้อน เนื่องจากความถี่ที่ระบบหมุนเวียนไอน้ำลดลง ถังเก็บความร้อนก็จะได้รับความร้อนลดลงตามจำนวนรอบ ที่ผลต่างของอุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากัน ดังภาพที่ 5

ระยะทางในการหมุนเวียนไอน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 6 ระบบต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการหมุนเวียน เนื่องจากต้องสร้างความดันให้สามารถเอาชนะความดันตกคร่อม และการสูญเสียความร้อนในท่อส่งที่ยาวมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามปริมาณความร้อนสะสมไม่ได้เพิ่มตามพลังงานที่ใช้ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนจึงลดลงตามความยาวที่เพิ่มขึ้น ดังสมการที่ 2 ที่ระยะทาง 16 m จะได้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด 87.46%



ภาพที่ 5 ผลของจำนวนรอบในการหมุนเวียน และปริมาณความร้อนในถังเก็บน้ำร้อน
ที่ระยะความยาวในการหมุนเวียนน้ำต่างๆ



ภาพที่ 6 ผลของประสิทธิภาพทางความร้อน และพลังงานที่ป้อนเข้าระบบ
ที่ระยะความยาวในการหมุนเวียนน้ำต่างๆ

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการหมุนเวียนความร้อนโดยใช้สารทำงานเป็นไอน้ำ โดยอัตราการไหลของไอน้ำเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการหมุนเวียนไอน้ำ และส่งผลกระทบต่อปริมาณความร้อนสะสมภายในถังเก็บความร้อนโดยตรง ส่วนประสิทธิภาพทางความร้อนมีค่าลดลงตามระยะทางในการหมุนเวียนน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยระยะทางที่เพิ่มขึ้นจาก 16 m เป็น 18 m ประสิทธิภาพลดลง 13.72% และจาก 18 m เป็น 20 m ประสิทธิภาพลดลง 18.42% ยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นอัตราการลดลงของประสิทธิภาพก็จะสูงขึ้นตาม ดังนั้นการเพิ่มระยะทางในการหมุนเวียนจึงควรหาวิธีเพิ่มความดันภายในระบบให้ควบคู่กับระยะทางด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- จิรววัฒน์ สิตรานนท์, อมร จิตรวิโรจน์, พิชัย นามประกาย, และ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. (2562). การศึกษาระบบการส่งถ่ายความร้อนโดยใช้ไอน้ำเป็นสารทำงานหมุนเวียนในแนวนราบ. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**, 9(3), 238-252.
- อมร จิตรวิโรจน์, จิรววัฒน์ สิตรานนท์, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์, ศรีมา แจ้คำ และ กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์. (2562, มิถุนายน). **การศึกษาระบบหมุนเวียนความร้อนในแนวนราบ**. ในการประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 12, โรงแรมชลจันทร์พัทยารีสอร์ท, ชลบุรี.
- อังคณา มากมี, จิรววัฒน์ สิตรานนท์, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ และวริภรณ์ รัตนิสสัย. (2559, มิถุนายน). **การศึกษาระบบหมุนเวียนสารทำงานด้วยพลังงานความร้อน**. ในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12, โรงแรมวังจันทร์ริเวอร์วิว, พิษณุโลก.
- Dobriansky, S Y. (2011). Concepts of self-acting circulation loops for downward heat transfer (reverse thermosiphons). **Energy Conversion and Management**, 52, 414-25.
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (1997). **Perry's chemical engineers' handbook** (7th edition). New York: McGraw-Hill Inc.
- Sitranon, J., Lertsatitthanakorn, C., Namprakai, P., Namprakai, N., Suparos, T., & Roonprasang, N. (2014). Performance enhancement of solar water heater with a thermal water pump. **Journal of Energy Engineering (ASCE)**, 141(4), 0401403601-10.
- Srikirin, P. (2002). **A study of a Diffusion Absorption Refrigerator**. (Doctoral dissertation), Sirinthorn International Institute of Technology, Bangkok.