

การศึกษาอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ส่งผลต่อความดันสุญญากาศของปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ
Study of Temperature and Amount of Cooling Water Affecting to Vacuum Pressure
of Steam Water Pump

ฉัตรชัย อุ่นวิเศษ^{1*}, จิรวัดน์ สิตรานนท์¹ และกิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์²
Chatchai Oonwised^{1*}, Jirawat sitranon¹ and Kittiwoot Sutthivirode²

¹สาขาเทคโนโลยีพลังงาน, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 20110

²ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 10800

¹Energy Technology Department, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok 20110

²Department of Teacher Training in Mechanical Engineering, The Faculty of Technical Education,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 10800

* Corresponding author, e-mail: chatchai.lsd@gmail.com, Tel.: 086-3697058

Received: 2 August 2021, Revised: 27 August 2021, Accepted: 12 September 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

The purpose of the research is to study the mechanism of single-cycle steam water pump which uses the same condenser and storage tank. The study evaluates effect of temperature and volume of cooling water on the vacuum pressure. The experiment consisted of different conditions of cooling temperature with the condenser tank volume 204 Liter and steam tank volume 17 Liter at 2 m. The cooling temperature and volume of cooling water were at 15, 20, 25, and 30 °C and 2, 3, 4, and 5 Liter, respectively at suction heads 2 m. The results show that, the higher vacuum pressure in condenser tank is achievable by decreasing cooling water temperature and increase the volume of cooling water. Furthermore, the mixed temperature at 5 Liter of cooling water under cooling water temperature 15 °C is 64.36 °C resulting in the highest vacuum pressure obtained up to 74.96 kPa. Therefore, reducing the cooling temperature and increasing the amount of cooling water result in a higher vacuum pressure. Increasing the amount of cooling water resulted in three times the effect on mixing temperature than reducing the cooling temperature. This will result in increasing suction height of the steam water pump.

Keywords: Mixing Temperature, Vacuum Pressure, Cooling Water Temperature, Cooling Water Amount, Steam Water Pump

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบการทำงานรอบเดียว ซึ่งใช้ถังควบแน่นและถังเก็บน้ำเป็นถังเดียวกัน โดยศึกษาอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ส่งผลต่อความดันสุญญากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังควบแน่น (อุณหภูมิผสม) โดยถังควบแน่นปริมาตร 204 ลิตร และถังผลิตไอน้ำปริมาตร 17 ลิตร ทำการทดลองที่ระดับความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของระบบ และปรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 15, 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำหล่อเย็น 2, 3, 4 และ 5 ลิตร ที่ความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร ตามลำดับ พบว่า การทำให้แรงดันสุญญากาศในถังควบแน่นสูงขึ้นได้โดยการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นและเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็น คืออุณหภูมิผสมในถังควบแน่นจากน้ำหล่อเย็น 5 ลิตร ที่ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 15 องศาเซลเซียส คือ 64.36 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แรงดันสุญญากาศสูงสุดที่ได้คือ 74.96 kPa ดังนั้นการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นส่งผลให้ความดันสุญญากาศมีค่ามากขึ้นตาม โดยการเพิ่มปริมาณของน้ำหล่อเย็นส่งผลต่ออุณหภูมิผสมมากกว่าการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นถึง 3 เท่า ซึ่งจะส่งผลให้ความสูงในการสูบน้ำของปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: อุณหภูมิผสม ความดันสุญญากาศ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ปริมาณน้ำหล่อเย็น ปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ

บทนำ

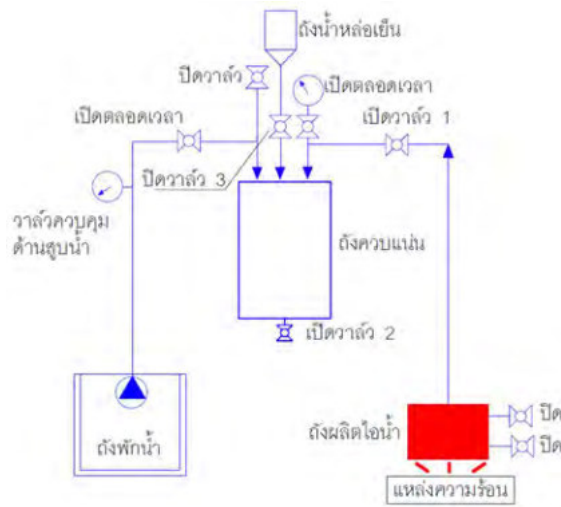
ในปัจจุบันปัญหาที่พบมากที่สุดของเกษตรกรคือการขาดการชลประทานที่ดี สำหรับการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ นอกจากต้องพึ่งปริมาณน้ำฝนที่ตกโดยธรรมชาติซึ่งมีความไม่แน่นอน เกษตรกรยังต้องมีการสูบน้ำเพื่อใช้การเกษตรอยู่ตลอด โดยทั่วไปในปัจจุบันจะมีเครื่องสูบน้ำ 3 ประเภทคือ เครื่องสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำใช้เครื่องยนต์พลังงานฟอสซิล และเครื่องสูบน้ำใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ในการสูบน้ำขึ้นจากบ่ออยู่ตลอดเวลา เครื่องสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้ายังประสบปัญหาเรื่องสายส่งไฟฟ้าที่ยังจำกัดพื้นที่ซึ่งในถิ่นทุรกันดารที่ไม่มีสายส่งไฟฟ้ายังประสบปัญหาในปัจจุบัน เครื่องสูบน้ำใช้เครื่องยนต์พลังงานฟอสซิล ยังก่อให้เกิดมลภาวะให้กับโลก ส่วนเครื่องสูบน้ำที่ใช้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ยังมีต้นทุนต่อหน่วยในราคาสูงอยู่ การสูบน้ำเพื่อการเกษตรสำหรับประเทศไทย ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการจะต้องมีน้ำเพียงพอที่จะทำการเพาะปลูกได้ตลอดปี คือต้องมีน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เมตร ต่อการเพาะปลูก 1 ไร่ โดยประมาณ [1] ระบบปั๊มน้ำพลังงานความร้อน (Thermal water pump) อาศัยหลักการของการปั๊มน้ำ และการไหลเวียนน้ำโดย การประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนมาใช้ในการปั๊มน้ำและการหมุนเวียนของไหลด้วยกำลังไอน้ำ สามารถรับและคายความร้อนได้ดี โดยการหมุนเวียนน้ำร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน [2] ปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดยใช้น้ำหล่อเย็นโดยตรง ซึ่งเป็นระบบปั๊มน้ำพลังงานความร้อนประเภทหนึ่ง จึงเป็นทางเลือกใหม่ในการสูบน้ำ โดยหลักการการทำงานที่เรียบง่ายขึ้นส่วนน้อยและใช้งานง่าย การก่อสร้างที่ไม่ยุ่งยาก ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวเมื่อเทียบกับปั๊มลูกสูบ ช่วยประหยัดพลังงานโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งเพื่อผลิตไอน้ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ใช้น้ำเป็นของเหลวเป็นสารใช้งานของระบบ เราอาจใช้ปั๊มนี้เพื่อผลิตน้ำร้อนฤดูหนาวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อใช้พลังงานมาจากวัสดุที่เหลือใช้ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ปั๊มขนาด 10 ลิตรนี้ ระบบเปรียบได้กับระบบ von OPPEN และ CHANDWALKER ถ้าใช้วัสดุเหลือใช้มาทำเชื้อเพลิง ปั๊มชนิดนี้อาจประหยัดกว่า [3] ปัจจุบันได้มีการสร้างเครื่องต้นแบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบอัตโนมัติขึ้นมาโดยจะมีการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำหลายรอบการทำงาน หลายรูปแบบ ขนาดถังเล็กต้องใช้พลังงานความร้อนค่อนข้างสิ้นเปลือง ปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์ 3,000 วัตต์ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ป้อนระบบ ทำให้ระบบสูบน้ำได้มากขึ้น กำลังไฟฟ้าสูบน้ำได้ 227 ลิตร และเพิ่มความสูงในการสูบน้ำทำให้ประสิทธิภาพปั๊มสูงขึ้นตามทำได้สูงสุดที่ 4.85 เมตร [4] ได้มีการทดสอบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำพลังงาน

ความร้อนจากถ่านไม้ระบบสามารถหมุนเวียนน้ำได้ 9.5 ลิตรต่อรอบขนาดถังควบแน่นน้ำขนาด 9 ลิตร ทำการทดลองภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยสามารถสรุปได้คือ บั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำพลังงานความร้อนจากถ่านไม้สามารถผลิตน้ำร้อนได้เท่ากับ 66.5 ลิตร อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้เฉลี่ย 41.76 องศาเซลเซียส โดยระยะเวลาแต่ละรอบมีความแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับระบบมีความแตกต่างกัน และเนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับระบบมีความไม่สม่ำเสมอทำให้ปริมาณความร้อนที่ได้ไม่คงที่ส่งผลให้การผลิตไอน้ำไม่เพียงพอรวมถึงระยะเวลาต่อรอบเพิ่มขึ้นด้วย [5] ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของระบบ คือ อุณหภูมิภายในถังควบแน่น และอุณหภูมิที่เติมให้แก่ถังผลิตไอน้ำ ซึ่งจำนวนรอบการทำงานของระบบจะเพิ่ม และลดการใช้พลังงานจากฮีตเตอร์ ถ้าอุณหภูมิที่เติมเข้าไปมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิน้ำสิ่งแวดล้อม [6] แต่ระดับความสูงของระบบก็ยังไม่เพิ่มขึ้น ระดับความสูงในการสูบน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้จำนวนรอบในการสูบน้ำลดลง เมื่อจำนวนรอบลดลงปริมาณน้ำที่สูบได้ทั้งหมดก็ลดลงตาม ส่วนประสิทธิภาพปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำจะเพิ่มขึ้นตามพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ และตามความสูงที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มระดับความสูงในการสูบน้ำจะส่งผลอย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำให้สูงขึ้น [7] ได้ทดลองผลของการประยุกต์ปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดยทำงานรอบเดียว ใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวลโดยเฉพาะเศษไม้ที่ได้จากการตัดไม้ โดยใช้ความสูงในการสูบน้ำที่ระดับความสูงด้านสูบน้ำที่ 3 เมตร ใช้น้ำหล่อเย็นปริมาณ 3 ลิตร ปริมาตรถังสูบน้ำที่ 0.204 ลูกบาศก์เมตร จะพบว่ามีประสิทธิภาพพร้อมใช้งาน และสามารถสูบน้ำได้ปริมาณ 203 ลิตรต่อรอบ ความดันสูญญากาศที่ใช้ในการสูบน้ำสามารถทำได้ถึง 120 กิโลปาสคาล การทำงานของปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำใช้ระยะเวลาในการทดลอง 1.15- 2 ชั่วโมง และสามารถนำน้ำไปใช้งานหรือปล่อยใส่ถังเก็บน้ำต่อไปเพื่อรอการใช้งานได้ ใช้เวลาในการทดลองนาน เนื่องจากต้องทำให้อุณหภูมิถังควบแน่นมีอุณหภูมิถึง 100 องศาเซลเซียส และหล่อเย็นด้วยอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ความดันสูญญากาศที่เหมาะสม สามารถเอาชนะความสูงในการสูบน้ำได้ [4]

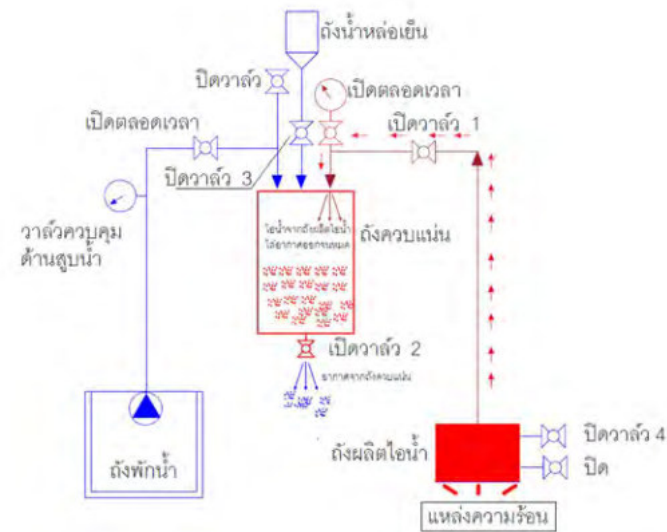
จากปัญหาดังกล่าวระบบไม่สามารถสูบน้ำที่ความสูงมากขึ้นได้ เพื่อให้ทำให้อุณหภูมิในถังควบแน่นในขณะเกิดความดันสูญญากาศลดลง และทำให้เกิดความดันสูญญากาศเพิ่มขึ้น เพื่อเอาชนะความสูงในการสูบน้ำได้ตามที่ต้องการ ดังนั้น ในการวิจัยนี้จึงทำการทดลองใช้น้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ และปริมาณน้ำหล่อเย็นที่แตกต่างกัน

หลักการการทำงานของระบบปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ

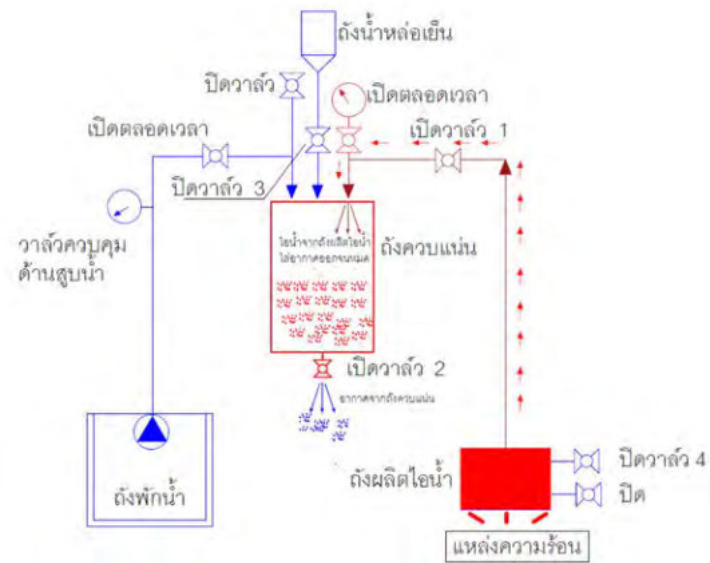
หลักการการทำงานของระบบปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบการทำงานรอบเดียว 1. ช่วงผลิตความร้อนและขับดันอากาศ เริ่มต้นเปิด วาล์วตัว ที่ 1 กับ วาล์วตัวที่ 2 และปิด วาล์วตัวที่ 3 เมื่อน้ำในถังผลิตไอน้ำซึ่งบรรจุน้ำ 3 ลิตร ได้รับความร้อนจาก แก๊สหู้งต้ม จนกระทั่งมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะเกิดไอน้ำขึ้นภายในถังผลิตไอน้ำ และเคลื่อนผ่านท่อส่งไอน้ำ และ วาล์วตัวที่ 1 ไปยังด้านบนของถังควบแน่น และขับดันอากาศออกทางด้านล่างผ่านวาล์วตัวที่ 2 ดังภาพที่ 1(a) 2. ช่วงระบายไอ เมื่อน้ำที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึง 100 องศาเซลเซียส ไอน้ำจะเข้ามาแทนที่อากาศภายในถังควบแน่นจนอากาศไหลผ่านวาล์ว 2 จนอากาศไหลออกหมดเนื่องจากที่อุณหภูมิเท่ากันไอน้ำจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ จึงลอยอยู่ที่สูงและไล่อากาศออกทางด้านล่างของถังควบแน่น ดังนั้นภายในถังควบแน่นจะมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ดังภาพที่ 1(b) 3. ช่วงหล่อเย็น เมื่ออุณหภูมิภายในถังควบแน่นเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส จะไม่มีอากาศเหลืออยู่ภายใน เติมน้ำหล่อเย็นที่ระดับความสูงมากกว่าในถังหล่อเย็นที่เตรียมไว้ก็จะถูกเปิดให้ไหลเข้าสู่ถังควบแน่นด้วยค่าแรงโน้มถ่วงโลก ผ่านวาล์วตัวที่ 3 ดังภาพที่ 1(c) 4. ช่วงสูบน้ำ เมื่อน้ำหล่อเย็นไหลเข้าถังควบแน่นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีไอน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจึงเกิดการควบแน่นภายในถังจนเกิดเป็นสูญญากาศ และเริ่มสูบน้ำจากถังพักน้ำขึ้นมายังถังควบแน่นเพื่อนำไปใช้งานหรือปล่อยใส่ถังเก็บน้ำต่อไปเพื่อรอการใช้งานได้ดังภาพที่ 1(d)



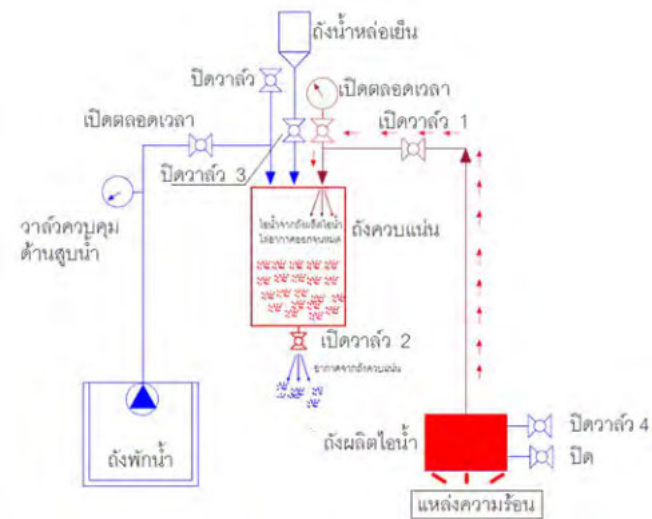
ภาพที่ 1 (a) ช่วงผลิตความร้อนและขับดันอากาศ



ภาพที่ 1 (b) ช่วงระบายไอน้ำ



ภาพที่ 1 (c) ช่วงหล่อเย็น



ภาพที่ 1 (d) ช่วงสูบน้ำ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณความร้อนที่จ่ายให้ระบบ [8]

$$Q = mC_p\Delta T \quad (1)$$

เมื่อ

- Q = ปริมาณความร้อน (กิโลจูล)
m = มวลของน้ำ (กิโลกรัม)
C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)
ΔT = อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป (องศาเซลเซียส)

สมดุลพลังงานในถังขั้วควบแน่นสามารถหาได้จากสมการ [9]

$$m_{v,LT}(h_{g,100} - h_{f,Tmix}) + m_{w,LT}C_{p,w,LT}(100 - T_{mix}) = m_c(h_{f,Tmix} - h_{f,cw}) + m_e h_{fg,Tmix} \quad (2)$$

เมื่อ

- m_{v,LT} = มวลของไอน้ำภายในถังควบแน่น (กิโลกรัม)
h_{g,100} = เอนทัลปีของไอน้ำภายในถังควบแน่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
h_{f,Tmix} = เอนทัลปีของน้ำภายในถังควบแน่นที่อุณหภูมิ T_{mix} (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
h_{f,cw} = เอนทัลปีของน้ำหล่อเย็น (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
h_{fg,Tmix} = ค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอที่อุณหภูมิ T_{mix} (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
T_{mix} = อุณหภูมิผสมภายในถังควบแน่น (องศาเซลเซียส)
m_c = มวลของน้ำหล่อเย็น (กิโลกรัม)
m_e = มวลของน้ำที่ระเหยเป็นไอภายในถังควบแน่น (กิโลกรัม)
m_{w,LT} = มวลของน้ำในถังควบแน่น (กิโลกรัม)
C_{p,w,LT} = ค่าความจุความร้อนของน้ำภายในถังควบแน่น (กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)

วัตถุประสงค์

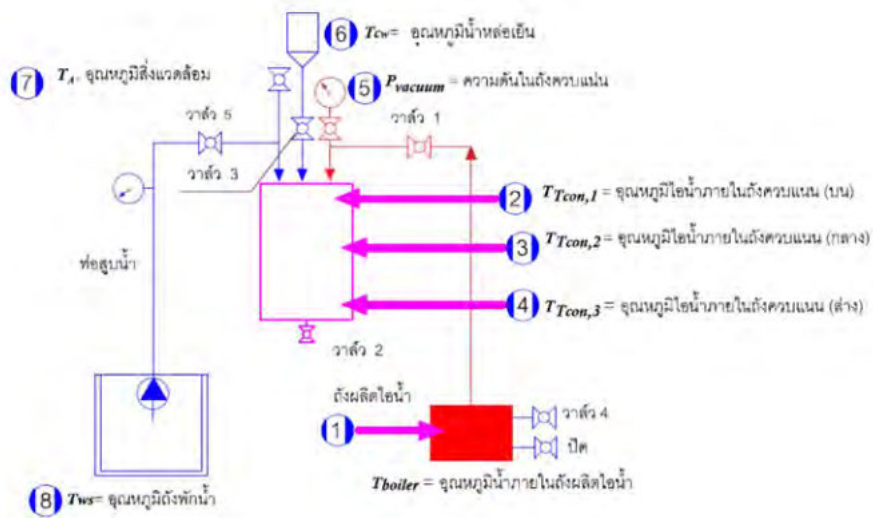
เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผสมและความดันสุญญากาศภายในถังควบแน่นของปั๊มสุบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบการทำงานรอบเดียว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ที่เอาชนะความสูงในการสูบน้ำของปั๊มสุบน้ำด้วยกำลังไอน้ำที่ความสูงตามความลึกของบ่อน้ำได้

วิธีการวิจัย

ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปั๊มสุบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบการทำงานรอบเดียว ได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อม, อุณหภูมิถังควบแน่น, อุณหภูมิถังผลิตไอน้ำ, อุณหภูมิถังพักน้ำ และความดันภายในถังควบแน่น โดยมีการปฏิบัติงานในการทดลองปั๊มสุบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ โดยใช้ น้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ และปริมาณที่แตกต่างกัน ตามลำดับดังนี้ 1. ถังควบแน่น/ถังเก็บน้ำ ปริมาตรในการบรรจุน้ำ 204 ลิตร 2. ถังผลิตปริมาตรในของถัง 17.18 ลิตร 3. ถังพักน้ำ ปริมาตรในการบรรจุน้ำ 265.9 ลิตร 4. ท่อส่งไอน้ำขนาด ½ นิ้ว 5. ท่อสูบน้ำขนาด 1 ½ นิ้ว และ 6. วาล์วควบคุมแรงดัน



ภาพที่ 2 โครงสร้างอุปกรณ์การทดลอง

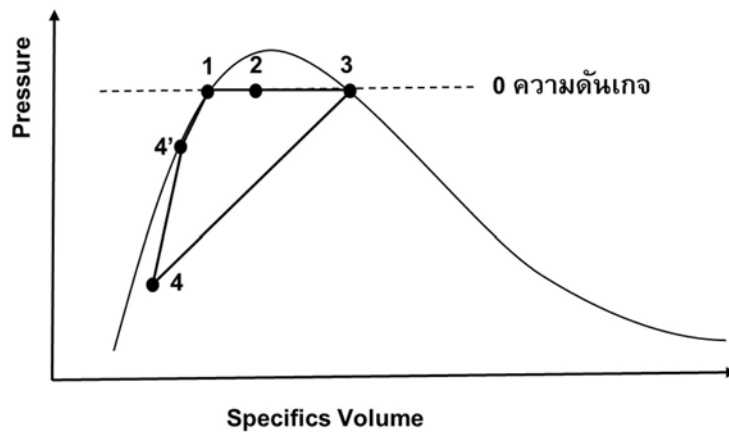


ภาพที่ 3 จุดวัดอุณหภูมิ

- 1) ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบด้วยชุดเตาสำหรับให้ความร้อนแก่น้ำ ถังควบแน่น ถังพักน้ำและถังผลิตไอน้ำตามโครงสร้างอุปกรณ์การทดลองตามภาพที่ 2 และจุดวัดอุณหภูมิตามภาพที่ 3
- 2) ติดตั้งท่อส่งไอน้ำที่อุณหภูมิสูงต่าง ๆ รวมทั้งสายวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความดัน
- 3) ติดตั้งเครื่องมือบันทึกอุณหภูมิและความดัน
- 4) ติดตั้งท่อทางด้านสูบน้ำที่ระดับความสูงที่ 2 เมตร
- 5) เตรียมน้ำเข้าถังพักน้ำ (แหล่งน้ำ) ปริมาณ 260 ลิตร
- 6) เติมน้ำเข้าถังผลิตไอน้ำปริมาณ 3 ลิตร ปิดวาล์วทั้งระบบ
- 7) เติมน้ำหล่อเย็นไว้ที่ถังหล่อเย็นปริมาณ 2 ลิตร อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส
- 8) เติมน้ำเข้าไปในท่อสูบน้ำที่ฟุตวาล์วให้เต็มเพื่อเป็นน้ำล่อ
- 9) ให้ความร้อนกับระบบโดยใช้แก๊สหุงต้ม เพื่อต้มน้ำที่ถังผลิตไอน้ำระหว่างนี้ต้องเปิดวาล์วที่และวาล์วที่ 2 ที่ด้านล่าง ถังควบแน่นไว้ตลอดเพื่อไล่อากาศภายในถังควบแน่น
- 10) รอจนอุณหภูมิไอน้ำภายในถังควบแน่นเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส
- 11) ปิดวาล์วที่ 1 จากถังผลิตไอน้ำเพื่อไม่ให้ไอน้ำเข้าถังควบแน่นอีก
- 12) เปิดวาล์วที่ 4 ถังผลิตไอน้ำเพื่อระบายไอน้ำจากถังผลิตไอน้ำ
- 13) ปิดวาล์วที่ 2 ระบายไอน้ำที่ด้านล่างถังควบแน่น
- 14) เปิดวาล์วที่ 5 ระหว่างถังควบแน่นและถังพักน้ำ
- 15) เปิดวาล์วที่ 3 น้ำหล่อเย็นและปิดวาล์วที่ 3 เมื่อน้ำหล่อเย็นไหลเข้าถังควบแน่นตามค่าที่ตั้งไว้
- 16) รอจนถังควบแน่นหยุดสูบน้ำ ดูได้จากความดันภายในถังควบแน่น
- 17) บันทึกค่าด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความดัน
- 18) นำน้ำที่ได้จากถังควบแน่นมาวัดปริมาณทุกครั้ง
- 19) นำผลไปวิเคราะห์
- 20) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5 ถึงขั้นตอนที่ 19 แต่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นเป็น 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส
- 21) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5 ถึงขั้นตอนที่ 19 แต่เปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำหล่อเย็นเป็น 3, 4 และ 5 ลิตร
- 22) ทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ครั้ง ทุกตัวแปร
- 23) นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและสรุปผล

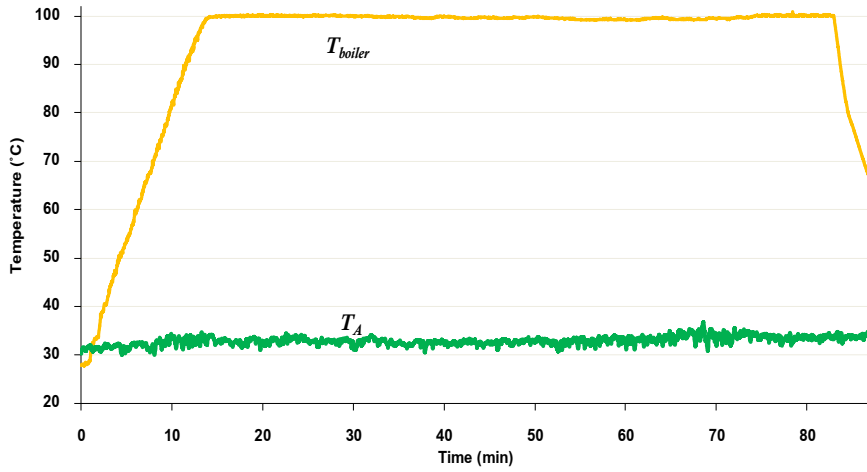
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เพื่ออธิบายเกี่ยวกับการทำงานของปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบการทำงานรอบเดียว ที่ความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร ปริมาณน้ำหล่อเย็น 5 ลิตรและที่อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นที่ 15 องศาเซลเซียส แผนผังของกระบวนการสูบน้ำได้อธิบายไว้ที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาณของระบบแสดงในภาพที่ 3

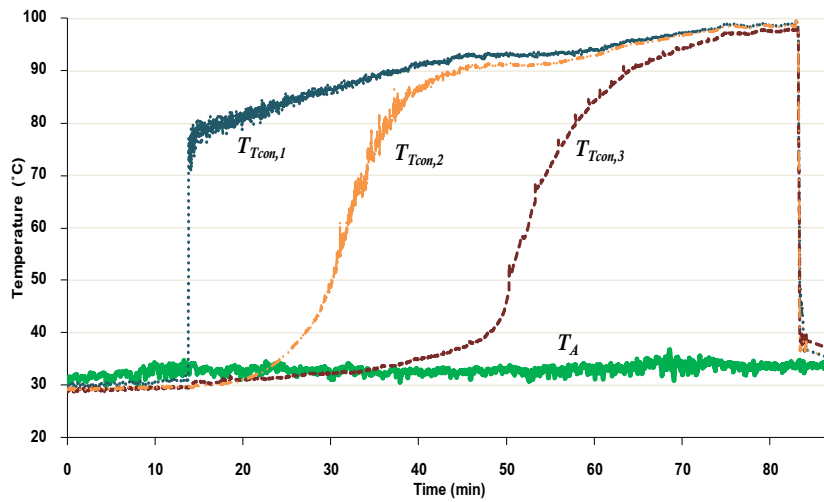


ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของระบบ

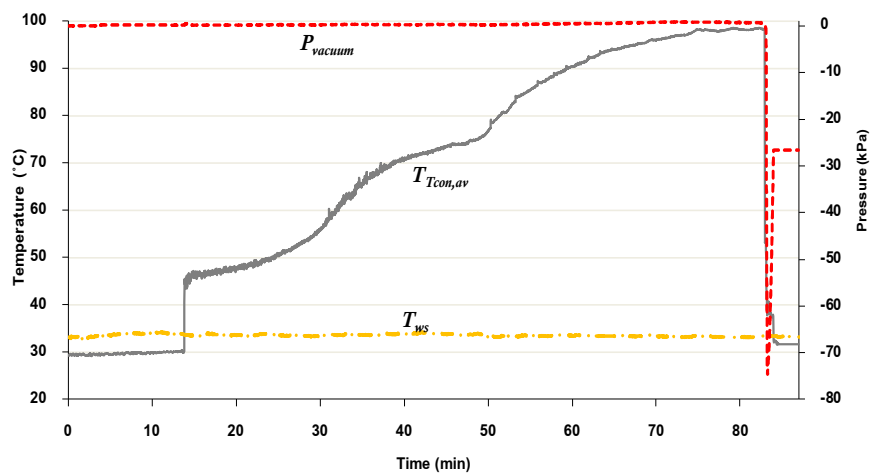
- 1) จุดที่ 1-2 เป็นช่วงให้ความร้อนแก่น้ำปริมาณ 3 ลิตร ในถังผลิตไอน้ำด้วยแก๊สหุงต้ม อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที
- 2) จุดที่ 2-3 เป็นช่วงไอน้ำไหลสู่ถังควบแน่น เมื่อถึงผลิตไอน้ำได้ความร้อนจนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนจน อุณหภูมิของของน้ำจะไม่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงแต่ปริมาณไอน้ำจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เป็นการผลิตไอน้ำ โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 10-20 นาที
- 3) จุดที่ 3-4 เป็นช่วงหล่อเย็น เมื่อถึงควบแน่นมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่าไม่มีอากาศภายในถังควบแน่นแล้ว จึงเติมน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ปริมาณ 5 ลิตร เข้าสู่ถังควบแน่นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้อุณหภูมิในถังควบแน่นลดลงและเกิดเป็นความดันสุญญากาศ โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 70-90 นาที
- 4) จุดที่ 4-4' เป็นช่วงสูบน้ำ การผสมไอน้ำและน้ำหล่อเย็นทำให้เกิดการควบแน่น และเกิดความดันสุญญากาศภายในถังควบแน่น ระบบจึงสูบน้ำจากถังพักน้ำขึ้นมายังถังควบแน่น จนความดันสุญญากาศไม่สามารถเอาชนะความสูงและการสูญเสียความดันในท่อและข้อต่อจึงหยุดสูบน้ำ แต่ความดันยังไม่เท่ากับความดันบรรยากาศ โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 2-5 นาที
- 5) จุดที่ 4'-1 เป็นช่วงที่สมดุลความดัน หลังจากการสูบน้ำยังคงมีความดันสุญญากาศเหลืออยู่ในระบบ แต่ยังไม่เพียงพอที่จะเอาชนะความสูงในการสูบน้ำได้ ดังนั้นจึงเปิดวาล์วให้ความดันภายในระบบมีค่าใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ เพื่อนำน้ำไปใช้งานหรือปล่อยใส่ถังเก็บน้ำเพื่อรอการใช้งานต่อไป โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 25-35 นาที



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิถึงผลิตไอน้ำ



ภาพที่ 5 การถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิภายในถังควบแน่น



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสุญญากาศภายในถังควบแน่นและอุณหภูมิเฉลี่ยในถังควบแน่น

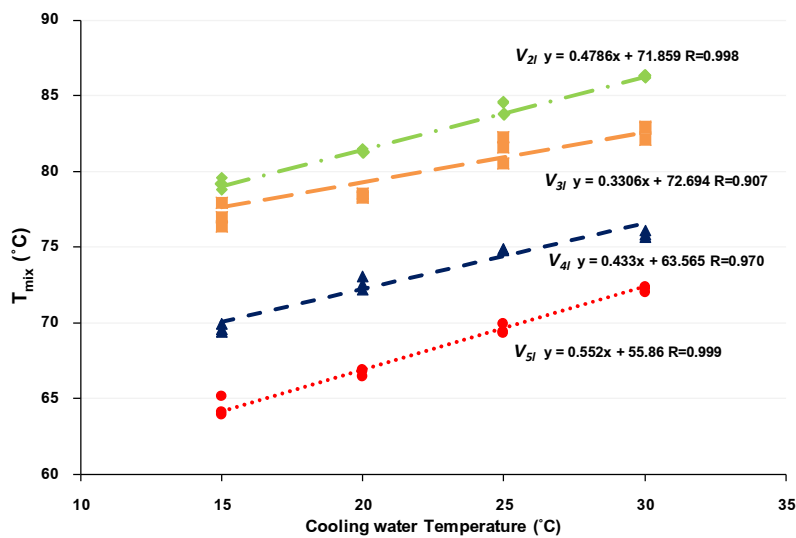
จากภาพที่ 4 - 6 เป็นการผลทดลองการสูบน้ำที่ระดับความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร ปริมาณน้ำหล่อเย็น 5 ลิตร และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ 15 องศาเซลเซียส เมื่อเมื่อ T_A คือ อุณหภูมิแวดล้อม และ T_{boiler} คือ อุณหภูมิน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ การให้ความร้อนของถังผลิตไอน้ำ ด้วยพลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ปริมาณพลังงานที่ใช้ขึ้นอยู่กับมวลเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าระบบ การวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำแสดงได้ดังภาพที่ 4 เมื่อน้ำภายในถังผลิตไอน้ำได้รับการถ่ายเทความร้อนจากเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จนน้ำในถังมีอุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำดังสมการที่ 1 เป็นการให้ความร้อนในช่วงเริ่มต้น หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิน้ำมีค่า 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำจะไม่เพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากที่ความดันบรรยากาศมีจุดเดือดที่ค่า 100 องศาเซลเซียส ทำให้ในช่วงที่อุณหภูมิน้ำหยุดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส ทำให้ลดพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ เนื่องจากการใช้พลังงานความร้อนเพื่อรักษาขนาดของอุณหภูมิของน้ำในถังที่ ปัจจัยที่ทำให้เกิดความสูญเสียความร้อนในช่วงการให้ความร้อนกับน้ำภายในถัง ส่งผลให้ระยะเวลาในการให้ความร้อนเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการสูญเสียความร้อนมากขึ้น ระยะเวลาในการให้ความร้อนก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

อุณหภูมิดังควบคุมมีจุดวัดอุณหภูมิ 3 จุด คือ บน กลาง และล่าง คือ $T_{Tcon,1}$, $T_{Tcon,2}$ และ $T_{Tcon,3}$ ตามลำดับเมื่ออุณหภูมิน้ำภายในถังผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงค่า 100 องศาเซลเซียส ไอน้ำจะไหลเข้าสู่ถังควบคุม และเริ่มมีการถ่ายเทความร้อนให้ถังควบคุมโดย จากจุดที่อยู่ด้านบนของถังควบคุมจะได้รับความร้อนก่อน แล้วหลังจากนั้นจะเคลื่อนที่ไปตรงกลางและข้างล่างถังควบคุม ดังภาพที่ 5 $T_{Tcon,1}$, $T_{Tcon,2}$ และ $T_{Tcon,3}$ ไอน้ำจะค่อย ๆ แลกเปลี่ยนความร้อนกับถังควบคุม ซึ่งในช่วงเริ่มต้นภายในถังควบคุมมีอากาศอยู่ สังเกตได้ว่าช่วงแรก $T_{Tcon,2}$ และ $T_{Tcon,3}$ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จนกว่าไอน้ำจะไหลลงสู่ $T_{Tcon,2}$ และ $T_{Tcon,3}$ ไอน้ำจะเคลื่อนที่ซบดานอากาศภายในถังควบคุมจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ทำให้อุณหภูมิภายในถังควบคุมมีค่าสูงจากบนลงล่าง เนื่องไอน้ำมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ จึงทำให้อากาศที่อยู่ใต้อุณหภูมิกับด้วยไอน้ำออกทางด้านล่างที่มีค่าความหนาแน่นมากกว่า เมื่อไอน้ำแทนที่อากาศจนหมดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อถังควบคุมเต็มไปด้วยมวลไอน้ำ หลังจากนั้นอุณหภูมิกว้างถังควบคุม จะลดลงเนื่องจากการเติมน้ำหล่อเย็นเข้าสู่ถังควบคุมที่ปริมาณ น้ำ 5 ลิตร 15 องศาเซลเซียส ผสมกับไอน้ำในถังควบคุมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 2 ทำให้อุณหภูมิภายในถังควบคุมลดลงอย่างรวดเร็ว กลายเป็นอุณหภูมิผสม และเกิดเป็นความดันสุญญากาศ ดังสมการ PV=mRT เมื่ออุณหภูมิลดลงความดันก็จะลดลงตามที่ปริมาตรและมวลคงที่ ดังภาพที่ 6 เมื่อ P_{vacuum} คือ ความดันสุญญากาศ, T_{ws} คือ อุณหภูมิน้ำในถังพักน้ำ และ $T_{Tcon,av}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของถังควบคุม ดังนั้นเมื่อความดันบรรยากาศ (0 ความดันเกจ) หลังจากที่ได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือด และถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วในระบบปิดจึงทำให้ระบบเกิดเป็นความดันสุญญากาศ 74.96 กิโลปาสคาล สูบน้ำจากถังพักน้ำเข้าสู่ถังควบคุม และจะหยุดนิ่งเมื่อความดันสุญญากาศไม่สามารถเอาชนะความสูงในการสูบน้ำได้ เนื่องจากการสูญเสียความดันในท่อและข้อต่อจึงหยุดนิ่งที่ความดันสุญญากาศ 26.6 กิโลปาสคาล ส่วนอุณหภูมิภายในถังควบคุมก็จะลดลงถึงอุณหภูมิผสม ซึ่งอุณหภูมิผสมก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ปริมาณน้ำและอุณหภูมิน้ำที่สูบน้ำได้

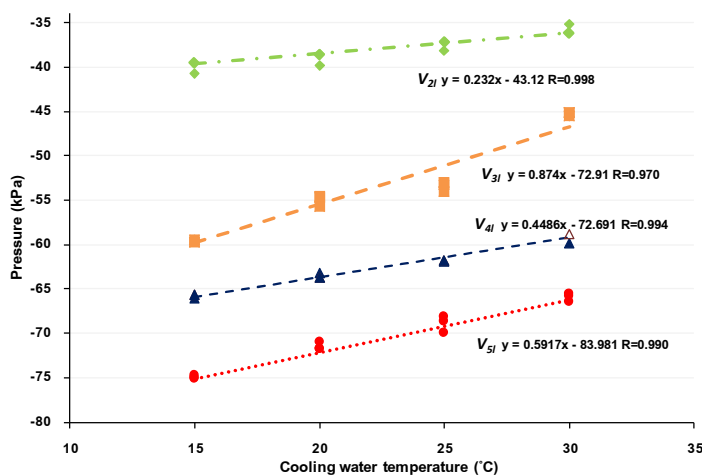
ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็น

ไอน้ำภายในถังควบคุมที่ปริมาตร 204 ลิตร ถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วจนไอน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว เนื่องจากการสูญเสียพลังงานความร้อนของไอน้ำในการเปลี่ยนสถานะ เป็นเกิดเป็นอุณหภูมิผสมระหว่างไอน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส กับน้ำหล่อเย็นที่ ปริมาณ 2, 3, 4 และ 5 ลิตร อุณหภูมิ 15, 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 7 การเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นส่งผลให้อุณหภูมิผสมลดลงจากสมการที่ 2 เมื่อมวลของน้ำหล่อเย็นมีค่าเพิ่มมากขึ้นการสูญเสียพลังงานความ

ร้อนที่ทำให้ไอน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว และของผสมก็มีมากขึ้นตามลำดับ ในส่วนของ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ลดลงก็จะส่งผลให้อุณหภูมิผสมลดลงตามเช่นกัน ซึ่งการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจะสูญเสียพลังงานมาก แต่ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นจะส่งผลให้อุณหภูมิผสมลดลงมากกว่า 3 เท่าของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น โดยที่ R-Squared มีค่ามากกว่า 0.9 ทั้ง 4 สมการในภาพที่ 7 ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของไอน้ำให้กลายเป็นน้ำ ที่ส่งผลให้เกิดเป็นความดันสุญญากาศดังภาพที่ 8 เมื่อปริมาณน้ำหล่อเย็นเพิ่มน้ำ และมีอุณหภูมิต่ำ จะสามารถทำให้เกิดความดันสุญญากาศมากขึ้นตามส่งผลในระบบสามารถนำความดันสุญญากาศที่เกิดขึ้นไปสูบน้ำจากแหล่งน้ำที่ระดับความสูงต่าง ๆ ได้ โดยการเลือกอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ปริมาณต่าง ๆ ให้ความดันสุญญากาศที่เหมาะสมกับระดับความสูงในการสูบน้ำ ในภาพที่ 8 แสดงสมการที่มีค่า R-Squared มีค่ามากกว่า 0.9 ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มความดันสุญญากาศให้มีค่ามากขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นให้มากกว่า 5 ลิตรได้



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผสมภายในถังควบแน่นและปริมาณน้ำหล่อเย็น



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสุญญากาศภายในถังควบแน่นและปริมาณน้ำหล่อเย็น

สรุปผลการวิจัย

ระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ แบบการทำงานรอบเดียว เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังควบแน่น ทำให้เกิดความดันสูญญากาศ โดยที่อุณหภูมิและปริมาณของน้ำหล่อเย็นส่งผลโดยตรงกับความดันที่เกิดขึ้น ซึ่งอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจะแปรผันกับความดัน และปริมาณของน้ำหล่อเย็นจะแปรผกผันกับความดัน การทำนายหาอุณหภูมิและปริมาณของน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสมกับความดันที่ใช้ในการสูบน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำหล่อเย็นสามารถทำได้ดี และส่งผลได้มากกว่าการลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นถึง 3 เท่า ดังนั้นเมื่อต้องการให้เกิดความดันสูญญากาศมากขึ้นต้องลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็น

ข้อเสนอแนะ

ในการนำไปใช้งานระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ แบบการทำงานรอบเดียว โดยถังควบแน่นปริมาตร 204 ลิตร โดยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 15 องศาเซลเซียสและปริมาณน้ำหล่อเย็น 5 ลิตร ได้อุณหภูมิผสมที่ 64.36 องศาเซลเซียส ความดันสูญญากาศที่ 74.96 กิโลปาสคาล ซึ่งสามารถสูบน้ำที่มีความสูงในการสูบน้ำ 6 เมตรได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] มุลนิธิชัยพัฒนา. (3 มิถุนายน 2553). **ทฤษฎีใหม่ขั้นต้น** สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2563, จาก <https://www.chaipat.or.th/2010-06-03-03-39-51.html>
- [2] N. Roonprasang, P. Namprakai and N. Pratinthong. (2008). Experimental studies of a new solar water heater system using a solar water pump. **International Journal of Energy**. 2008 (33), 639–646.
- [3] K. Sutthivirode, N. Pratinthong, P. Namprakai, N. Roonprasang and T.Suparos. (2014) Waste heat water pumping model with direct contact cooling. **Journal of Central South University**. 2014 (2), 3896-3910.
- [4] จิรวัดน์ สิตรานนท์. (2557). **การพัฒนาปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำสำหรับการผลิตน้ำร้อนและการเกษตร**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี
- [5] ภาณุศักดิ์ มุลศรี ปองพล รักการงาน ชลิตล อินยาศรี และกังสาด สกุลพงษ์มาลี. (2558). “เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากถ่านไม้สำหรับชุมชน”, ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8**, วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ อ่างทองคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

- [6] เกรียงไกร เฉลิมช่างรงค์ พิชัย นามประกาย และ นริส ประทินทอง. (2556). “ป้อนสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดย การนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมา” , ใน การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต0 กำแพงแสน ครั้งที่ 10, วันที่ 6-7 ธันวาคม 2556 ณ อาคารศูนย์เรียนรวม อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [7] จิรวัดณ์ สิตรานนท์ กิตติวุฒิ ศุทธิโรจน์ และณัฐพล รุ่งประแสง. (2563). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการศึกษาระดับ ความสูงในการสูบน้ำ ของระบบสูบน้ำความร้อนด้วยกำลังไอน้ำแบบต่อเนื่อง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 15 (3), 89-100.
- [8] Y. A. Cengel and A.J. Ghajar, (2015) **Heat and mass transfer fundamentals and applications**. New York. McGraw-Hill Inc.,
- [9] Perry RH, Green DW, Maloney JO. (1997) **Perry's chemical engineers' handbook**. New York. McGraw-Hill Inc.,