

การศึกษาการควบคุมความดันเกจที่ส่งผลต่อการสูบน้ำของระบบสูบน้ำ ด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ

A STUDY OF THE GAUGE PRESSURE CONTROL THAT AFFECTS PUMPING OF AUTOMATIC WATER PUMP SYSTEM WITH STEAM

พยัพ สลักศรี^{1*}, จิรวัดน์ สิตรานนท์¹, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิจ¹,

กรณัฐ นาคภิบาล², ภาณุศักดิ์ มูลศรี³

Payap Salapsri^{1*}, Jirawat Sitranon¹, Kittisak Witinantakit¹,

Korarat Narkpiban², Panusak Moonsri³

¹สำนักวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

³คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา ประเทศไทย 30000

¹School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,
Siracha, Chonburi, Thailand, 2110

²Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,
Siracha, Chonburi, Thailand, 20110

³Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan,
Mueang, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

*Corresponding author e-mail: payapsalapsri@gmail.com

วันที่เข้าระบบ 24 มิถุนายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 25 สิงหาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 26 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการควบคุมความดันเกจที่ส่งผลการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ โดยถังสูบน้ำที่ความดันเกจ 0 กิโลปาสกาล และที่ความดันเกจ 10 กิโลปาสกาล ที่ระดับความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง ควบคุมด้วยการเปิด-ปิดวาล์ว โดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิและความดันเกจภายในถังผลิตไอน้ำ และถังสูบน้ำทั้ง 2 ถัง มาวิเคราะห์พบว่า ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องแบบอัตโนมัติ โดยการสลับถังสูบน้ำระหว่างถังสูบน้ำ A และถังสูบน้ำ B จากการควบคุมความดันเกจของถังสูบน้ำที่ 10 กิโลปาสกาล ส่งผลให้จำนวนรอบในการสูบน้ำ และปริมาตรน้ำที่สูบได้ต่อวันเพิ่มมากขึ้น โดยเฉลี่ย 33% และ 31% ตามลำดับ จำนวนรอบที่สูบน้ำได้สูงสุด 16 รอบ ส่วนปริมาตรน้ำที่สูบได้สูงสุด 3,006 ลิตร ระยะเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในถังสูบน้ำจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมไปสู่จุดเดือดของน้ำที่ความดันเกจควบคุม เมื่อความดันเกจสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นตาม ดังนั้นจึงลดระยะเวลาในการให้ความร้อนกับถังสูบน้ำ ระบบจึงสามารถทำงานได้รวดเร็ว จำนวนรอบการทำงาน

ภายใน 10 ชั่วโมง จึงเพิ่มขึ้น และเมื่อจำนวนรอบการทำงานเพิ่มมากขึ้น ปริมาณน้ำที่สูบได้ก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ

คำสำคัญ: การควบคุมความดันเกจ, ถังสูบน้ำ, ปริมาณน้ำที่สูบได้

Abstract

The objective of this research study of the gauge pressure control that affects working of automatic water pump system with steam at atmospheric Gauge pressure 0 kPa and 10 kPa for condenser tank at suction head 2 m within 10 hr. Control by opening-closing the valve by using programmable logic control (PLC). From comparing temperature and gauge pressure inside the steam tank and two condenser tanks came to the analysis and found that three systems can work continuously automatically by alternating the condenser tank between tank A and tank B. By controlling the pressure of the condenser tank at 10 kPa the number of pumping cycles and the pumped water increased by an average of 33% and 31% respectively. The max daily number of pump cycles was 16 cycles and max pumped water is roughly 3,006 L. The duration of the rise of the temperature inside the condenser tank from the ambient temperature to the boiling point of water at controlled gauge pressure. When the pressure rises the temperature rises accordingly. Therefore, the heating time of the condenser tank is reduced and the system can be operated quickly. The number of work cycles within 10 hr has therefore increased and the number of duty cycles increases the pumped water increases accordingly.

Keywords: Gauge pressure control, Condenser tank, Pumped water

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ สามารถใช้งานได้ในทุกพื้นที่เนื่องจากไม่มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการต้มน้ำเพื่อผลิตไอน้ำอีกทั้งยังเป็นระบบที่ใช้เชื้อเพลิงเพื่อการต้มน้ำสำหรับการผลิตไอน้ำได้มากมาย เช่น ใช้เศษฟืนไม้ แก๊สชีวภาพ แก๊สหุงต้ม หรือเชื้อเพลิงชีวมวลอื่นๆ ในการให้ความร้อนกับระบบดังกล่าว ซึ่งเป็นการลดการพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ โดยเชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถจัดหาได้ทั่วไปในชุมชนไม่ต้องซื้อ รวมถึงขั้นตอนการทำงานของระบบการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำนี้ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ราคาสูงและขั้นตอนการควบคุมระบบไม่มีความซับซ้อนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงระบบต่ำ เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องไม่ต้องการการดูแลรักษา

ด้วยเหตุผลดังกล่าวที่กล่าวมาแล้วการศึกษาวិธีการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงในการนำไปใช้งานจริงตามพื้นที่ต่างๆ และสามารถพัฒนาต่อยอดสู่ระบบการสูบน้ำที่ต้องการปริมาณน้ำไม่มากสำหรับการใช้สำหรับการอุปโภคบริโภคทั่วไป (จิรวรรณ และคณะ, 2563) การออกแบบระบบสูบน้ำ ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของของเหลวของสารทำงาน เทียบกับพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ คือเมื่อเกิดการถ่ายเทความร้อนในขั้นตอนเวลาที่กำหนด การเปลี่ยนแปลงของสารทำงานที่ปริมาตรคงที่อุณหภูมิและความดันจะเปลี่ยนแปลง เรียกว่า ไอโซคอริก (Isochoric) กระบวนการเปลี่ยนเฟสที่ความดันคงที่ เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และปริมาตรเรียกว่า ไอโซบาริก (Isobaric) ในหลาย ๆ การพัฒนาเครื่องจักรความร้อนอุณหภูมิต่ำสำหรับประยุกต์ใช้กับปั้มน้ำ จะใช้กระบวนการไอโซคอริก (Bandaru, 2019) การพัฒนาเครื่องจักรความร้อนอุณหภูมิต่ำสำหรับสูบน้ำ ได้ศึกษาอุณหภูมิของเครื่องจักรความร้อนอยู่ในช่วง 30-100 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับปั้มน้ำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบการจัดเรียงไดอะแฟรม การเลือกวัสดุไดอะแฟรมให้เหมาะสมกับสารทำงาน (น้ำ) โดยอาศัยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการยกน้ำ การเปลี่ยนสถานะของสารทำงานเป็นไอจากแหล่งความร้อนต่ำ สามารถสร้างแรงดันได้ ดังนั้นเมื่อสารทำงานถูกปิดกั้นด้วยไดอะแฟรม เมื่ออีกฝั่งได้รับความร้อนเกิดการเปลี่ยนสถานะ และอีกฝั่งเป็นของเหลว ทำให้เกิดความแตกต่างของความดัน และความดันสูงจะผลักดันให้ไดอะแฟรมเคลื่อนที่ไปทางฝั่งที่มีความดันต่ำ จึงเกิดการขับเคลื่อนของเหลวออกจากกระบอก เมื่อฝั่งมีความดันสูงถูกระบายความร้อนจึงทำให้ความดันลดลงพร้อมกับเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งเดิมทำให้เกิดการสูบน้ำเข้าระบบ และเริ่มให้ความร้อนเพื่อทำงานในรอบต่อไปเป็นการบวนการให้ความร้อนเพื่อขับเคลื่อนน้ำ และระบายความร้อนเพื่อสูบน้ำ ทิศทางการไหลของน้ำถูกควบคุมด้วยวาล์วก้นกลับ (Kurhe, 2017) การออกแบบปั้มน้ำความร้อนพลังงานผสมผสาน ได้การออกแบบปั้มน้ำความร้อนพลังงานผสมผสานสำหรับผลิตน้ำร้อน 2 ระบบ ระบบแรกใช้พลังงานจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ 2.1 ตารางเมตร ปริมาตร 2.3 ลิตร ควบคู่กับพลังงานความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์ 2000 วัตต์ 4.7 ลิตร ถึงขับเคลื่อนน้ำขนาดเล็ก 9.5 ลิตร ใช้น้ำในการหล่อเย็นโดยตรง 300 มิลลิลิตร ความสูงในการสูบน้ำ 1 และ 3 เมตร การเติมปริมาตรอากาศในถังขับเคลื่อนน้ำร้อยละ 10 ระบบทำงานได้อัตโนมัติ พลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบมี 2 ทาง พลังงานหลักจากรังสีอาทิตย์ และพลังงานความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์ ดังนั้นจึงต้องสมดุลพลังงานในช่วงการให้ความร้อนให้เหมาะสมกับปริมาณความร้อนที่ต้องการในการขับเคลื่อนน้ำ ภายในถังขับเคลื่อนน้ำ มิฉะนั้นแล้วจะเป็นการสูญเสียความร้อนจากแหล่งความร้อนทั้ง 2 ที่ป้อนเข้าระบบ ส่วนในขั้นตอนการเติมอากาศเข้าสู่ระบบ เติมน้ำที่ถังขับเคลื่อน โดยให้ระบบสูบน้ำร้อยละ 90 ก่อนแล้วจึงดูดอากาศเข้าไปร้อยละ 10 (Moonsri, 2015) การออกแบบระบบวัฏจักรกำลังแอมโมเนียและน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อนจากแรงโน้มถ่วง การประยุกต์ใช้วัฏจักรกำลังที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อนกับหม้อไอน้ำชีวมวลสามารถเปลี่ยนพลังงานชีวมวลเป็นไฟฟ้าได้ เทคโนโลยีดังกล่าวมีประโยชน์อย่าง

ยังสำหรับจัดการฟางในพื้นที่ชนบท ในขณะเดียวกันก็ช่วยอนุรักษ์พลังงานด้วย โดยใช้ฟางเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล 645 กิโลกรัม ในเผาไหม้ให้ความร้อนกับน้ำจนเมื่อไอน้ำอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จะได้ไฟฟ้า 10.68 กิโลวัตต์ ถ้าครัวเรือนมีความต้องการด้านพลังงานไฟฟ้า 20 กิโลวัตต์ ชั่วโมง การนำระบบ GTP มาประยุกต์ใช้สามารถรองรับได้ 12 ครัวเรือน (Wang, 2020) จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็น การลดอุณหภูมิและเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นส่งผลให้เกิดความดันสุญญากาศมากขึ้นทำให้ระบบสามารถสูบน้ำได้เร็ว และสูบน้ำในระดับความลึกที่มากขึ้นตามไปด้วย แต่การลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นให้มีความต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมต้องใช้พลังงานมากขึ้นกว่าเดิม และการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นให้มากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อตรงกับปริมาณน้ำสุกที่สูบน้ำได้ (ฉัตรชัย และคณะ, 2564) จากงานวิจัยที่ผ่านมาการสูบน้ำยังไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของระบบสูบน้ำความร้อนด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ โดยการควบคุมความดันเกจที่ใช้ในถังสูบน้ำ 0 กิโลปาสกาล และ 10 กิโลปาสกาล ที่ระดับความลึกในการสูบน้ำ 2 เมตร และศึกษาระยะเวลาที่ส่งผลต่อจำนวนรอบในการสูบน้ำ และปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ ภายใต้การควบคุมการทำงานของระบบให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยไอน้ำโดยใช้โปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ
- 2.2 เพื่อศึกษาความดันเกจที่ส่งผลการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ

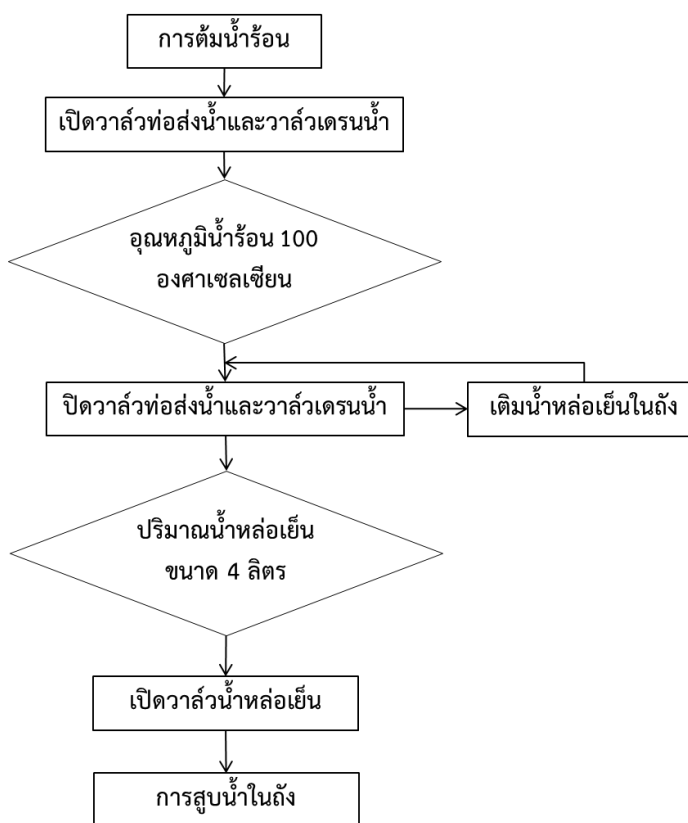
3. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการทำงานของปั๊มน้ำสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้การทดลองใช้น้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิแวดล้อม และปริมาณน้ำหล่อเย็น 3 ลิตร และขนาดของปริมาตรในการบรรจุน้ำ 204 ลิตร จำนวน 2 ถัง โดยจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความดันสุญญากาศ อุณหภูมิเวลาในการสูบน้ำและปริมาตรในการสูบน้ำของระบบสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

3.1 หลักการทำงานของระบบการทดลอง

จากภาพที่ 1 เป็น Flow chart ของการทำงานของระบบสูบน้ำอัตโนมัติ ในช่วงแรกการทำงานการให้ความร้อนด้วยแหล่งพลังงานฮีตเตอร์ 2,500 วัตต์ แก่ถังผลิตไอน้ำช่วงให้ความร้อนกับถังผลิตไอน้ำ อากาศไอน้ำที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึง 100 องศาเซลเซียส ผ่านโซลินอยด์วาล์ว 1 ไอน้ำจะเข้ามาแทนที่อากาศภายในถังสูบน้ำจนอากาศไหลผ่านโซลินอยด์วาล์ว 2 จนอากาศไหลออกหมดเนื่องจากที่อุณหภูมิเท่ากันไอน้ำจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ จึงลอยอยู่ที่สูงและขับดันอากาศออกทางด้านล่างของถัง ดังนั้นภายในถังสูบน้ำจะมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ (101.325 กิโลปาสกาล)

ช่วงหล่อเย็นเมื่ออุณหภูมิภายในถังสูบน้ำเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส จะไม่มีอากาศเหลืออยู่ภายใน น้ำหล่อเย็นที่ระดับความสูงมากกว่าในถังหล่อเย็นที่เตรียมไว้ก็จะถูกเปิดให้ไหลเข้าสู่ถังสูบน้ำด้วย ค่าแรงโน้มถ่วงโลก ผ่านโซลินอยด์วาล์ว 3 ช่วงสูบน้ำเมื่อน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิแวดล้อม น้ำจะไหลเข้า ถังสูบน้ำด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีไอน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จึงเกิดการควบแน่นภายในถัง จนเกิดเป็นสุญญากาศและเริ่มสูบน้ำผ่านโซลินอยด์วาล์ว 4 จากถังพักน้ำขึ้นมายังถังสูบน้ำ



ภาพที่ 1 Flow chart ของการทำงานระบบสูบน้ำอัตโนมัติ

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

เครื่องสูบน้ำอัตโนมัติจากภาพที่ 2 เป็นเครื่องเครื่องสูบน้ำอัตโนมัติระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) ถังสูบน้ำ (Condenser tank) ลักษณะของถังสูบน้ำเป็นถังทรงกระบอกแนวตั้งทำจากเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 540 มิลลิเมตร ความสูงของถังสูบน้ำ 895 มิลลิเมตร ปริมาตรในการบรรจุน้ำ 204 ลิตร ความหนาของวัสดุที่ใช้ทำถัง 10 มิลลิเมตร จำนวน 2 ถัง

2) ถังผลิตไอน้ำ (Steam tank) เป็นถังทรงกระบอกแนวนอน ทำจากสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร ความยาวของถังผลิตไอน้ำ 350 มิลลิเมตร ปริมาตรในของถัง 17.18 มิลลิเมตร ความหนาของวัสดุ 2 มิลลิเมตร

3) ถังพักน้ำ ภาพทรงกระบอกแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 900 มิลลิเมตร ความสูงของถัง 40 มิลลิเมตร ปริมาตรในการบรรจุน้ำ 400 มิลลิเมตร วัสดุปูนซีเมนต์ฉาบเรียบ จำนวน 2 ถัง

4) ถังน้ำหล่อเย็น ภาพทรงกระบอกแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ความสูงของถัง 400 มิลลิเมตร ปริมาตรในการบรรจุน้ำ 3 ลิตร ทำจากพลาสติก

5) เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความดัน (Data logger) บริษัทผู้ผลิต GRAPHTEC รหัสรุ่น (Model) GL820 ช่องสัญญาณ 20 ช่อง ค่าความคลาดเคลื่อน (แรงคลื่นไฟฟ้า) ร้อยละ ± 0.05 ค่าความคลาดเคลื่อน (อุณหภูมิ) ร้อยละ ± 0.15

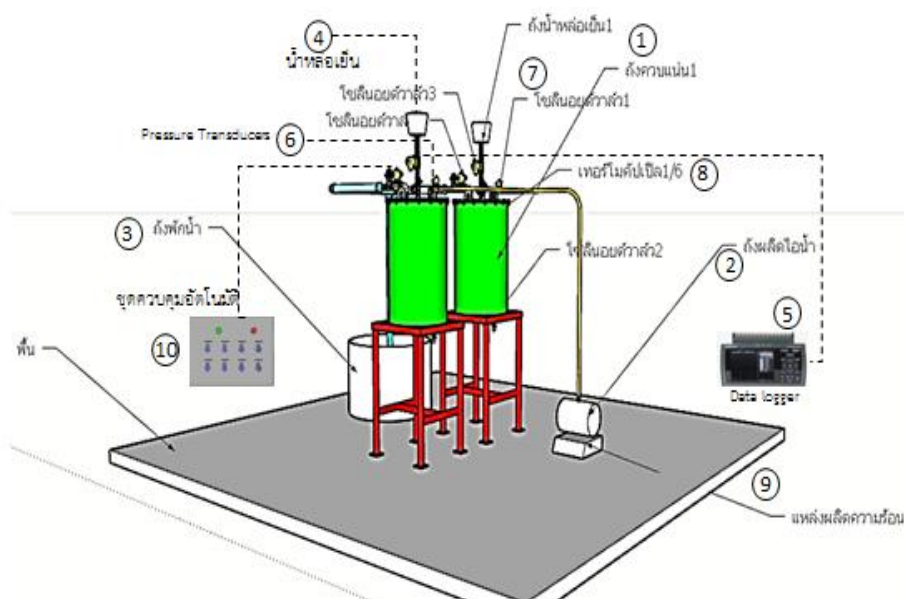
6) ตัวแปลงสัญญาณแรงดัน (Pressure transducers) บริษัทผู้ผลิต ZEGA รหัสรุ่น (Model) ZG-PT9200 ประเภทของตัวตรวจจับแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแสไฟฟ้า ย่านการวัด -100 ถึง 100 กิโลปาสคาล (-1 ถึง + 1 บาร์) อุณหภูมิของสารทำงาน 40 ถึง 100 องศาเซลเซียส สารทำงานไอน้ำ และอากาศ

7) โซลินอยด์วาล์ว 12 ตัว

8) เทอร์โมคัปเปิล type K 7 ตัว

9) แหล่งผลิตความร้อน ฮีตเตอร์ 2,500 วัตต์

10) ชุดควบคุมอัตโนมัติโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC)



ภาพที่ 2 เครื่องสูบน้ำอัตโนมัติ



3.3 วิธีการวิจัย

ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ และการถ่ายเทความร้อนของระบบ โดยมีการปฏิบัติงานในการทดลองการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำด้วยอุณหภูมิปริมาณและระดับความสูงที่ 2 เมตร ตามลำดับดังนี้

- 1) ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบด้วยฮีตเตอร์ 2,500 วัตต์ สำหรับต้มน้ำ ถึงสูบน้ำ ถึงพักน้ำ และถึงผลิตไอน้ำ
- 2) ติดตั้งท่อส่งไอน้ำท่อบสูบน้ำโซลินอยด์วาล์วต่างๆ รวมทั้งสายวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความดัน
- 3) ติดตั้งเครื่องมือบันทึกอุณหภูมิและความดัน
- 4) เตรียมน้ำเข้าถึงพักน้ำ (แหล่งน้ำ) จำนวน 400 ลิตร
- 5) เติมน้ำเข้าถึงผลิตไอน้ำ 15 ลิตร ปิดโซลินอยด์วาล์วทั้งระบบโดยอัตโนมัติ
- 6) เติมน้ำหล่อเย็นไว้ที่ถังหล่อเย็นจำนวน 3 ลิตรโดยอัตโนมัติ
- 7) เติมน้ำเข้าไปในท่อดูดน้ำที่ฟุ้งวาล์วให้เต็ม
- 8) เปิดระบบอัตโนมัติให้ทำงาน
- 9) ให้ความร้อนกับระบบโดยใช้ฮีตเตอร์ เพื่อต้มน้ำที่ถึงผลิตไอน้ำระหว่างนี้ต้องเปิดชุดควบคุมอัตโนมัติและโซลินอยด์วาล์ว 1 (ท่อส่งไอน้ำ และ โซลินอยด์วาล์ว 2 ระบายไอ) ที่ด้านล่างถึงสูบน้ำเพื่อไล่อากาศภายในถึงสูบน้ำ A
- 10) ระบบอัตโนมัติทำงานจนอุณหภูมิไอน้ำภายในถึงสูบน้ำ A เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส
- 11) ระบบอัตโนมัติทำงานปิดโซลินอยด์วาล์ว 1 และโซลินอยด์วาล์ว 2 จากถึงผลิตไอน้ำเพื่อไม่ให้ไอน้ำเข้าถึงสูบน้ำ A อีก และระบบอัตโนมัติเปิดโซลินอยด์วาล์ว 7 และ 8 ของ ถึงสูบน้ำ B
- 12) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 3 น้ำหล่อเย็น 3 ลิตร เป็นเวลา 10 วินาที และปิดวาล์วที่ 3 ช่วงนี้ถึงสูบน้ำ เกิดการควบแน่นและเกิดความดันสูญญากาศ
- 13) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 4 เพื่อสูบน้ำเข้าถึงสูบน้ำ A
- 14) ระบบอัตโนมัติทำงานรอจนถึงสูบน้ำหยุดสูบน้ำ โดยตรวจสอบจากความดันภายในถึง
- 15) ระบบอัตโนมัติทำงานปิดโซลินอยด์วาล์ว 4 จบขั้นตอนของถึงสูบน้ำ A
- 16) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 5 บนถึงสูบน้ำ A และโซลินอยด์วาล์ว 6 ด้านล่างถึงสูบน้ำ A ระบายน้ำผ่านมาตรวัดน้ำและบันทึกค่า
- 17) ระบบอัตโนมัติทำงานควบคุมถึงสูบน้ำ B โซลินอยด์วาล์ว 7 (ท่อส่งไอน้ำ และ โซลินอยด์วาล์ว 8 ระบายไอ) ที่ด้านล่างถึงสูบน้ำเพื่อไล่อากาศภายในถึงสูบน้ำ B

18) ระบบอัตโนมัติทำงานจนอุณหภูมิไอน้ำภายในถังสูบน้ำ B เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส

19) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 7 และโซลินอยด์วาล์ว 8 จากถังผลิตไอน้ำเพื่อไม่ให้ไอน้ำเข้าถังสูบน้ำ B อีก และระบบอัตโนมัติโยนเปิดโซลินอยด์วาล์ว 1 และ 2 ของ ถังสูบน้ำ A

20) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 9 น้ำหล่อเย็น 3 ลิตร เป็นเวลา 10 วินาทีและปิดวาล์วที่ 9 ช่วงนี้ถังสูบน้ำเกิดความดันสูญญากาศ

21) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 10 เพื่อสูบน้ำเข้าถังสูบน้ำ B

22) ระบบอัตโนมัติทำงานรอจนถังสูบน้ำหยุดสูบน้ำ โดยตรวจสอบจากความดันภายในถังสูบน้ำ

23) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 10 จบขั้นตอนของถังสูบน้ำ B

24) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 11 และโซลินอยด์วาล์ว 12 ด้านล่างระบายน้ำผ่านมาตรวัดน้ำและบันทึกค่า

25) ระบบอัตโนมัติทำงานขั้นตอนที่ 9 ถึง ขั้นตอนที่ 24 ตามรอบการทำงานโดยใช้เวลา 10 hr

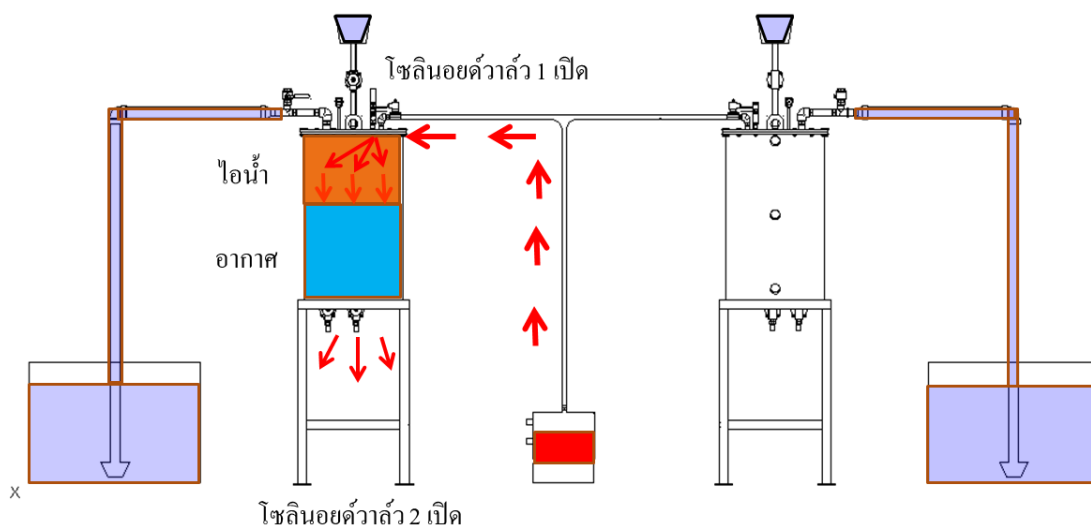
26) ทดลองที่ความดันเกจ (0 กิโลปาสกาล) 3 ครั้ง

27) ทดลองที่ความดันเกจ (10 กิโลปาสกาล) 3 ครั้ง

28) นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์และสรุปผล

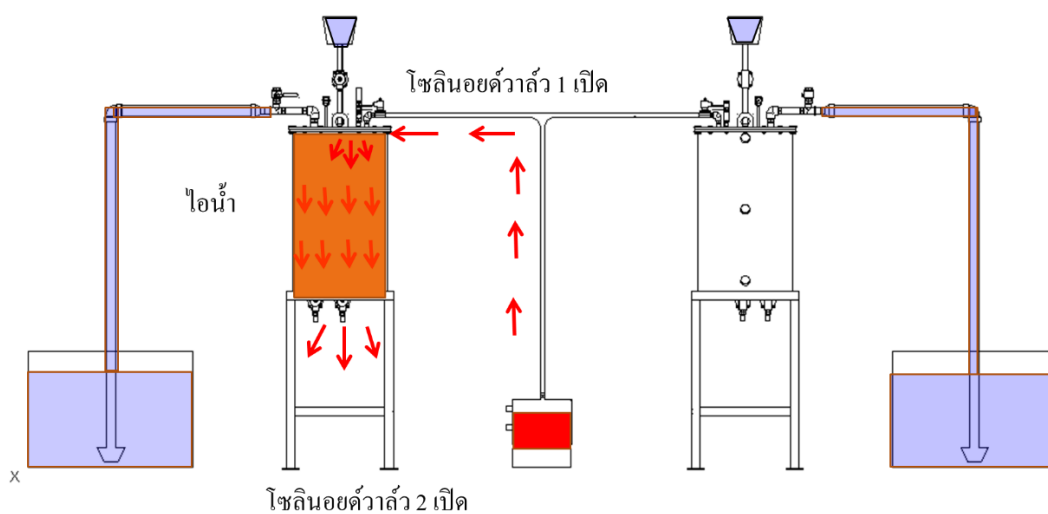
หลักการการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำอัตโนมัติ ประกอบด้วยช่วงผลิตไอน้ำและขับเคลื่อนอากาศช่วงระบายไอน้ำ ช่วงหล่อเย็น และช่วงสูบน้ำ

ช่วงผลิตไอน้ำและขับเคลื่อนอากาศ เริ่มต้นเปิด โซลินอยด์วาล์ว 1 และ โซลินอยด์วาล์ว 2 โซลินอยด์วาล์ว 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ปิดทั้งหมด เมื่อน้ำในถังผลิตไอน้ำ ได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์ จนกระทั่งมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะเกิดไอน้ำขึ้นภายในถังผลิตไอน้ำ และเคลื่อนผ่านท่อส่งไอน้ำ และ โซลินอยด์วาล์ว 1 ไปยังด้านบนของถังสูบน้ำ A และขับเคลื่อนอากาศ ออกทางด้านล่างผ่านโซลินอยด์วาล์ว 2 ดังภาพที่ 3



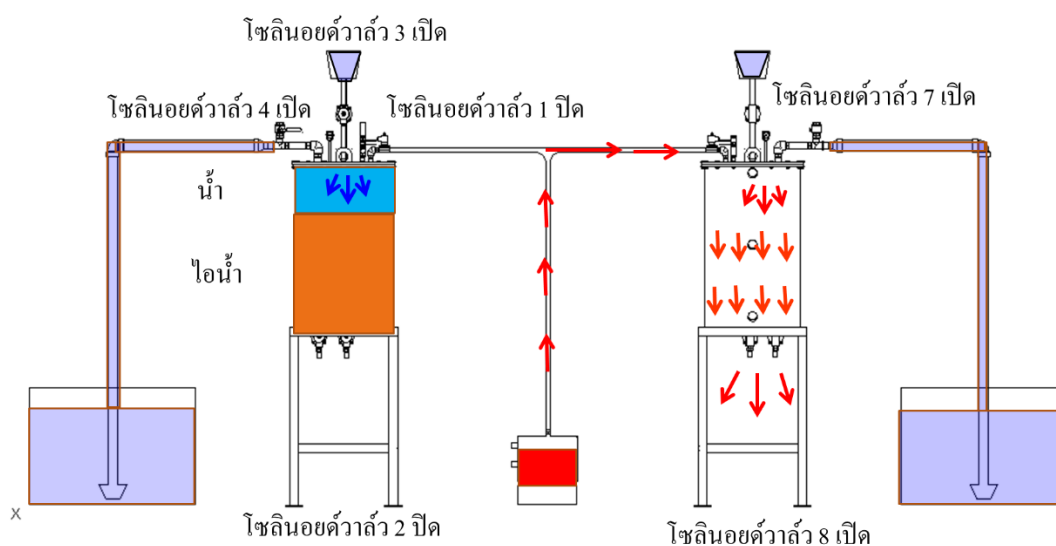
ภาพที่ 3 ช่วงผลิตไอน้ำและอัดอากาศ

เมื่อไอน้ำอัดอากาศภายในถังสูบน้ำจนหมด หรือจนกระทั่งไอน้ำจะแทนที่อากาศภายในถังสูบน้ำหมด ดังภาพที่ 4



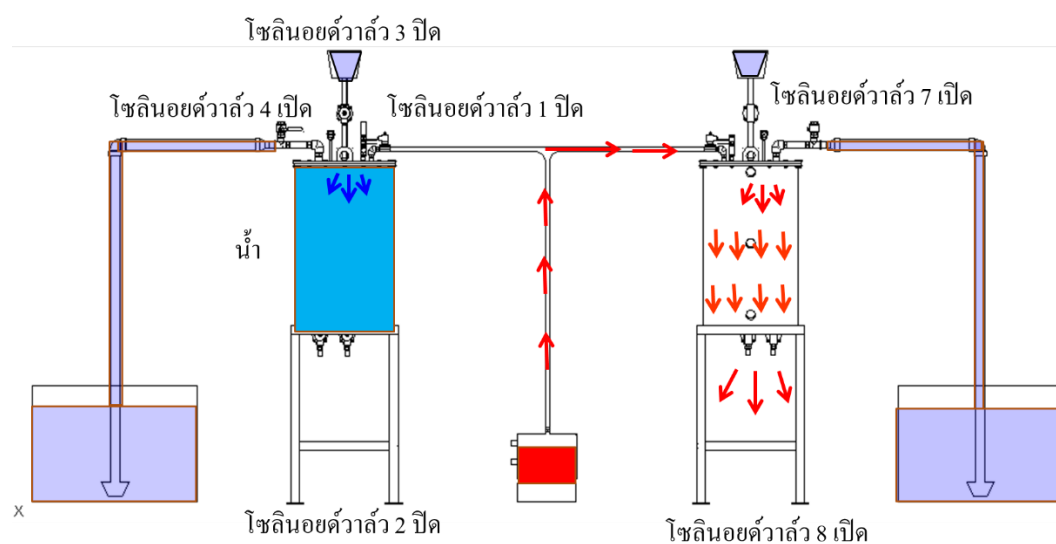
ภาพที่ 4 ช่วงระบายไอน้ำ

ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โซลินอยด์วาล์ว 1 และโซลินอยด์วาล์ว 2 จะปิดอัตโนมัติ โยนไปเปิดโซลินอยด์วาล์ว 7 และ 8 ของถังสูบน้ำ B ในช่วงเวลาเดียวกัน ถังสูบน้ำ A โซลินอยด์วาล์ว 3 เปิด เพื่อหล่อเย็น และเปิดโซลินอยด์วาล์ว 4 เปิดดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ช่วงหล่อเย็น

โซลินอยด์วาล์ว 3 เปิดเป็นเวลา 10 วินาที จะปิดโดยอัตโนมัติ ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ผสมกับน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จึงทำให้เกิดการควบแน่นภายในถังสุบน้ำ เป็นสุญญากาศ และสุบน้ำจากบ่อน้ำ ผ่านโซลินอยด์วาล์ว 4 ดังภาพที่ 6



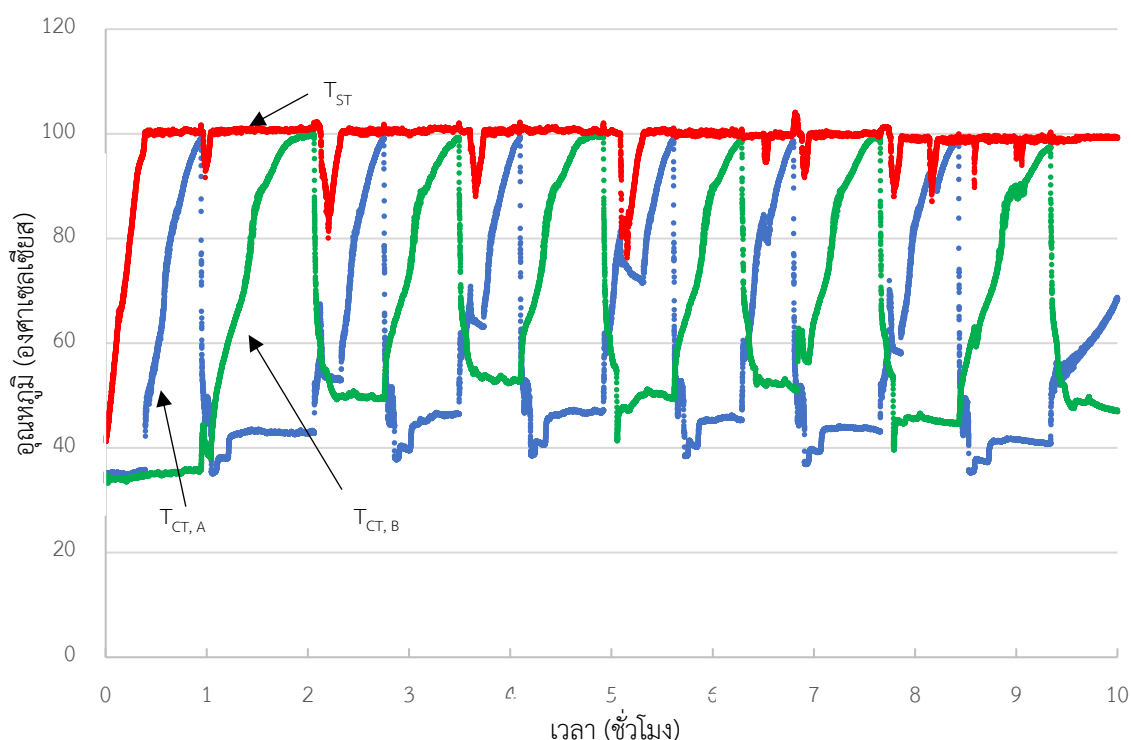
ภาพที่ 6 ช่วงสูบน้ำ

เมื่อสูบน้ำจนความดันสูญญากาศเหลือ -18 กิโลปาสกาล ระบบอัตโนมัติ สั่งให้โซลินอยด์ วาล์ว 5 เปิด และโซลินอยด์วาล์ว 6 เปิด เพื่อระบายน้ำออกจากถังสูบน้ำผ่านมาตรวัดน้ำ แล้วทำการ เก็บบันทึกข้อมูล ระบบอัตโนมัติจะสั่งให้ถังสูบน้ำ B ระบบจะทำงานสลับไปมาจนครบ 10 ชั่วโมง

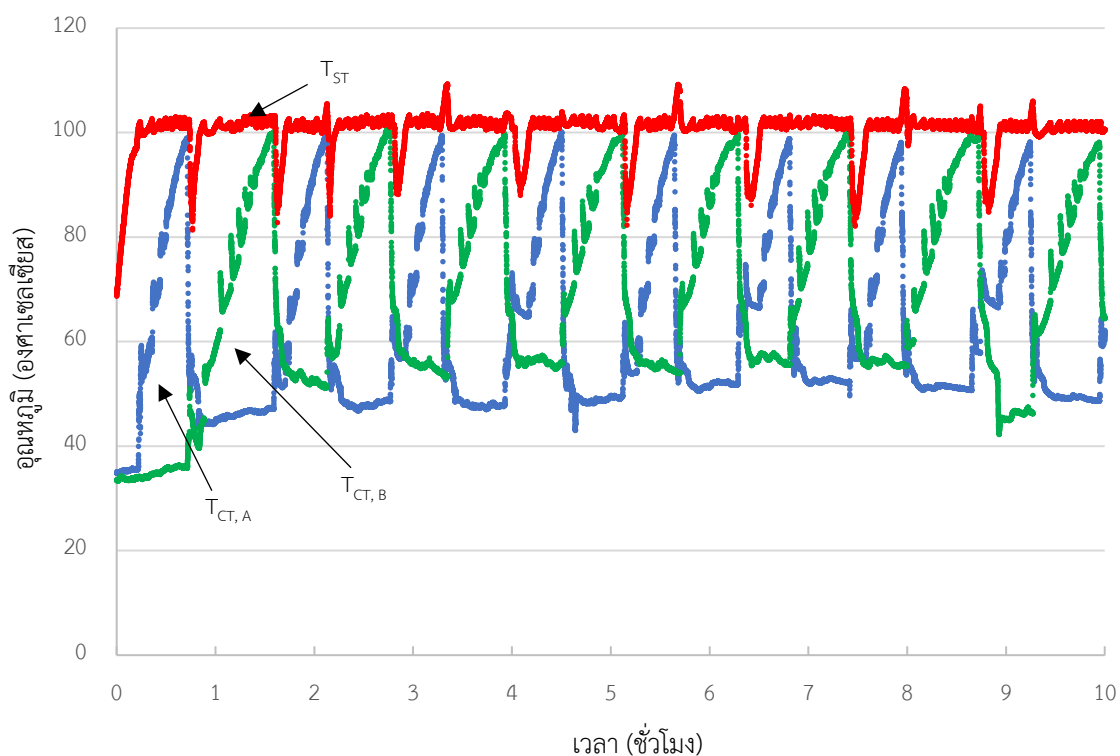
4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองระบบสูบน้ำด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ ที่ระดับความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง โดยควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ เพื่อศึกษาการควบคุมการทำงาน ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และความดันภายในถังสูบน้ำ A และ B และถังผลิตไอน้ำ การทำงานของระบบสามารถพิจารณาได้จากลักษณะของอุณหภูมิ และความดันภายในถังสูบน้ำ โดยมีผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

สัญลักษณ์	T_{ST}	=	Temperature steam tank (อุณหภูมิถังผลิตไอน้ำ)
	$T_{CT,A}$	=	Temperature condenser tank (อุณหภูมิถังสูบน้ำ A)
	$T_{CT,B}$	=	Temperature condenser tank (อุณหภูมิถังสูบน้ำ B)
	P_{ST}	=	Pressure steam tank (ความดันภายในถังผลิตไอน้ำ)
	$P_{CT,A}$	=	Pressure condenser tank (ความดันภายในถังสูบน้ำ A)
	$P_{CT,B}$	=	Pressure condenser tank (ความดันภายในถังสูบน้ำ B)

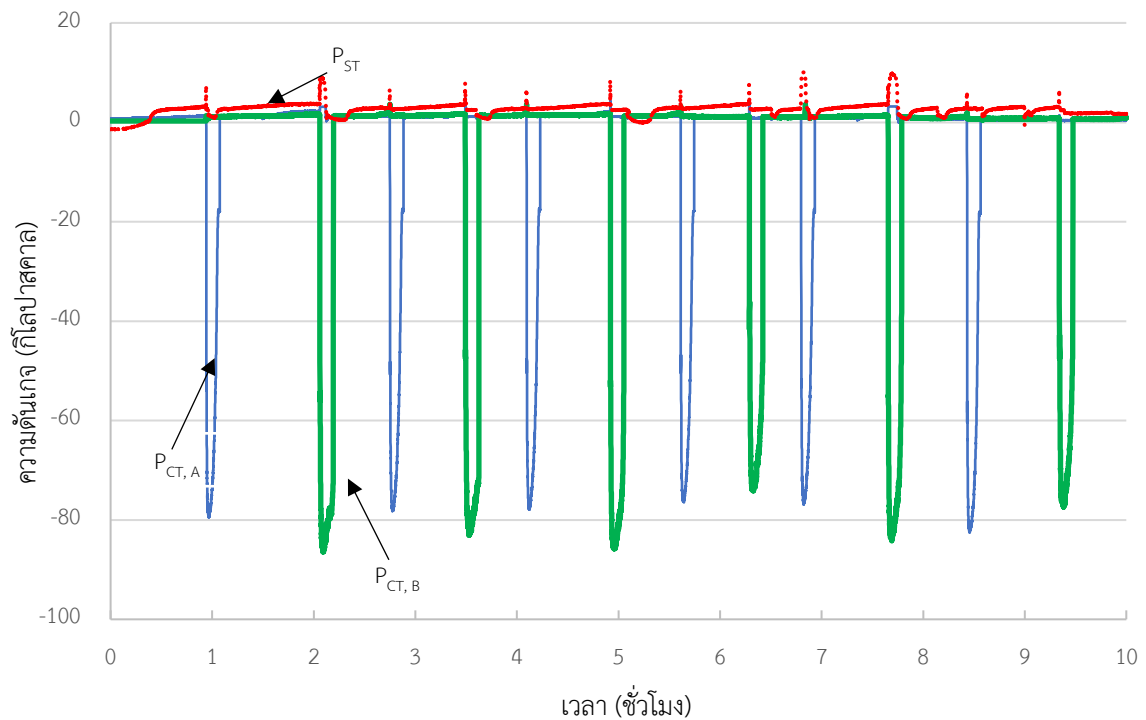


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำและถังสูบน้ำ ที่ความดันเกจ 0 กิโลปาสกาล

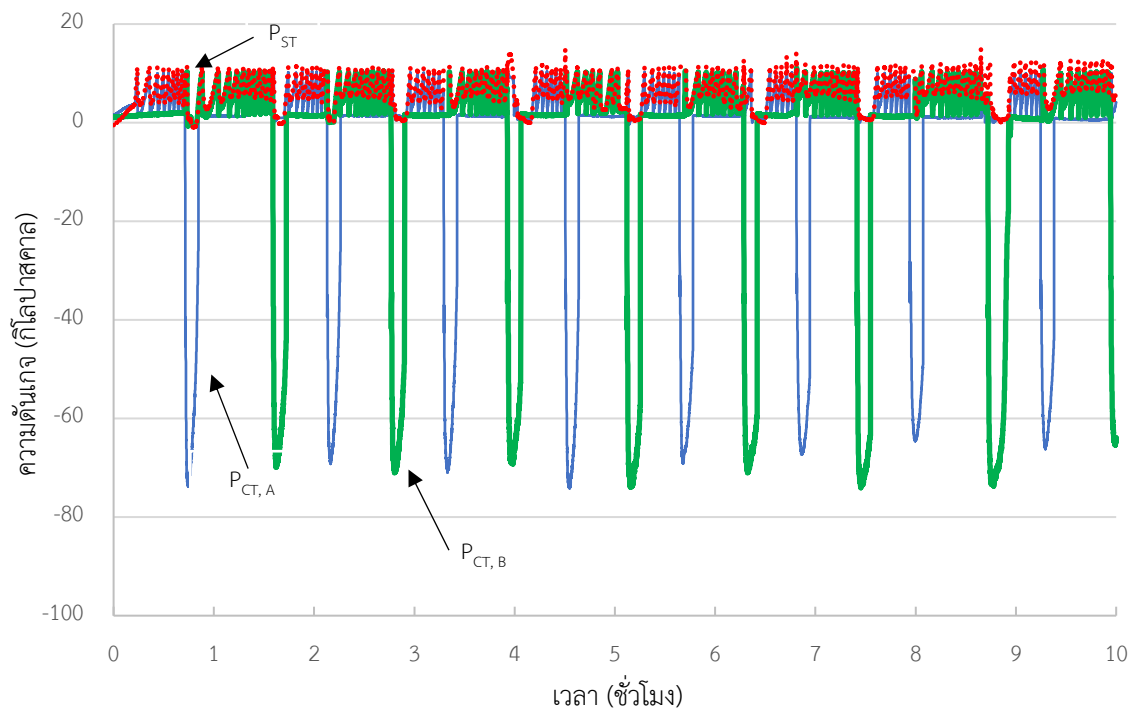


ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำและถังสูบน้ำ ที่ความดันเกจ 10 กิโลปาสกาล

การขึ้นลงสลับไปมาของอุณหภูมิภายในถังสูบน้ำ A และ B เป็นจังหวะรอบการทำงานที่เกิดการขับดันอากาศออกจากถังสูบน้ำ และหล่อเย็นเพื่อทำให้เกิดความดันสุญญากาศจึงทำให้เกิดการสูบน้ำ ดังภาพที่ 7 และ 8 โดยความดันเกจที่ถังผลิตไอน้ำที่ 0 กิโลปาสกาล ระบบทำงานแบบอัตโนมัติ ตาม เซ็นเซอร์ที่ป้อนค่าเข้าสู่โปรแกรมเพื่อควบคุมวาล์วต่างในการเปิด-ปิด การเพิ่มความดันเกจถังผลิตไอน้ำ 10 กิโลปาสกาล ส่งผลให้จุดเดือดของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำสูงขึ้นเป็น 102.56 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิในถังผลิตไอน้ำสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เมื่อเคลื่อนที่ไปยังถังสูบน้ำที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนสูงไปแหล่งความร้อนต่ำ จนมีค่าใกล้เคียงกัน จากภาพที่ 8 จะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในถังสูบน้ำได้เร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในถังสูบน้ำจะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเร็วกว่าเมื่อถังผลิตไอน้ำมีอุณหภูมิของไอน้ำที่สูงขึ้นตามความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความดันเกจถังผลิตไอน้ำสูงขึ้น อุณหภูมิของไอน้ำก็สูงขึ้นตาม ส่งผลให้เมื่อไอน้ำเคลื่อนที่ผ่านถังสูบน้ำจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนได้เร็วขึ้นตามลำดับ โดยระยะเวลาเฉลี่ยในการถ่ายเทความร้อนของถังสูบน้ำจะมีอุณหภูมิเข้าใกล้จุดเดือด ที่ความดันเกจ 0 กิโลปาสกาล ใช้เวลา 48 นาที/รอบ และที่ความดันเกจ 10 กิโลปาสกาล ใช้เวลา 36.7 นาที/รอบ



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ของความดันภายในถังผลิตไอน้ำและถังสูบน้ำ
ที่ความดัน 0 กิโลปาสกาล



ภาพที่ 3.10 ความสัมพันธ์ของความดันภายในถังผลิตไอน้ำและถังสูบน้ำ
ที่ความดัน 10 กิโลปาสกาล

ความดันเกจภายในถังผลิตไอน้ำมีค่าตามที่ตั้งค่าไว้ นั่นคือ 0 กิโลปาสกาล และ 10 กิโลปาสกาล แต่ความดันเกจภายในถังสูบน้ำที่เปิดสู่บรรยากาศมีค่าใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ เมื่อระบบหล่อเย็นปล่อยน้ำหล่อเย็นอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตามปริมาตรควบคุมเข้าสู่ถังสูบน้ำที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ ไอน้ำภายในถังสูบน้ำจึงมีอุณหภูมิตกลงอย่างรวดเร็ว และเกิดการยุบตัวหรือเกิดความดันสุญญากาศ เมื่อความดันสุญญากาศมีค่ามากกว่า ความดันเกจที่เกิดจากระดับความลึกในการสูบน้ำ และการสูญเสียของของไหลภายในท่อ ความดันเกจภายในถังสูบน้ำจึงสามารถสูบน้ำที่ระดับความลึก 2 เมตรได้ ความดันสุญญากาศภายในถังสูบน้ำในการทดลองที่ความดันเกจถังผลิตไอน้ำ 0 กิโลปาสกาล มีค่าสูงกว่าการทดลองที่ความดันเกจถังผลิตไอน้ำ 10 กิโลปาสกาล ดังภาพที่ 9 และ 10 โดยมีค่าสูงกว่า 10-15 กิโลปาสกาล เมื่อระยะเวลาให้ความร้อนถังสูบน้ำลดลง ดังนั้นการควบคุมให้ระบบเริ่มต้นทำงานในรอบถัดไปสำหรับถังสูบน้ำที่ต้องระบายน้ำออกจากถังหลังการสูบน้ำจึงต้องกระทำอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับไอน้ำจากถังผลิตไอน้ำ จึงทำให้รอบการทำงานในถังสูบน้ำ A และ B เร็วขึ้นตามไปด้วย โดยการทดลองที่ความดันเกจถังผลิตไอน้ำ 0 กิโลปาสกาล มีรอบการทำงาน 12 รอบ และการทดลองที่ความดันเกจถังผลิตไอน้ำ 10 กิโลปาสกาล มีรอบการทำงาน 16 รอบ ความดันเกจในถังผลิตไอน้ำและถังสูบน้ำ ในช่วงการผลิตไอน้ำ และขับเคลื่อนอากาศจะมีความดันเกจใกล้เคียงกัน และมีลักษณะเป็นฟองปลา เนื่องจากการควบคุมความดันเกจ ที่เปิดปิดวาล์วตามความดันเกจที่ตั้งค่าไว้ที่ 10 กิโลปาสกาล

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบผลการทดลองของอุณหภูมิ ความดันเกจ จำนวนรอบ และปริมาตรน้ำที่สูบได้

Item		P _{ST} (kPa)	P _{vacuum} (kPa)	T _{ST} (°C)	T _{CT} (°C)	Number (cycle)	P u m p e d water (l)
0 kPa	Mean	4.8	80.02	100.3	99.5	11.3	2,134.66
	Min	3.8	77.34	100.1	99.4	10.0	1,888.00
	Max	6.2	82.60	100.6	99.6	12.0	2,279.00
	S.D.	1.249	2.631	0.264	0.115	1.154	0.214
10 kPa	Mean	10.4	72.08	102.9	101.1	15.0	2,803.33
	Min	10.1	70.98	102.5	100.8	14.0	2,583.00
	Max	10.7	73.18	103.3	101.4	16.0	3,006.00
	S.D.	0.410	1.555	0.565	0.424	1.555	0.212

การควบคุมความดันเกจของถังสูบน้ำให้ค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศส่งผลให้จุดเดือดของน้ำในถังผลิตไอน้ำสูงขึ้น โดยที่ความดันเกจ 10 กิโลปาสกาล อุณหภูมิในถังผลิตไอน้ำสูงขึ้นถึง 102.9 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิของถังสูบน้ำสูงขึ้นตามไปด้วยแต่ไม่สูงเท่ากับถังผลิตไอน้ำ เนื่องจาก

เกิดการสูญเสียความร้อน และสูญเสียความดันเกจในถังสุบ จึงทำให้ในถังสุบน้ำมีอุณหภูมิ 101.1 ทำให้ระบบสามารถทำอุณหภูมิในถังสุบน้ำจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมให้สูงจนถึงจุดเดือดของน้ำได้อย่างรวดเร็ว โดยการควบคุมความดันเกจสามารถเพิ่มรอบการทำงานได้ 33% จากความดันบรรยากาศ โดยแต่ละรอบใช้ระยะเวลาในการทำงาน 36.7 นาที เมื่อควบคุมความดันเกจ ดังนั้นเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้นปริมาตรน้ำที่สุบได้ก็เพิ่มขึ้นตาม โดยปริมาตรน้ำเพิ่มขึ้นถึง 31% ซึ่งมิต้าน้อยกว่าจำนวนรอบดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าน้ำที่สุบได้ต่อรอบมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากความดันสุญญากาศที่มีการควบคุมความดันเกจ 10 กิโลปาสกาล มีค่าความดันเกจในการสุบน้ำน้อยกว่า 12%

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการทดลองที่ความดันเกจถังสุบน้ำที่ 0 กิโลปาสกาล และ 10 กิโลปาสกาล ที่ความสูงในการสุบน้ำ 2 เมตร เป็นเวลา 10 ชั่วโมงพบว่า การควบคุมความดันเกจของถังสุบน้ำสามารถช่วยเพิ่มจำนวนรอบ และเพิ่มปริมาตรในการสุบน้ำ โดยมีจำนวนรอบในการสุบน้ำมากที่สุด 16 รอบ เพิ่มขึ้น 33% และมีปริมาตรสุทธิในการสุบน้ำสูงสุด 3,006 ลิตร เพิ่มขึ้น 31% ดังนั้นการควบคุมความดันเกจภายในถังสุบน้ำสามารถเพิ่มอุณหภูมิในถังสุบน้ำ และทำให้อุณหภูมิภายในถังสุบน้ำจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าถึงจุดเดือดของน้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบสามารถสุบน้ำได้ในปริมาตรสุทธิที่สูงขึ้น การทำงานสลับไปมาระหว่างถังสุบน้ำ A และ B โดยการควบคุมวาล์วต่างๆ ด้วย โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic control: PLC) ทำให้ระบบสุบน้ำด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ ทำงานได้อย่างอัตโนมัติและทำงานต่อเนื่องภายใต้ระยะเวลาและเงื่อนไขที่กำหนดได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณคณะอาจารย์ สาขาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรมที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง รวมถึงให้อุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัยและขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่อนุเคราะห์สถานที่เก็บผลการทดลองครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- จิรวัดน์ สิตรานนท์, กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์ และณัฐพล รุ่งประแสง. (2563). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการศึกษาระดับความสูงในการสุบน้ำของระบบสุบน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำแบบต่อเนื่อง. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 15(3), 89-100
- ฉัตรชัย อุ่นวิเศษ, จิรวัดน์ สิตรานนท์ และกิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์. (2564). การศึกษาอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ส่งผลต่อความดันสุญญากาศของปั๊มสุบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*, 4(3), 107-120.

- Bandaru, R., Muraleedharana, C., & Kumarb, P.M.V. (2019). Modelling and dynamic simulation of solar-thermal energy conversion in an unconventional solar thermal water pump. **Energy Procedia**, 134, 292-305.
- Kurhea, N., Funde, A., Gokhale, P., Jadkara, S., Ghaisasa, S., & Date, A. (2017). Development of low temperature heat engine for water pumping application. **Energy Procedia**, 110, 292-297.
- Moonsri, P., Kunchornrat, J.; & Namprakai, P. (2015). Hybrid energy thermal water pump for producing hot water from a shallow well in Thailand. **Energy Engineering Journal**, 142, 1-15.
- Wang, Z.X., Du, S., Wang, L.W., & Chen, X. (2020). Parameter analysis of an ammonia-water power cycle with a gravity assisted thermal driven “pump” for low-grade heat recover. **Renewable Energy Journal**, 146, 651-661.