

การศึกษาสัดส่วนพื้นที่เก็บไอน้ำในถังขับเคลื่อนที่มีต่อการสูบน้ำ ของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ

A Study of Steam Storage Area Ratio in Pressure Vessels Affecting Water Pumping Performance of Steam-Powered Water Pumps

Pakorn Promkaew
Industrial Technology,
Faculty of Science and Technology,
Phuket Rajabhat University
Phuket, Thailand
pakorn.p@pkru.ac.th

Goffaree Hemmin
Industrial Technology,
Faculty of Science and Technology,
Phuket Rajabhat University
Phuket, Thailand
hemmingoffaree@gmail.com

Nattapon Dadsadachan
Industrial Technology,
Faculty of Science and Technology,
Phuket Rajabhat University
Phuket, Thailand
tonza6036@gmail.com

Abstract— This research aimed to examine the effects of steam storage area ratios in the pressure vessel on water pumping capacity and determine the efficiency of the steam-powered water pump via a steam-powered water pump utilizing low-temperature waste heat. The waste heat was simulated using a 6,000 W electric heater. The steam-powered pump system consists of 4 units: 1) steam generation unit, 2) water pressurization unit, 3) cooling unit, and 4) pumping unit. It works with a suction static head and discharge static head of 1 m and 2.5 m, respectively. Water volume pumped was measured under 3 operational cycles with initial steam storage area ratio in the pressure vessel at 25%, 50%, and 75% of the vessel's capacity. Results showed that both the total pumped volume and pump efficiency varied according to initial steam storage area ratio. The maximum total pumped volume was 35,000 mL, and the maximum pump efficiency was 0.005759%, which occurred with 25% initial steam storage area ratio.

Keywords— pump efficiency, steam-powered pump, waste heat

I. บทนำ

ในยุคปัจจุบันที่ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลสถานการณ์พลังงานปี พ.ศ. 2566 การใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 203,923 ล้านหน่วยเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.4 โดยมาจากการใช้ไฟฟ้าในส่วนของสาขาธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวและบริการมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จากเศรษฐกิจที่ฟื้นตัวภายหลังสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 คลี่คลายส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าในสาขาธุรกิจเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.4 โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ไฟฟ้าในโรงแรมที่เพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 22.5 สอดคล้องกับอัตราการเข้าพักที่เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2565 ร้อยละ 48 [1] การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและการอนุรักษ์พลังงานจึงกลายเป็นประเด็นสำคัญที่ทำให้โรงแรมให้มาตรฐานในการดำเนินการเพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรและพลังงานอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ มีการจัดการมลพิษและสิ่งแวดล้อมที่ดีภายใต้แนวคิดโรงแรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือ โรงแรมสีเขียว (Green hotel) ดังนั้นในจังหวัดที่มีโรงแรมตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น จังหวัดภูเก็ต จึงมีการตั้งเป้าหมายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นเมืองคาร์บอนต่ำในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งสอดคล้องกับแผนงานการพัฒนาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระดับจังหวัดของภูเก็ตในภาคส่วนพลังงาน โดยแผนของจังหวัดภูเก็ตตั้งเป้าไว้ที่ 440,000 tCO₂eq คิดเป็นเป้าหมายทั้งจังหวัดในการลดก๊าซเรือนกระจก คือ 9.51% ต้องทำให้ได้ในปี 2030 [2]

การสูบน้ำเป็นส่วนหนึ่งในระบบสุขาภิบาลที่มีการใช้งานในโรงแรม พื้นที่หลักที่มีการใช้น้ำของโรงแรม ได้แก่ ห้องพักแขก สระว่ายน้ำ ห้องซักผ้า เป็นต้น จากการศึกษาการใช้น้ำของโรงแรมขนาดกลางและขนาดใหญ่ในเทศบาลเมืองป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ประมาณ 450 L/Room/d [3] โดยปกติเครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้าถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์หลักในการสูบน้ำ วิธีการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงแรมประการหนึ่งที่สามารถทำได้คือ การนำความร้อนที่ถูกปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ในการสูบน้ำแบบขับเคลื่อนไอน้ำ วิธีการนี้ช่วยลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อีกด้วย เนื่องจากไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิลในการสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำกำลังไอน้ำเป็นเทคโนโลยีที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลเพื่อใช้ในการสูบน้ำมีการวิจัยที่ใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากแหล่งต่างๆ เช่น รังสีอาทิตย์โดยใช้ตัวรับรังสีแบบท่อสุญญากาศที่มีน้ำเป็นสารทำงาน [4] การศึกษาการปั๊มไอน้ำด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารทำงาน [5] การศึกษาการนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ในระบบสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ [6] เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากถ่านไม้ [7] โดยการสูบน้ำแบบขับเคลื่อนไอน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบ่งการทำงานเป็น 4 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงผลิตไอน้ำ 2) ช่วงขับเคลื่อนไอน้ำ 3) ช่วงหล่อเย็น และ 4) ช่วงสูบน้ำ พบว่า การควบคุมความดันของถังสูบน้ำช่วยให้จำนวนรอบในการสูบน้ำ และปริมาตรน้ำที่สูบได้เพิ่มขึ้น [8] โดยความสูงด้านดูดน้ำของระบบที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเพิ่มขึ้นด้วยในกรณีที่ปริมาตรน้ำที่สูบได้ในแต่ละความสูงด้านดูดน้ำใกล้เคียงกัน [7] นอกจากระดับความสูงในการสูบน้ำ อุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อน และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่มีผลต่อการทำงานของระบบแล้ว อุณหภูมิไอน้ำที่สูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเมื่อเติมให้แก่ถังผลิตไอน้ำจะช่วยเพิ่มจำนวนรอบการสูบน้ำ [6]

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เครื่องสูบน้ำกำลังไอน้ำจากแหล่งพลังงานความร้อนมีศักยภาพที่สามารถนำมาใช้สูบน้ำ ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการศึกษาการทดลองการทำงานของปั๊มสูบน้ำที่ใช้กำลังไอน้ำที่ใช้สูบน้ำแบบขับเคลื่อนไอน้ำ โดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 6,000 W จำลองเป็นแหล่งพลังงานความร้อนเหลือทิ้งสำหรับผลิตไอน้ำให้กับถังขับเคลื่อนที่มีน้ำในช่วงเริ่มต้นแตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังขับเคลื่อนที่มีต่อปริมาณน้ำที่สูบได้ และเพื่อหาประสิทธิภาพของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ ซึ่งคาดหวังว่าสัดส่วนพื้นที่เก็บไอน้ำที่ดีจะมีปริมาณน้ำที่สูบได้และประสิทธิภาพของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำที่สูงที่สุด

ทบทวนวรรณกรรม

การสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันของวัฏจักรทำให้เกิดการส่งความร้อนและการขับดันของเหลวด้วยไอน้ำ ระบบสามารถสูบน้ำได้โดยไม่ต้องล่อน้ำ (Self-Priming) ไม่มีการใช้ปั๊มไฟฟ้าและไม่มีการใช้ไฟฟ้าในการควบคุมวาล์วต่างๆ การวิจัยที่ผ่านมาเน้นการศึกษาหลักการการทำงานของระบบสูบน้ำและตัวแปรที่มีผลต่อการสูบน้ำได้แก่ ความดันในชั้นต้น [4] อุณหภูมิของถังขับดันและอุณหภูมิที่เติมให้ถังผลิตไอน้ำ [6] ระดับความสูงในการสูบน้ำ [9] ปริมาณน้ำหล่อเย็น [10] นิยมใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ในงานวิจัยของ [4] ศึกษาการสูบน้ำโดยใช้พลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ขนาด 100, 270 และ 440 W ควบคุมความดันภายในถังระเหยเท่ากับ 142, 163, 183 และ 203 kPa ทดลองที่ระดับความสูงด้านดูด 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 m เครื่องสูบน้ำประกอบด้วย ถังระเหย ถังควบแน่น และแหล่งกำเนิดความร้อนจากฮีตเตอร์พบว่า ปริมาณน้ำด้านส่งเพิ่มขึ้นตามค่าความดันภายในถังขับดัน ในขณะที่ระดับความสูงด้านดูดยังมีผลไม่ชัดเจน และเมื่อระดับความสูงรวม (Total Head) เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำด้านส่งลดลง ถ้าพิจารณาที่ปริมาณน้ำด้านส่งเท่ากัน ประสิทธิภาพปั๊มสูงสุดเท่ากับ 0.03% จะเกิดขึ้นที่ระดับความสูงรวมมากที่สุด

ในงานวิจัยของ [6] ทดลองที่ระดับความสูงด้านส่ง 1 m และใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า 3,000 W พบว่า อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยภายในถังน้ำร้อนเท่ากับ 46.44 °C สามารถส่งน้ำไปยังถังเก็บน้ำได้ 47 cycle ปริมาณน้ำที่สูบได้สูงสุด 246.4 L ประสิทธิภาพความร้อน เท่ากับ 77.47% และมีประสิทธิภาพปั๊มเท่ากับ 0.023% ซึ่งจำนวนรอบการทำงานของระบบแปรผันตามอุณหภูมิที่เติมเข้าถังผลิตไอน้ำ

ในงานวิจัยของ [10] ศึกษาความเป็นไปได้ของแบบจำลองการสูบน้ำใต้ดินด้วยกำลังไอน้ำ-อากาศแบบหล่อเย็นโดยการสัมผัสทางตรง ติดตั้งฮีตเตอร์จำลองเป็นพลังงานความร้อนเหลือทิ้งสำหรับปั๊มน้ำขนาด 10 L ทดลองที่เฮดรวม 3, 4.5, 6 และ 7.5 m ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ [11] ที่สร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนด้วยกำลังไอน้ำร่วมกับอากาศแบบอัดโนมิติที่กำหนดระดับความสูงด้านดูด 2-5 m พบว่า ปั๊มน้ำที่มีปริมาตรอากาศ 50% ของขนาดถังขับดันเพียงพอที่ใช้ในการสูบน้ำ อุณหภูมิในช่วงให้ความร้อนอยู่ในช่วง 100-103 °C อุณหภูมิในช่วงขับดันน้ำอยู่ในช่วง 80-90 °C และความดันอยู่ในช่วง 12-18 kPa ความดันในช่วงการดูดน้ำประมาณ -80 kPa จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยความสามารถในการสูบน้ำในเวลา 2 h พบว่าที่ระดับความสูงด้านดูด 2 m ปริมาณน้ำสูบได้สูงสุด 170 L และลดลงตามระดับความสูงด้านดูด ที่ระดับความสูงด้านดูด 3.5, 5 และ 6.5 m ปริมาณน้ำที่สูบได้สูงสุด 113 L, 96 L และ 65 L ตามลำดับ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ [12] การทดลองสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำที่ควบคุมด้วยมือ จำลองการให้พลังงานความร้อนด้วยไฟฟ้า กระทั่งอุณหภูมิถึงสูบน้ำเท่ากับ 97 °C และระบายความร้อนด้วยอากาศ พบว่า ประสิทธิภาพปั๊มเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงด้านดูด ประสิทธิภาพปั๊มสูงสุดคือ 0.15% ที่ระดับความสูงด้านดูด 5 m จึงสรุปได้ว่า การเพิ่มระดับความสูงในการสูบน้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพปั๊มน้ำให้สูงขึ้น

ในงานวิจัยของ [9] ศึกษาประสิทธิภาพในการสูบน้ำในช่วง 2-8 m นาน 10 h พบว่า ระดับความสูงในการสูบน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำที่สูบได้ลดลง แต่ประสิทธิภาพปั๊มเพิ่มขึ้น ที่ระดับความสูงในการสูบ 2 m และ 8 m ปริมาณน้ำที่สูบได้เท่ากับ 2,040 L และ 1,428 L ประสิทธิภาพปั๊มเท่ากับ 0.66649% และ 1.86619% ตามลำดับ แต่การเพิ่มระดับความสูงด้านดูด

จำเป็นต้องเพิ่มความดันสุญญากาศให้มากขึ้นด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ [13] ศึกษาอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ส่งผลต่อความดันสุญญากาศของปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ พบว่า การลดอุณหภูมิและการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นส่งผลให้เกิดความดันสุญญากาศมากขึ้น ทำให้สามารถสูบน้ำในระดับความสูงด้านดูดที่เพิ่มขึ้น โดยที่จากการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำหล่อเย็นส่งผลต่อความดันสุญญากาศได้มากกว่าการลดอุณหภูมิที่หล่อเย็น

จากงานวิจัยที่ผ่านมา การสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบขับดันน้ำ มุ่งเน้นการศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อจำนวนรอบการทำงานและประสิทธิภาพปั๊มสูบน้ำ เช่น ระดับความสูงด้านดูดและด้านส่งน้ำ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ อุณหภูมิภายในถังขับดัน อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เป็นต้น ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของสัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังขับดันที่มีต่อปริมาณน้ำที่สูบได้ และหาประสิทธิภาพของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ ด้วยการจำลองแหล่งพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า และกำหนดเฮดสถิตด้านดูดและเฮดสถิตด้านส่งคงที่ เพื่อมุ่งหวังในการหาเงื่อนไขเริ่มต้นการทำงานของระบบสูบน้ำที่เหมาะสมที่สุด และมีค่าพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) ต่ำที่สุด

II. ระเบียบวิธีวิจัย

A. หลักการทำงานของระบบสูบน้ำ

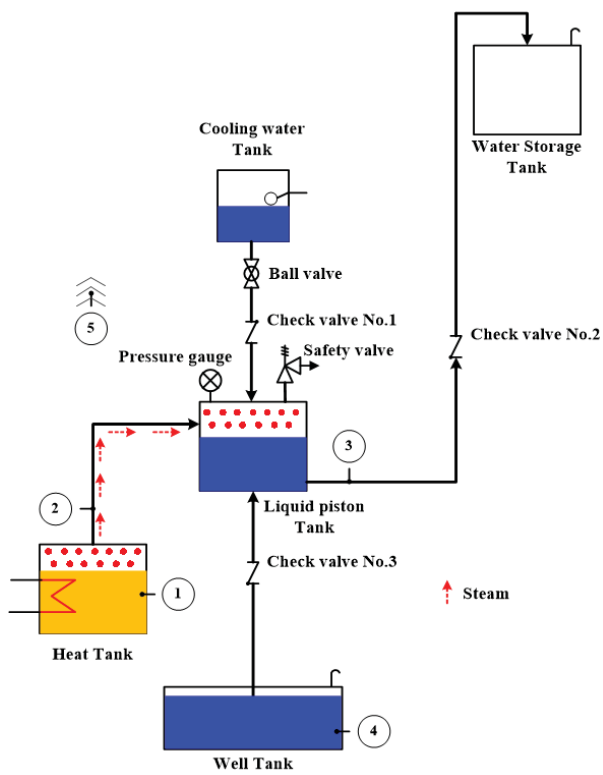
การสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำอาศัยหลักการสร้างสภาวะสุญญากาศในถังขับดัน (Liquid Piston Tank) เพื่อสูบน้ำและสร้างความดันที่มากกว่าความดันบรรยากาศในการผลักดันน้ำออกจากถังขับดัน แบ่งการทำงานเป็น 4 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงให้ความร้อน (Heating Stage) 2) ช่วงขับดันน้ำ (Water Circulating Stage) 3) ช่วงหล่อเย็น (Cooling Stage) และ 4) ช่วงสูบน้ำ (Suction Stage)

ช่วงให้ความร้อน เริ่มจากให้ความร้อนแก่น้ำในถังผลิตไอน้ำ (Heat Tank) ด้วยฮีตเตอร์ขนาด 6,000 W ที่จำลองเป็นแหล่งพลังงานความร้อนเหลือทิ้ง อุณหภูมิค่า จนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นใกล้เคียง 100 °C ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านท่อเข้าสู่ถังขับดัน ดังภาพที่ 1

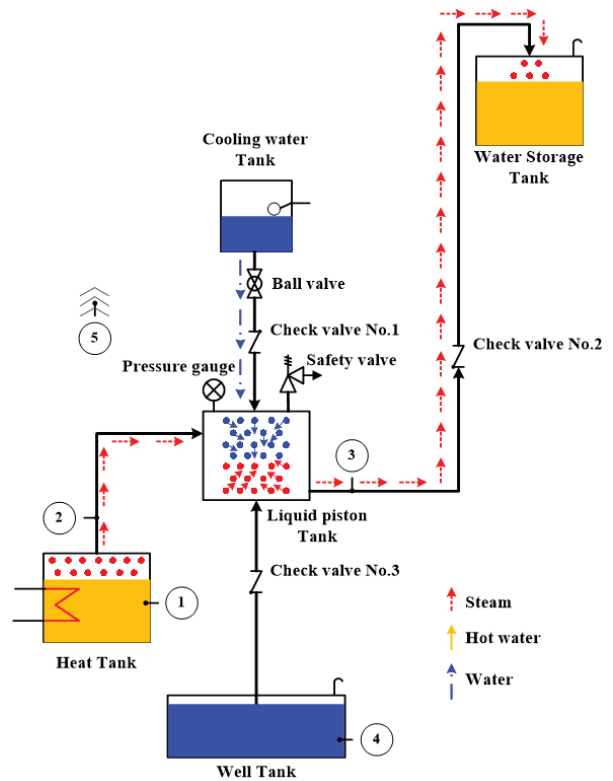
ช่วงขับดันน้ำ เมื่อไอน้ำสะสมในถังขับดันจนความดันที่เกิดขึ้นมากกว่าแรงดันของเข็ควาล์วหมายเลข 2 ทำให้สามารถขับดันน้ำที่อยู่ในถังขับดันไหลผ่านท่อไปยังถังเก็บน้ำ (Water Storage Tank) ขนาด 50.2 L ดังภาพที่ 2

ช่วงหล่อเย็น เมื่อน้ำถูกขับดันออกจากถังขับดันจนหมด กระทั่งไอน้ำไหลออกสู่บรรยากาศภายนอกที่ปลายท่อด้านส่งน้ำ ส่งผลให้ความดันภายในถังขับดันเท่ากับความดันบรรยากาศ จึงทำให้น้ำในถังหล่อเย็น (Cooling Water Tank) สามารถไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลกผ่านเข็ควาล์วหมายเลข 1 เข้าสู่ถังขับดันและเกิดการควบแน่นเนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำและน้ำหล่อเย็น ทำให้อิทธิพลเกิดสภาวะสุญญากาศ (Vacuum Stage) ชั่วขณะ ดังภาพที่ 3

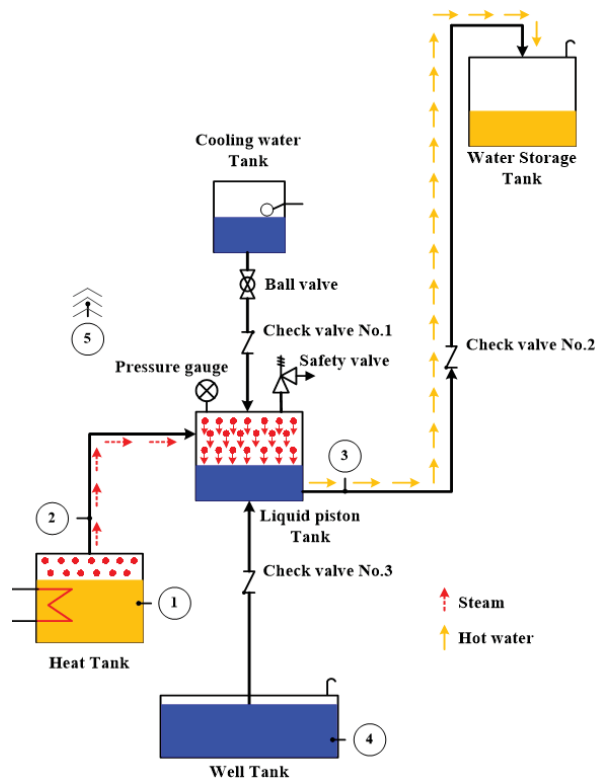
ช่วงสูบน้ำ เมื่อเกิดสุญญากาศภายในถังขับดันทำให้สามารถสูบน้ำจากแหล่งน้ำ (Well Tank) และจะหยุดก็ต่อเมื่อความดันภายในถังขับดันเท่ากับความดันบรรยากาศ น้ำที่ถูกสูบขึ้นมานั้นจะได้รับความร้อนจากไอน้ำที่มาจากส่วนผลิตไอน้ำ ดังภาพที่ 4 เพื่อเข้าสู่ช่วงขับดันน้ำต่อไป และเกิดเป็นวัฏจักรซ้ำไปเรื่อยๆ และจะหยุดก็ต่อเมื่อปริมาณความร้อนไม่เพียงพอในการสร้างสภาวะสุญญากาศและความดันของถังขับดันน้อยกว่าเฮดรวมของระบบ



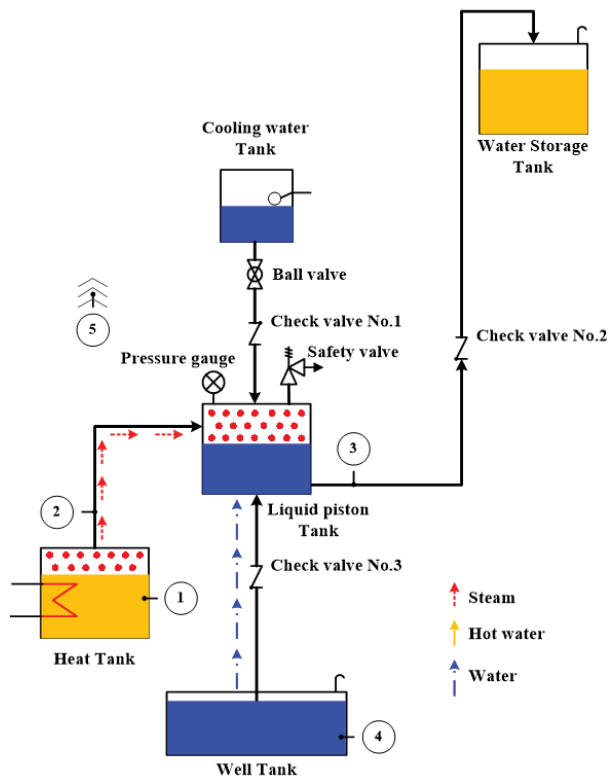
ภาพที่ 1 ไดอะแกรมระบบการทำงานของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำช่วงผลิตไอน้ำ



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมระบบการทำงานของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำช่วงหล่อเย็น



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมระบบการทำงานของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำช่วงขับเคลื่อนน้ำ



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมระบบการทำงานของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำช่วงสูบน้ำ

B. วัสดุอุปกรณ์

รายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้

1) ฮีตเตอร์ชนิดแบบจุ่ม ขนาดกำลังไฟฟ้า 6,000 W ใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับถังผลิตไอน้ำ

2) ถังผลิตไอน้ำ ลักษณะเป็นถังเหล็กทรงกระบอกแนวตั้ง ขนาดความจุถึง 13 L จำนวน 1 ถัง ติดตั้งฮีตเตอร์ชนิดแบบจุ่มให้ความร้อนกับน้ำเพื่อผลิตไอน้ำป้อนให้กับถังขับเคลื่อน

3) ถังขับเคลื่อนน้ำ มีลักษณะเดียวกับถังผลิตไอน้ำ จำนวน 1 ถัง มีท่อขนาด $\frac{1}{2}$ in เชื่อมต่อกับถังผลิตไอน้ำ ถังน้ำหล่อเย็น ถังเก็บน้ำ และแหล่งน้ำ มีหน้าที่สูบน้ำจากแหล่งน้ำและขับเคลื่อนไปยังถังเก็บน้ำ

4) ถังน้ำหล่อเย็น เป็นถังทรงกระบอกแนวตั้ง เส้นผ่านศูนย์กลาง 26 cm สูง 26 cm หนา 0.8 mm ทำมาจากสแตนเลส ขนาดความจุถึง 13.8 L มีหน้าที่บรรจุน้ำหล่อเย็นเพื่อสร้างสภาวะสุญญากาศภายในถังขับเคลื่อน

5) ถังเก็บน้ำ มีลักษณะเดียวกับถังน้ำหล่อเย็น เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm สูง 40 cm หนา 0.8 mm ทำมาจากสแตนเลส ขนาดความจุถึง 50.2 L มีหน้าที่กักเก็บน้ำที่สูบได้จากระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ

6) วาล์วกันกลับ (Check Valve) ทำมาจากทองเหลืองขนาด $\frac{1}{2}$ in ใช้ป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำในระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ

7) เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) ถูกติดตั้งไว้ 2 ตำแหน่งคือ ถังผลิตไอน้ำ และถังขับเคลื่อนไอน้ำ ใช้สำหรับสังเกตการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานของระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ

8) หัววัดอุณหภูมิชนิด K (Thermocouple type K) ยาว 2 m หัววัดยาว 30 mm ช่วงการวัดอุณหภูมิ 0 °C ถึง 400 °C ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานของระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ

9) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ในการควบคุมและประมวลผลข้อมูลอุณหภูมิจาก Thermocouple type K ที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง 0 - 800 °C ซึ่งทำงานผ่านโมดูล MAX6675 มีจอแสดงผล LCD สำหรับแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องแบบเรียลไทม์ และส่งข้อมูลทุก 5 sec ผ่าน Wi-Fi ไปจัดเก็บยังฐานข้อมูล MySQL ในเซิร์ฟเวอร์เพื่อแสดงผลในลักษณะตัวเลขหรือกราฟเพื่อการวิเคราะห์และประมวลผล

C. การวิเคราะห์ปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ มีการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความดันที่ถังขับเคลื่อน เฮตสติกด้านดูดและด้านจ่าย ปริมาตรน้ำที่สูบน้ำได้ และพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ โดยประสิทธิภาพปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ สามารถคำนวณได้จากพลังงานที่ได้ในการสูบน้ำต่อพลังงานที่ป้อนให้ระบบ ดังสมการที่ 1-3

$$\eta_p = \frac{NW_h}{Q_{input}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ η_p คือ ประสิทธิภาพปั๊ม (%) W_h คือ พลังงานที่ได้ในการสูบน้ำต่อรอบ (J) N คือ จำนวนรอบ Q_{input} คือ พลังงานที่ป้อนให้กับระบบ (J)

$$W_h = V_c \rho_w g h \quad (2)$$

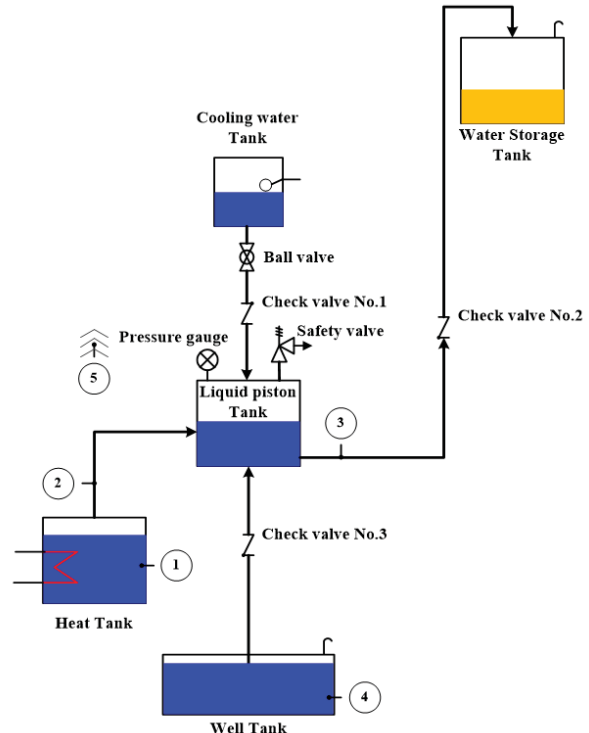
เมื่อ V_c คือ ปริมาตรน้ำที่สูบน้ำได้ต่อรอบ (m^3) ρ_w คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3) g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) h คือ ระดับความสูงในการสูบน้ำ (m)

$$\dot{Q}_{input} = m_w C_{p,w} \frac{d(T_w)}{dt} \quad (3)$$

เมื่อ $\dot{Q}_{input}$ คือ อัตราพลังงานที่ป้อนให้กับระบบ (kW) M_w คือ มวลน้ำในถังผลิตไอน้ำ (kg) $C_{p,w}$ คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$) $\frac{D(T_w)}{dt}$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิในถังผลิตไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ($^\circ C/sec$)

D. วิธีการทดลอง

ในระหว่างกระบวนการสูบน้ำของระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ อุณหภูมิภายในระบบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หัววัดอุณหภูมิชนิด K จึงถูกติดตั้งเพื่อใช้ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานของระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำทุกๆ 5 sec ตำแหน่งในการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิมี 5 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 5 ประกอบด้วย ตำแหน่งที่ 1 วัดอุณหภูมิในถังผลิตไอน้ำ (TW,HT) ตำแหน่งที่ 2 วัดอุณหภูมิในถังที่ป้อนให้ถังขับเคลื่อน (TS,LT) ตำแหน่งที่ 3 วัดอุณหภูมิในถังที่ป้อนให้ถังขับเคลื่อน (TW,LT) ตำแหน่งที่ 4 วัดอุณหภูมิในถังที่ป้อนให้ถังขับเคลื่อน (TW,WT) และตำแหน่งที่ 5 วัดอุณหภูมิบรรยากาศ (TA) โดยตลอดการทดลองอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วง 29-31 °C



ภาพที่ 5 ตำแหน่งติดตั้งจุดวัดค่า

เมื่อตรวจเช็คการทำงานของระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแล้ว ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิเข้ากับระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ ใช้ฮีตเตอร์ขนาด 6,000 W เป็นแหล่งพลังงานความร้อน กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น โดย

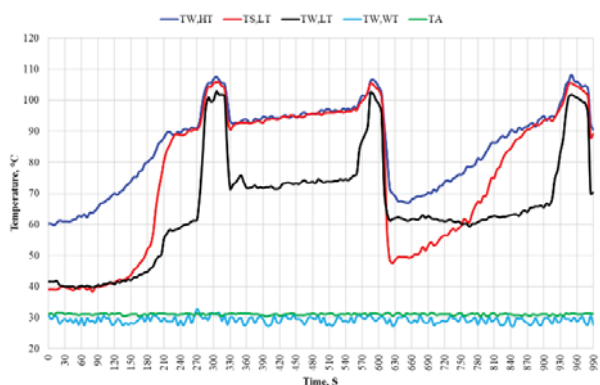
ควบคุมอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำประมาณ 60 °C และควบคุมระดับเฮดสลิตด้านดูดและด้านจ่าย เท่ากับ 1 m และ 2.5 m ตามลำดับ หลังจากนั้น มีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

- 1) บรรจุน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ ขนาด 13 L โดยคอยสังเกตระดับน้ำจากหลอดแก้ววัดระดับน้ำอยู่เสมอ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำแห้ง
- 2) บรรจุน้ำภายในถังรับตามเงื่อนไขที่กำหนด คือ ปริมาณน้ำในถังรับ ในการทดลองกรณีที่ 1 คิดเป็น 25% ของความจุถังรับ การทดลองกรณี ที่ 2 คิดเป็น 50% ของความจุถังรับ และการทดลองกรณีที่ 3 คิดเป็น 75% ของความจุถังรับ เมื่อถึงขั้นตอนนี้มีความจุ 13 L
- 3) ทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับฮีตเตอร์เพื่อทำการต้มน้ำในถังผลิตไอน้ำจ่ายให้กับถังรับ พร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 5 sec
- 4) เมื่อความดันในถังรับเพิ่มขึ้นระบบปั๊มสุบน้ำด้วยกำลังไอน้ำจะสุบน้ำจากแหล่งน้ำและจ่ายไปยังถังเก็บน้ำ ถือเป็น 1 รอบการทำงาน
- 5) รอระบบปั๊มสุบน้ำด้วยกำลังไอน้ำจะสุบน้ำทำงานจนครบ 3 cycle แล้วบันทึกปริมาณน้ำที่สุบน้ำได้ และหยุดบันทึกค่าอุณหภูมิ
- 6) ทำซ้ำตามข้อ 1 ถึง 5 โดยเปลี่ยนปริมาณน้ำในถังรับเริ่มต้นเป็น 50% ของความจุถังรับ และ 75% ของความจุถังรับ
- 7) นำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์บันทึกข้อมูลมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพปั๊มสุบน้ำ

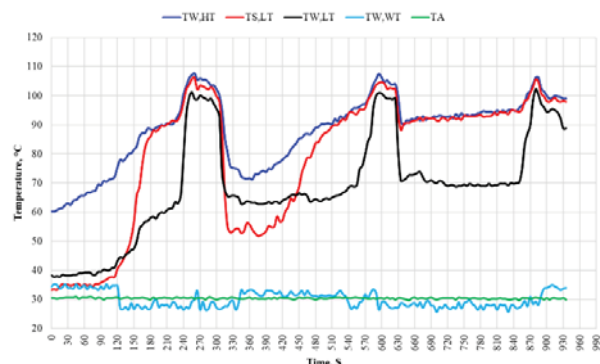
III. ผลการทดลอง

A. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในระบบปั๊มสุบน้ำกำลังไอน้ำ

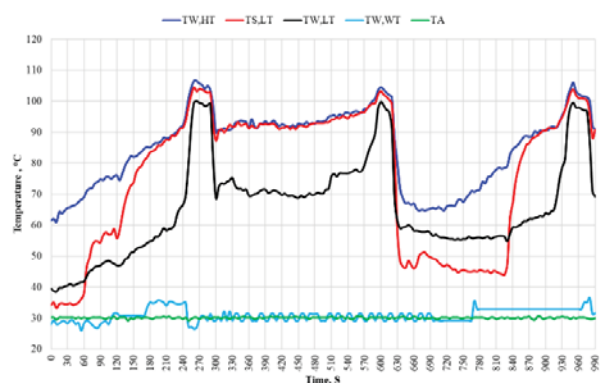
การทดลองแบ่งได้เป็น 3 กรณีตามสัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังรับดังนี้ 25% 50% และ 75% ของปริมาณความจุถังรับ เก็บข้อมูลการทำงาน 3 cycle ในแต่ละกรณีพบว่า แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำเหมือนกันทั้ง 3 กรณี โดยเริ่มให้ความร้อนจากอุณหภูมิ TW,HT เริ่มต้น 60 °C อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งอุณหภูมิใกล้เคียง 90 °C (อุณหภูมิ น้ำและอุณหภูมิไอน้ำใกล้เคียงกัน) หลังจากนั้น อุณหภูมิ TS,LT เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับอุณหภูมิไอน้ำอิมิตที่ความดัน 0.3 bar.g คือ 108 °C (ช่วงชั้นต้นน้ำ) สอดคล้องกับงานวิจัยของ [7] ที่ระบบจะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิ TS,LT มากกว่า 98 °C หลังจากนั้น อุณหภูมิ TS,LT จะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงหล่อเย็นจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงมาใกล้เคียง 90 °C ถือเป็น 1 cycle และเริ่มรับความร้อนในรอบการทำงานถัดไป ในขณะเดียวกัน อุณหภูมิ TW,LT มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับอุณหภูมิ TW,HT และ TS,LT แต่อุณหภูมิต่ำกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ [8] ที่ควบคุมความดันเกจของถังสุบน้ำ 10 kPa อุณหภูมิ TW,HT เท่ากับ 102.9 °C และ TW,LT เท่ากับ 101.1 °C ในการทำงานรอบที่ 2 สังเกตได้ว่าหลังจากช่วงหล่อเย็นเกิดสภาวะสูญญากาศ อุณหภูมิ TW,HT และ TS,LT ลดลงมากกว่าแรก เนื่องจากน้ำที่ถูกสูบเข้าถังรับดันไหลย้อนกลับเข้าสู่ถังผลิตไอน้ำ และเวลาที่เริ่มเกิดช่วงชั้นต้นน้ำรอบแรก ในกรณีสัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังรับดังนี้ 50% (ปริมาณน้ำช่วงเริ่มต้น 50%) และ 75% (ปริมาณน้ำช่วงเริ่มต้น 25%) ของความจุถังรับ ใช้เวลา 220 sec เร็วกว่ากรณีสัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังรับดังนี้ 75% (ปริมาณน้ำช่วงเริ่มต้น 25%) ของความจุถังรับ ประมาณ 20 sec ดังภาพที่ 7



(I) สัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังรับดังนี้ 75% ของความจุถังรับ



(II) สัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังรับดังนี้ 50% ของความจุถังรับ



(III) สัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังรับดังนี้ 25% ของความจุถังรับ ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในระบบปั๊มสุบน้ำกำลังไอน้ำ

B. ผลของสัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังรับที่มีต่อปริมาณน้ำที่สุบน้ำได้

จากสัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังรับดังนี้ 25%, 50% และ 75% ของความจุถังรับ ปริมาณน้ำที่สุบน้ำได้จากการทดลอง 3 cycle ดังตารางที่ 1

TABLE I. THE VOLUME OF PUMPED WATER

Case	The steam storage area ratio in the pressure vessel (%)	The volume of pumped water (mL)	The rate of pumped water (lpm)	Specific energy consumption (kJ/mL)
I	75	28,600	1.73	0.208
II	50	33,600	1.94	0.185
III	25	35,000	2.11	0.170

C. ประสิทธิภาพของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ

จากสัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังซับตันที่ 25%, 50% และ 75% ของความจุถังซับตัน ประสิทธิภาพของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำมีค่าเท่ากับ 0.004723%, 0.005297% และ 0.005759% ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 สอดคล้องกับงานวิจัยของ [14] มีประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเท่ากับ 0.00266%

TABLE II. STEAM-POWERED WATER PUMP EFFICIENCY

Case	The steam storage area ratio in the pressure vessel (%)	Steam-powered water pump efficiency (%)
I	75	0.004723
II	50	0.005297
III	25	0.005759

IV. อภิปรายผล

จากการทดลองพบว่าสัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังซับตันมีผลต่อปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ เนื่องจากเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำจะเห็นได้ว่า กรณีที่ I มีพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำ 75% ด้วยพื้นที่สะสมไอน้ำที่สูงกว่ากรณี II และ III การเพิ่มขึ้นของความดันภายในถังซับตันจึงช้ากว่า 20 sec เพราะไอน้ำสามารถกระจายตัวในพื้นที่ที่ใหญ่กว่า ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการสะสมไอน้ำและเพื่อเปลี่ยนเป็นความดันในการขับเคลื่อนน้ำที่มากกว่า ขณะเดียวกันเมื่อไอน้ำเต็มเข้าสู่พื้นที่เก็บไอน้ำ ไอน้ำบางส่วนจะเกิดการควบแน่นในช่องเหลวจนถึงจุดสมดุลระหว่างไอและของเหลว จึงทำให้ความดันสุดท้ายของกรณี I ต่ำกว่าอีก 2 กรณี จากความดันสุดท้ายในการขับเคลื่อนน้ำที่ต่ำกว่าจึงส่งผลต่อปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ต่ำที่สุดคือ 28,600 mL สอดคล้องกับงานวิจัยของ [15] ที่พบว่า สัดส่วนปริมาตรอากาศส่งผลต่อการทำงานของระบบ ปริมาตรน้ำที่สูบน้ำได้จะลดลงตามสัดส่วนของปริมาตรอากาศที่เติม ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำต่ำที่สุด คือ 0.004723% และมีค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตสูงสุด คือ 0.208 kJ/mL

V. ข้อสรุป

จากการทดลองระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำที่มีเฮดสถิตด้านดูดและด้านส่งน้ำเท่ากับ 1 m และ 2.5 m ตามลำดับ โดยวัดปริมาตรน้ำที่สูบน้ำได้จำนวน 3 cycle และควบคุมอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำ เท่ากับ 60 °C ผลการศึกษาผลของสัดส่วนพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำในถังซับตันที่มีต่อปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ สรุปได้ว่าพื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำจะแปรผกผันกับปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ พื้นที่ส่วนเก็บไอน้ำที่ลดลงจะช่วยให้ประสิทธิภาพของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำเพิ่มขึ้น สามารถสูบน้ำได้ปริมาตรสูงสุด และมีค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตต่ำที่สุด กรณีที่ III สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้คิดเป็น 18% และ 8% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี I และ II ดังนั้น จากงานวิจัยนี้กรณี III จึงเป็นเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมในการประหยัดพลังงาน แนวทางการวิจัยในอนาคตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำควรศึกษาการสร้างสภาวะสุญญากาศที่สัมพันธ์กับระดับเฮดสถิตด้านดูดด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการไหลของน้ำหล่อเย็นแบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมปริมาณน้ำหล่อเย็น

คำขอขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ตที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงเกียรติ ภาวดี ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลืออุปกรณ์เก็บข้อมูล

อ้างอิง

- [1] Energy Policy and Planning Office, "Energy situation in 2023 and trends for 2024," [Online]. Available: <https://www.eppo.go.th/images/Energy-Statistics/energyinformation/Forecast/ShorttermForecast/EnergyForecast2023.pdf>. [Accessed: Jan. 26, 2025].
- [2] Prachachat Business, "Phuket aims to reduce greenhouse gases and become a low-carbon city by 2030," [Online]. Available: <https://www.prachachat.net/local-economy/news-1371751>. [Accessed: Jan. 26, 2025].
- [3] N. Srichai, S. Kuayrakon, and C. Suwanprasit, "Water use and water demand modeling for hotel and tourism business, patong, phuket province," the Prince of Songkla University Journal of Social Sciences and Humanities, vol. 22, no. 2, pp. 255-292, May-August 2016.
- [4] S. Liengjindathawon, K. Kirtikara, P. Namprakai, and T. Kiatsiriroat, "Parametric studies of a pulsating-steam water pump," International Journal of Ambient Energy, vol. 23, no. 1, pp. 37-46, Mar. 2011, doi: 10.1080/01430750.2002.9674867.
- [5] D. Das, and M. R. Gopal, "Study on a metal hydride based solar water pump," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 29, no. 1, pp. 103-112, Jan. 2004, doi: 10.1016/S0360-3199(03)00044-2.
- [6] K. Chalermtrumrong, P. Namprakai, and N. Pratinthong, "Steam driven water pump using waste heat recovery," in The 10th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference, Nakhon Pathom, Thailand, December 6-7, 2013, pp. 1476-1483.
- [7] P. Moonsri, P. Rakkanrane, C. Inyaree, and K. Sagulpongmalee, "A thermal water pump system from charcoal for community," in The 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand, November 4-6, 2015, pp. 324-326.
- [8] P. Salapsri, J. Sitranon, K. Witinantakit, K. Narkpiban, and P. Moonsri, "A study of the gauge pressure control that affects pumping of automatic water pump system with steam," PSRU Journal of Industrial Technology and Engineering, vol. 5, no. 2, pp. 223-238, August 2023.
- [9] J. Sitranon, K. Sutthivirode, and N. Roonprasang, "The mathematical modeling for a study of suction heads of a continuous operation thermal water pump with steam system," SWU Engineering Journal, vol. 15, no. 3, pp. 89-100, September-December 2020.
- [10] K. Sutthivirode, N. Prathinthon, P. Namprakai, N. Roonprasang, and T. Suparos, (2014). "Waste heat water pumping model with direct contact cooling," Journal of Central South University, vol. 21, no. 10, pp. 3896-3910, Oct. 2014, doi: 10.1007/s11771-014-2377-6.
- [11] S. Arunyaem, "Thermal water pump with steam and air," M.S. thesis, Master of Science, Dept. Energy Tech., King Mongkut's Univ. of Tech. Thonburi., Bangkok, Thailand, 2011
- [12] P. Moonsri, J. Kunchornrat, and P. Namprakai, "Hybrid energy thermal water pump for producing hot water from a shallow well in Thailand," Journal of Energy Engineering, vol. 142, no. 3, pp. 040150231-15, Jun. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.000002.
- [13] C. Oonwised, J. Sitranon, and K. Sutthivirode, "Study of temperature and amount of cooling water affecting to vacuum pressure of steam water pump," Journal of Renewable Energy for Community, vol. 4, no. 3, pp. 107-120, December 2021.
- [14] N. Roonprasang, "A mathematical model of the solar water heater system self-circulated by a steam power," Ph.D. dissertation, Dept. Energy Tech., King Mongkut's Univ. of Tech. Thonburi., Bangkok, Thailand, 2008. [Online]. Available: <https://dric.nrct.go.th/index.php/Search/SearchDetail/209839>
- [15] J. Sitranon, C. Lertsatitthanakorn, P. Namprakai, N. Prathinthon, T. Suparos, and N. Roonprasang, "Performance enhancement of solar water heater with a thermal water pump," Journal of Energy Engineering, vol. 141, no. 4, pp. 0401403601-10, Aug. 2014, doi: 10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000216.