

ปั๊มน้ำความร้อนด้วยกำลังไอน้ำ THERMAL WATER PUMP WITH STEAM

จิรวัดน์ สิตรานนท์^{1*}, กิตติศักดิ์ วิธินันท์¹, ศรีมา แจ้คำ¹,

กรณ์ภูมิจู นาคภิบาล², เอกภูมิ บุญธรรม³

Jirawat sitranon^{1*}, Kittisak Witinantakit¹, Sririma Jakhom¹

Koranat Narkpiban², Eakpoom Boonthum³

¹ สำนักวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

³ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹ School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,
Siracha, Chonburi, Thailand, 20110

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

³ Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

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

วันที่เข้าระบบ 11 มีนาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 18 เมษายน 2565

วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบปั๊มน้ำความร้อนด้วยกำลังไอน้ำ การใช้แหล่งพลังงานความร้อนในแบบต่างๆ การศึกษาระดับความสูง ปริมาณและอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น ปริมาณอากาศภายในระบบที่ส่งผลกระทบต่อ การขับเคลื่อนและการสูบน้ำ จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการใช้กำลังไอน้ำขับเคลื่อนและสูบน้ำเป็นแนวทางในการเพิ่มความสามารถในการปั๊มน้ำ โดยการอาศัยกำลังไอน้ำที่ผลิตได้ขับเคลื่อนน้ำและการระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น การลดอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นและเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็น รวมถึงการหล่อเย็นด้วยน้ำโดยตรงจะส่งผลให้ระบบสามารถสูบน้ำได้ ที่ระดับความลึกมากขึ้นได้ เนื่องจากการทำให้อุณหภูมิภายในถังสูบน้ำลดลงอย่างรวดเร็วจนเกิดการควบแน่นเป็นความดันสุญญากาศ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิภายในถังลดลง ความดันสัมบูรณ์ก็จะลดลงตามระบบจึงสูบน้ำที่ระดับความสูงมากขึ้น สัดส่วนปริมาณอากาศภายในระบบสามารถเพิ่มความดันในการขับเคลื่อนน้ำได้ แต่หลังจากการขับเคลื่อนน้ำเสร็จสิ้นแล้วจะต้องขับเคลื่อนอากาศภายในระบบออกพร้อมกับการระบายไอน้ำ เพื่อให้ระบบมีความดันใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ เนื่องจากอากาศยุบตัวได้ยากจึงเป็นอุปสรรคในการควบแน่น ดังนั้นระบบจะต้องเริ่มเติมปริมาณอากาศใหม่ทุกรอบการทำงาน ในส่วนของประสิทธิภาพปั๊มน้ำจะขึ้นอยู่กับพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบและปริมาณน้ำที่สูบได้กับระดับความสูงรวมในการปั๊มน้ำ ดังนั้นการลดอุณหภูมิภายในถังสูบน้ำในจังหวะการหล่อเย็นจะเพิ่มความดันสุญญากาศทำให้ระบบสูบน้ำได้ในระดับความลึกที่สูงขึ้น และแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพปั๊มน้ำ

จากการลดการสูญเสียพลังงานที่ป้อนเข้าระบบสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบในการทำงานให้ได้มากกว่าหนึ่งรอบ และการเพิ่มปริมาณน้ำที่สูบได้ต่อรอบด้วยวิธีการเพิ่มขนาดถังสูบน้ำ เมื่อระบบสามารถสูบน้ำได้ในระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพปั๊มก็จะสูงขึ้นตาม

คำสำคัญ: การหล่อเย็นด้วยน้ำโดยตรง, ประสิทธิภาพปั๊มน้ำ, ปั๊มน้ำพลังงานความร้อน

Abstract

This research aimed to study operating principles of steam-powered thermal water pump, the use of various heat sources, height level study, coolant quantity and temperature, and air quantity in the system affecting driving and pumping water. From the previous studies, it was found that using steam to drive and pump water was a way to increase pumping capacity. This was relied on the steam power produced to drive water and release heat by the coolant. Reducing the coolant temperature, increasing the coolant volume, and direct water cooling allowed the system to pump water at greater depths. This was due to fast dropping temperature in the tank leading to condensation and vacuum pressure. Therefore, as the temperature inside the tank dropped, the absolute pressure also dropped, so the system was able to pump at a higher level. Moreover, the proportion of air inside the system could increase the water-driving pressure. Therefore, after driving water was completed, the air inside the system had to be released along with steam ventilation to get the system pressure to be as close to the atmospheric pressure as possible. Condensation was still problematic because air collapse was difficult, so the system needed filling new air in every operating cycle. In terms of pump efficiency, it depended on the input power into the system and the amount of water pumped and the total height of water pumping. Therefore, reducing the temperature inside the pumping tank during the cooling process was able to increase the vacuum pressure, and this allowed the system to pump at a greater depth. To increase pump efficiency by reducing the loss of energy supplied to the system can be achieved by increasing the number of operating cycles that is more than one cycle. In addition, by increasing the amount of water pumped per cycle and increasing the pump tank size when the system can pump water at a higher level, the pump efficiency is also increased.

Keywords: Direct water cooling, Pump efficiency, Thermal water pumping

1. บทนำ

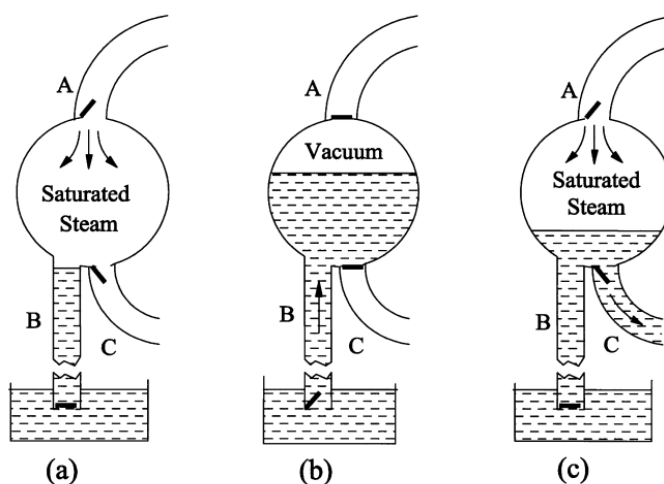
การใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภคมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ ทั้งภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรม โดยภาคการเกษตรมีปริมาณการใช้น้ำสูงที่สุดถึงร้อยละ 75 และในภาคอุตสาหกรรมและการบริการมีปริมาณการใช้น้ำน้อยที่สุด (ร้อยละ 3) ส่วนในภาคอุปโภค ของครัวเรือนการใช้น้ำร้อยละ 4 ถ้าดูจากปริมาณการใช้น้ำจะพบว่าในภาคการเกษตรจะใช้พลังงานใน การขับเคลื่อนน้ำ (การสูบน้ำ) สูงขึ้นตามปริมาณการใช้น้ำ ซึ่งปัจจุบันการใช้พลังงานในการสูบน้ำ มี หลากหลายรูปแบบ มีทั้งการใช้ไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้กำลังไอน้ำ ดังนั้นพลังงานที่ใช้ใน การสูบน้ำจึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลการพบกับค่าใช้จ่ายในการอุปโภคและบริโภคน้ำโดยตรง ระบบสูบน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้พลังงานสะอาด โดยระบบสูบน้ำพลังงาน แสงอาทิตย์ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ไฟฟ้า และความร้อน การผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับ การสูบน้ำในปัจจุบันมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง แต่ยังมีข้อจำกัดและราคาสูง เนื่องจากการ เปลี่ยนค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ายังมีประสิทธิภาพต่ำอยู่ ดังนั้นการใช้ความร้อนใน การสูบน้ำโดยการเปลี่ยนค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เป็นความร้อนโดยตรงจะมีประสิทธิภาพสูง (Mohamed *et al.*, 2022) โดยการอาศัยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน การ พัฒนาระบบสูบน้ำให้มีปริมาณการสูบต่อรอบสูงขึ้นโดยการเพิ่มขนาดถังสูบน้ำให้มีปริมาตรใหญ่ขึ้น แต่ระบบสามารถทำงานได้เพียงรอบเดียว (Sitranon *et al.*, 2014) แบบทางจำลองทางคณิตศาสตร์ ของการทำงานแบบต่อเนื่องของระบบสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ ที่เพิ่มขนาดและจำนวนถังสูบน้ำให้ใหญ่ และมีจำนวนมากขึ้น ทำให้ระบบสามารถสูบน้ำได้หลายรอบต่อวัน และทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ ปริมาณน้ำที่สูบได้ต่อวันมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพปั้มน้ำสูงขึ้นตาม แต่เมื่อเพิ่มระดับ ความสูงในการสูบน้ำระบบจะต้องสร้างความดันสุญญากาศให้สามารถเอาชนะระดับความสูงที่ใช้ใน การสูบน้ำ และการสูญเสียของของไหลภายในท่อสูบน้ำด้วย (จิรวัดน์ และคณะ, 2563) โดยการศึกษา อุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ส่งผลต่อระดับความสูงในการสูบน้ำ ยังประสบปัญหาการทำงานที่ สามารถดำเนินการสูบน้ำได้เพียงหนึ่งรอบการทำงาน (ฉัตรชัย และคณะ, 2564) ดังนั้น จากการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมาของระบบปั้มน้ำความร้อนด้วยกำลังไอน้ำ การศึกษาแนวทางการสูบน้ำด้วยความ ร้อนและวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การใช้แหล่ง พลังงานความร้อนในรูปแบบต่างๆ การศึกษาปริมาณและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น การศึกษาปริมาณ อากาศภายในระบบ การศึกษาระดับความสูงในการสูบน้ำ ที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการขับเคลื่อนและการสูบน้ำ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพปั้มน้ำ

2. จุดเริ่มต้นของเครื่องสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ

เครื่องจักรไอน้ำ (Steam engine) เป็นเครื่องยนต์ประเภทสันดาปภายนอก โดยจะใช้การต้ม น้ำให้เดือดจนกลายเป็นไอซึ่งคุณสมบัติของไอน้ำจะมีความดันสูง จึงนำเอาความดันของไอน้ำมาใช้ ผลักดันลูกสูบเพื่อให้เกิดแรงเอาไปใช้งาน สำหรับผู้ที่ริเริ่มนำหลักการของไอน้ำมาใช้ในเครื่องจักรเป็น คนแรกคือ โทมัส ซาเวอรี (Thomas Savery) โดยได้จดทะเบียนเครื่องจักรไอน้ำที่เขาได้ประดิษฐ์ขึ้น ในปี ค.ศ. 1698 ได้ใช้ชื่อว่า เครื่องสูบน้ำเซฟเวอรี (Savery pump) ถือว่าเป็นเครื่องยนต์เครื่องแรกที่ นำพลังงานไอน้ำมาใช้เป็นพลังงานกล (Jenness, 1961) ต่อมาในปี ค.ศ. 1712 โทมัส นิวโคเมน (Thomas Newcomen) ได้ออกแบบสร้างเครื่องสูบน้ำโดยได้ใช้ชื่อว่า เครื่องสูบน้ำแบบนิวโคเมน โดยถือเป็นเครื่องจักรไอน้ำแบบแรกที่ใช้จริง ทำงานด้วยความดันของบรรยากาศ ที่เรียกว่า Atmospheric engine ต่างกับเครื่องจักรไอน้ำรุ่นก่อน ซึ่งทำงานด้วยความดันของไอน้ำ และได้ใช้ เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังในอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายทั่วยุโรป ซึ่งเครื่องจักรไอน้ำแบบ บรรยากาศนี้ ถือได้ว่าเป็นเครื่องยนต์ไอน้ำที่เป็นพื้นฐาน ข้อเสียของเครื่องสูบน้ำของนิวโคเมน คือ 1) มีประสิทธิภาพต่ำมาก คือ ต่ำกว่าร้อยละ 1 เนื่องจากเมื่อฉีดน้ำเข้าไปในกระบอกสูบ ทำให้กระบอก สูบเย็น พอใส่ไอน้ำเข้าไปใหม่ ไอน้ำบางส่วนก็กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ทำให้เสียเวลาและไอน้ำเพื่อทำให้ กระบอกสุปร้อนใหม่ และสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก 2) การทำให้ก้านสูบหมุนวงล้อมีปัญหา วงล้อหมุน กระตุกๆ เนื่องจากลูกสูบให้กำลังเฉพาะตอนดูดลงเท่านั้น จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1763 เจมส์ วัตต์ (James Watt) ได้ทำการซ่อมเครื่องสูบน้ำของนิวโคเมน และปรับปรุงเครื่องจักรไอน้ำของนิวโคเมนให้ ทำงานดีขึ้น โดยแก้ข้อเสียทั้งสองประการ พัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และใช้เชื้อเพลิงน้อยลง ตลอดระยะเวลา 128 ปี คือช่วงปี ค.ศ. 1763-1891 ระบบเครื่องจักรไอน้ำมีบทบาทสำคัญมากในภาค การเกษตรและอุตสาหกรรม เพราะใช้เชื้อเพลิงจากฟืนไม้หรือถ่านหิน จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1891 Jenness (1961) ได้เสนอหลักการสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยปั้มน้ำแบบซาเวรี ซึ่ง โทมัส ซาเวรี ได้จดสิทธิบัตรในปี ค.ศ. 1698 ที่ประเทศอังกฤษ หลักการทำงานของปั้มน้ำแบบซาเวรี ดังแสดงใน ภาพที่ 1

จากภาพที่ 1 เปิดวาล์ว A ให้ไอน้ำที่ผลิตจากพลังงานความร้อนไหลเข้ามาในถังและไล่อากาศ ออกทางวาล์ว C เมื่อไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงเย็นตัวลง จะเกิดการควบแน่นทำให้ความดันภายในถังต่ำ กว่าความดันบรรยากาศ ปิดวาล์ว A และวาล์ว C เปิดวาล์ว B ระบบจะสูบน้ำที่วาล์ว B เมื่อสูบน้ำ เสร็จสิ้นจนกระทั่งภายในถังความดันภายในถังเท่ากับบรรยากาศ ปิดวาล์ว B แล้วเปิดวาล์ว A เพื่อให้ไอน้ำเข้าไปในถัง และดันน้ำออกที่วาล์ว C และทำงานในลักษณะเดียวกันในรอบต่อ ๆ ไป และ ได้ปรับปรุงการทำงานให้เป็นแบบอัตโนมัติ พบว่า ระบบจะต้องผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยให้ใช้ตัวรวมแสง Collector พื้นที่ 1 ตารางเมตร ดังภาพที่ 2 เป็นตัวรับรังสี อาทิตย์ แล้วส่งไปยังหม้อต้มน้ำ B เมื่อน้ำได้รับความร้อนก็จะระเหยจนกลายเป็นไอ ผ่านท่อไอน้ำ C ที่

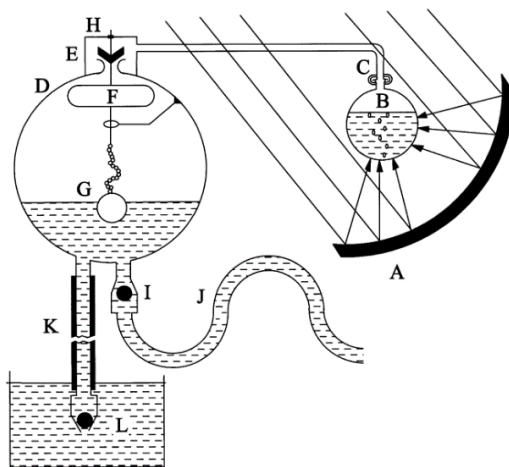
ยึดกับฝาหม้อต้มน้ำเพื่อความปลอดภัย ผ่านวาล์วกันกลับ E และเข้าสู่ถังขับเคลื่อน D วาล์วกันกลับ E จะปิดเมื่อระดับน้ำในถังขับเคลื่อน D ลดระดับลงจน ลูกลอย G ต่ำลงจนถึงวาล์วกันกลับ E ลงมาปิด เมื่อน้ำในถังขับเคลื่อนถูกขับเคลื่อนออกที่วาล์ว I ผ่านท่อ J จนหมดจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำภายในถังขับเคลื่อน D ทำให้เกิดสุญญากาศและทำให้วาล์ว I ปิด ส่วนวาล์ว L ก็จะเปิดเนื่องจากการเกิดสุญญากาศภายในถังขับเคลื่อน D ทำให้ไอน้ำเข้าสู่ถังขับเคลื่อน D จนลูกลอย F ดันวาล์ว E ให้เปิด เพื่อให้ไอน้ำไหลเข้าสู่ถังขับเคลื่อน D วาล์วกันกลับ L จะปิด และขับเคลื่อนน้ำในถัง D ออกโดยผ่านวาล์ว I เป็น 1 รอบการทำงาน ในงานวิจัยนี้ไม่ได้บอกรายละเอียดของความสูงในการสูบน้ำ



ภาพที่ 1 ปั๊มสูบน้ำแบบชาเวรี

(Jenness, 1961)

หลักการทำงานของเครื่องขับเคลื่อนน้ำโดยใช้พลังงานไอน้ำ ยศสวิน กายนันท์ (2543) ได้สมมูลสมการพลังงาน (Energy equation) เป็นสมการที่ได้จากการใช้หลักการทรงพลังงาน (Principle of conservation of energy) กับของไหลเคลื่อนที่ พลังงานที่เกิดจากของไหลเคลื่อนที่ประกอบไปด้วยพลังงานจากความดัน ความเร็ว และตำแหน่ง นอกจากนี้แล้วยังอาจมีพลังงานที่เพิ่มให้กับของไหลหรือพลังงานที่สูญเสียเกิดขึ้นอีกด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาสมการเบอร์นูลลี กรณีของไหลอัดตัวไม่ได้และมีการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการไหลของของไหล ดังสมการที่ 1



ภาพที่ 2 ปัมป์สูบน้ำแบบซาเวรีทำงานอัตโนมัติ

(Jenness, 1961)

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 - h_L = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (1)$$

เมื่อ	P_1	=	ความดันไอของถังเก็บน้ำร้อน (กิโลปาสกาล)
	v_1	=	ความเร็วที่ทางเข้าท่อส่งน้ำไหลกลับ (เมตรต่อวินาที)
	z_1	=	ความสูงที่จุด 1 (เมตร)
	h_L	=	การสูญเสียความดันของของไหลที่ออกจากถังพลังงานไอน้ำจนถึงถังเก็บน้ำด้านบน (เมตร)
	P_2	=	ความดันที่ปลายท่อส่งน้ำไหลกลับ (กิโลปาสกาล)
	v_2	=	ความเร็วที่ปลายท่อส่งน้ำไหลกลับ (เมตรต่อวินาที)
	z_2	=	ความสูงระหว่างท่อทางเข้าถังเก็บน้ำด้านบนกับระดับน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (เมตร)
	ρ	=	ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	g	=	ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
	$\frac{P_1}{\rho g}$	=	เรียกว่า Pressure head, แทนพลังงานความดันต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล

อันเนื่องมาจากความดันในของไหล

$$\frac{v_1^2}{2g} \text{ เรียกว่า Velocity head, แทนพลังงานจลน์ต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล อันเนื่อง}$$

มาจากความเร็วของของไหล

z_1 เรียกว่า Elevation head, แทนพลังงานศักย์ต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล อันเนื่องมาจากระดับของของไหล

การทำงานของเครื่องขับเคลื่อนน้ำโดยใช้พลังงานไอน้ำ เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบการหมุนเวียนน้ำโดยใช้พลังงานความร้อน โดยการออกแบบจากหลักการพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันของวัฏจักร ทำให้เกิดกระบวนการส่งความร้อนและปั๊มด้วย Pressurizing water และ Pressurizing vapor และมีการไหลเวียนความร้อนจากด้านบนสู่ด้านล่างโดยธรรมชาติ (Self-pumping) มีแหล่งผลิตความร้อนด้วยฮีตเตอร์เป็นระบบที่มีขนาดเล็ก ข้อดีของระบบสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องควบคุม (Self-controlling) ไม่มีการใช้ปั๊มด้วยไฟฟ้าและไม่มีการใช้ไฟฟ้าควบคุม วาล์วต่าง ๆ ในภาพที่ 3 แสดงหลักการทำงานพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic) และ กลศาสตร์ของไหล (Fluid mechanic) จากภาพที่ 3 (ก) แสดงการสมดุลระหว่างความดัน ที่ปลายท่อทั้งสองข้างซึ่งมีระดับของไหลทั้งสองข้างอยู่ระดับเดียวกัน ไม่มีงานและความร้อนเข้าสู่ระบบ จะได้ดังสมการที่ 2

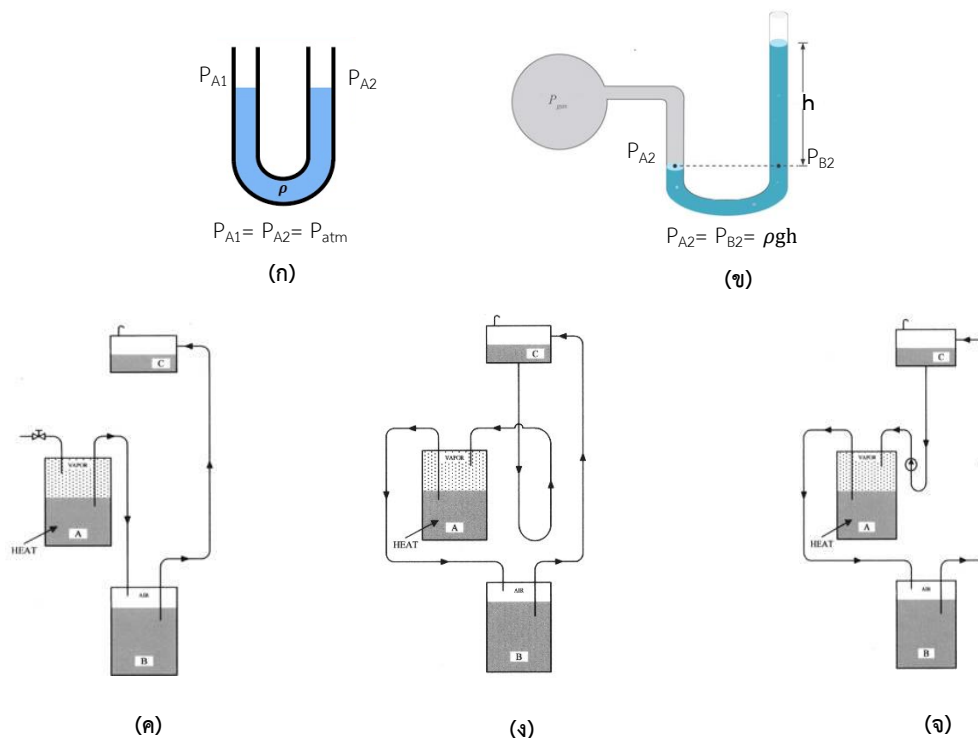
$$P_{A1} = P_{B2} = P_{atm} \quad (2)$$

เมื่อ P_{A1} = ความดันที่กระทำกับของเหลวท่อข้างซ้าย (กิโลปาสกาล)
 P_{B1} = ความดันที่กระทำกับของเหลวท่อข้างขวา (กิโลปาสกาล)
 P_{atm} = ความดันบรรยากาศ (กิโลปาสกาล)

ในภาพที่ 3 (ข) แสดงการให้ความร้อนเข้าสู่ระบบที่ภาชนะ A ของเหลวเมื่อได้รับความร้อนกลายเป็นไอน้ำมีความดันเท่ากับ P_{A2} แล้วไหลออกไปขับเคลื่อนของเหลวในท่อตัวอยู่ที่ข้างซ้าย มีระดับของเหลวลดลงและมีความดันที่ผิวของเหลวเท่ากับ P_{A2} ส่วนข้างขวาของเหลวมีระดับสูงขึ้นเท่ากับ h สามารถอธิบายได้ว่าความดัน P_{A2} และ P_{B2} อยู่ในระดับเดียวกันจะมีความดันที่เท่ากัน และ P_{B2} เป็นความดันที่เกิดจากน้ำหนักของของไหลที่มีความสูงเท่ากับ h สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3 ดังนี้

$$P_{A2} = P_{B2} = \rho gh \quad (3)$$

เมื่อ P_{A2} = ความดันไออิ่มตัวที่ภาชนะ A (กิโลปาสกาล)
 P_{B2} = ความดันที่เกิดจากความสูงของของไหล (กิโลปาสกาล)



ภาพที่ 3 หลักการพื้นฐานของเครื่องปั๊มน้ำโดยใช้พลังงานไอน้ำ
(ยศสวิน กายนันท์, (2543)

- ρ = ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
 g = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
 h = ความสูงของของไหล (เมตร)

จากความสัมพันธ์ในสมการ (3) ถ้าเราทราบค่า h สามารถคำนวณหาค่า P_{B2} ที่ใช้ในระบบการปั๊มน้ำของเหลวได้ ระบบมีการทำงานในลักษณะนี้ถือว่าการส่งความร้อนและปั๊มด้วย Pressurizing vapor (การปั๊มน้ำของเหลวด้วยไอ) ในภาพที่ 3 (ค) มีการทำงานคล้ายกับภาพที่ 3 (ข) มีการปรับปรุงให้ท่อส่งน้ำร้อนที่อยู่ในภาชนะ A ให้จมอยู่ในของเหลวซึ่งภายในภาชนะ A บรรจุอากาศและของเหลว โดยมีท่อน้ำเข้าเปิด-ปิดด้วยวาล์วแล้วนำภาชนะ B มาต่อเข้ากับท่อทางออกของภาชนะ A โดยมีท่อทางเข้าภาชนะ B อยู่ในส่วนของอากาศและภายในบรรจุอากาศและของเหลว โดยมีท่อทางออกให้ของเหลวไหลขึ้นสู่ด้านบนเข้าภาชนะ C มีการทำงานของระบบดังนี้ เมื่อให้ความร้อนกับภาชนะ A อากาศ และของเหลวที่อยู่ภายในมีอุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น อากาศส่วนหนึ่งไม่สามารถไหลออกได้เพราะวาล์วอยู่ในลักษณะปิด อากาศส่วนที่เหลือมีการขยายตัวขับเคลื่อนของเหลวที่

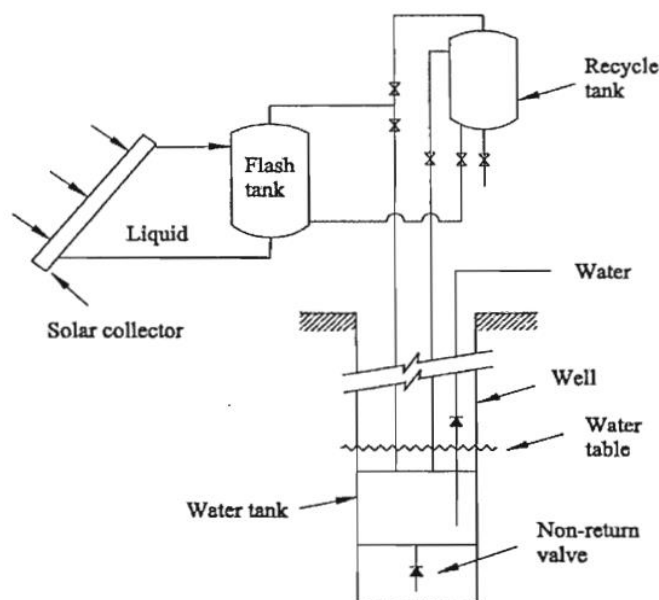
อยู่ภายในภาชนะ A ให้ไหลออกมาท่อส่งน้ำร้อนเข้าสู่ภาชนะ B แล้วมาถ่ายเทความร้อนให้กับของเหลวในภาชนะ B จากการพิจารณาสมดุลมวลที่ภาชนะ B พบว่ามวลที่ไหลเข้าภาชนะ B เท่ากับมวลที่ไหลออกจากภาชนะ B ของเหลวที่ไหลออกส่วนหนึ่งไหลขึ้นสู่ด้านบนเข้าภาชนะ C ได้ การทำงานที่หมุนเวียนในลักษณะนี้ถือว่าการส่งความร้อนและปั๊มด้วย Pressurizing water (การขับเคลื่อนของเหลวด้วยของเหลว) เมื่อภาชนะ A ได้รับความร้อนจนกระทั่งปลายท่อส่งน้ำร้อนที่อยู่ภายในมีระดับสูงกว่าของเหลว ไส้ส่วนหนึ่งสามารถไหลออกจากภาชนะ A เข้าสู่ภาชนะ B ทำให้มีความดันเพิ่มขึ้น ไอที่อยู่ภายในภาชนะ B ขับดันของเหลวให้ไหลออกทางท่อส่งน้ำ การทำงานลักษณะนี้เป็น การส่งความร้อนและปั๊มด้วย Pressure vapor จนกระทั่งปลายท่อส่งน้ำที่อยู่ในภาชนะ B มีระดับสูงกว่าของเหลว ไส้จากภาชนะ A และ B ไหลออกทางท่อส่งน้ำร้อนแล้วมาระบายไอที่ภาชนะ C ความดันของภาชนะ A และ B จึงมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ทำการเปิดวาล์วน้ำป้อนน้ำน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลเข้าภาชนะ A และ B จนกระทั่งมีระดับน้ำภาชนะทั้งสองมีระดับเท่ากับก่อนการทดลองระบบจะมีการทำงานครบ 1 รอบ พร้อมทั้งจะทำงานในรอบต่อไป สามารถอธิบายได้ว่าระบบนี้มีการไหลเวียนของความร้อนจากด้านบนสู่ด้านล่าง (Downward heat transport system) ในภาพที่ 3 (ง) แสดงระบบการหมุนเวียนน้ำโดยใช้พลังงานความร้อนมีการส่งความร้อนและปั๊มด้วย Pressurizing water ระบบนี้มีการทำงานคล้ายกับระบบในภาพที่ 3 (ค) ซึ่งมีการพัฒนาและปรับปรุงเพิ่มจังหวะการป้อนน้ำจากถังน้ำป้อน C ที่อยู่ด้านบนน้ำป้อนมาเข้าภาชนะ A มีการทำงานในช่วงเริ่มต้นเหมือนกับระบบในภาพที่ 3 (ค) มีความแตกต่างของไอที่อยู่ภายใน ภาชนะ A สามารถที่ไหลย้อนกลับทางท่อน้ำป้อนแต่ไหลไม่สะดวกเพราะมีความดันด้านเกิดจากความสูงของน้ำในถังน้ำป้อนส่วนการทำงานเมื่อสิ้นสุดการระบายไอความดันที่ภาชนะ A และ B มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ น้ำที่อยู่ในถังน้ำป้อนมีความดันสูงกว่าสามารถไหลเข้าสู่ภาชนะ A และ B ระบบสามารถทำงานในรอบต่อไปได้ จากการทดลองพบว่าระบบมีข้อเสียเกิดจากการสูญเสียความดันไอสวนหนึ่งไหลต้านกับความดันของน้ำป้อนในจังหวะการส่งความร้อนและปั๊ม ส่งผลให้ระบบทำงานได้ช้า ในภาพที่ 3 (จ) การพัฒนาและปรับปรุงระบบในภาพที่ 3 (ง) โดยการติดตั้งวาล์วกันกลับแบบลิ้นยกที่ท่อน้ำป้อนระหว่างแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงกับถังน้ำป้อน จากการทดลองพบว่าใช้ระยะเวลาการทำงานต่อรอบน้อยลง และมีการไหลเวียนของความร้อนมากขึ้นส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีการสูญเสียความดันไอในการส่งความร้อนและปั๊มในระหว่างที่ระบบทำงาน

จากการเริ่มต้นใช้กำลังไอน้ำมาประยุกต์ใช้กับการสูบน้ำหรือปั๊มน้ำ โดยอาศัยหลักการของความดันที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ที่เกิดจากแหล่งความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ และการระบายความร้อน ทำให้ระบบสูบน้ำเป็นจังหวะขับเคลื่อนในช่วงที่อุณหภูมิสูง และสูบน้ำในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ

3. การปั้มน้ำด้วยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

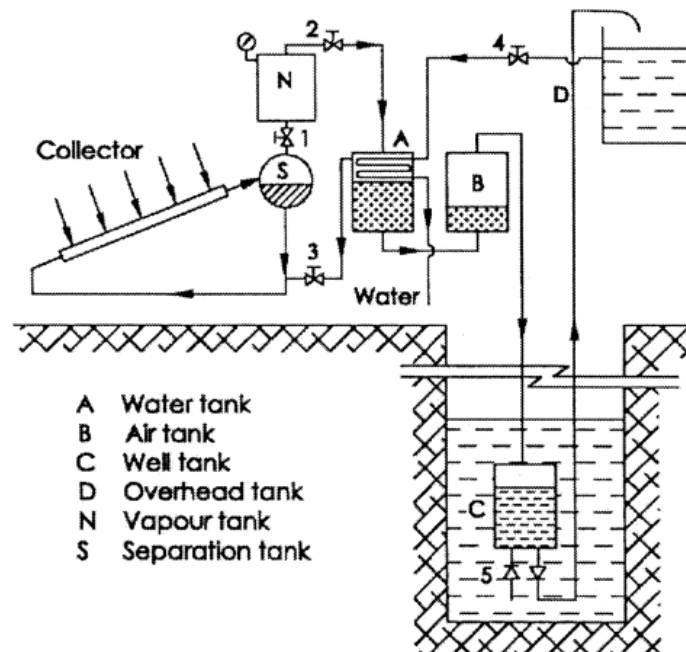
3.1 การหมุนเวียนสารทำงานแบบธรรมชาติ

Rao & Rao (1976) ใช้ปั้มน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์สูบน้ำเพื่อการชลประทาน ซึ่งได้รับการพัฒนาทดสอบ ในบทความนี้ใช้หลักการเทอร์โมไดนามิกส์ และออกแบบปั้มได้อธิบายไว้ดังภาพที่ 4 ปั้มนี้ไม่มีอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่ยกเว้นวาล์วกันกลับ (Check valve) ไม่มีแหล่งกำลังมาเสริม หรือทักษะทางเทคนิคที่ต้องการในการทำงานของปั้ม ทำให้การออกแบบปั้มทั้งสองแบบเหมาะสมที่สุดสำหรับการยกน้ำในการชลประทานในที่ชนบท โดยปั้มนี้จะไม่มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบวัน แต่ในโอกาสที่ใช้สารทำงานที่ราคาแพง การศึกษาความเป็นไปได้ของปั้มชี้ให้เห็นว่าปั้มทั้งสองแบบได้จากการพัฒนาในทางเศรษฐศาสตร์ และเป็นประโยชน์กับชาวนาในประเทศอินเดียปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้มีความดันขับเคลื่อนให้น้ำเคลื่อนที่ในระดับที่สูงขึ้น การวิเคราะห์วัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์การทำงานของปั้มใช้เพนเทนเป็นสารทำงานทำให้เกิดความดันของน้ำในถังปิด ทำให้เกิดการสูบน้ำได้ในระดับที่สูงขึ้น เมื่อเกิดการควบแน่นทำให้เกิดสุญญากาศ จึงทำให้สูบน้ำเข้ามาในถังได้และเกิดการควบแน่นทำได้ 2 วิธี คือการใช้อากาศ และน้ำหล่อเย็นปั้ม เพื่อทำให้ควบแน่นของไอนอกจากนี้ก็ได้จากการปั้มจะส่งผลให้เกิดการควบแน่นได้เหมือนกัน



ภาพที่ 4 ระบบสูบน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์แบบหล่อเย็นด้วยอากาศ

(Rao & Rao, 1976)



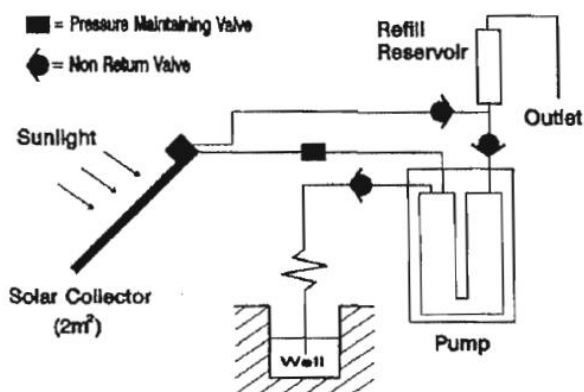
ภาพที่ 5 เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้สารเอทิลเออร์เป็นสารทำงาน
(Wong & Sumathy, 2001)

Wong & Sumathy (2001) ได้ศึกษาการปั้มน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หลักการทำงานของระบบนี้ทำงานโดยสารทำงาน (สารเอทิลเออร์) รับความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบทำให้ระเหยกลายเป็นไอ เข้าสู่ถังเก็บไอ N เมื่อความดันไอของสารทำงานในถังเก็บไอน้ำมากขึ้นก็จะดันน้ำในถังเก็บน้ำ A ให้ไหลไปยังถังเก็บอากาศ B เมื่อน้ำเข้าไปในถังเก็บอากาศมากขึ้นทำให้ความดันของอากาศมีค่าสูงขึ้น อากาศก็จะดันน้ำในบ่อขึ้นสู่ถังเก็บน้ำด้านบน D หลังจากนั้นก็จะทำการปล่อยเย็นสารทำงานเพื่อจะทำงานในรอบต่อไป จากการทดลองพบว่า ระดับความสูง (จากตำแหน่ง C ถึง D) เครื่องสามารถส่งน้ำขึ้นไปได้ 10 เมตร แสดงดังภาพที่ 5

3.2 การหมุนเวียนสารทำงานกำลังไอน้ำ

Picken *et al.* (1997) ได้ทำการทดลองตัวเก็บสะสมพลังงานความร้อนรังสีอาทิตย์ ที่ทำให้เกิดอุณหภูมิมากถึง 200 องศาเซลเซียส ความพอเพียงในการสร้างความดันไอน้ำที่ 15 บาร์ (ความดันสัมบูรณ์) หรือการส่งน้ำไปยังถังด้านบนที่ประมาณ 150 เมตร ซึ่งเครื่องส่งน้ำจะเป็นตัวขับเคลื่อนโดยตรง โดยใช้น้ำในการขับเคลื่อนราคาต้นทุนไม่แพงด้วยเหตุนี้ปริมาณที่ส่งน้ำจึงมีข้อจำกัดของปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจะมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง เนื่องจากสูญเสียความร้อนระหว่างกระบวนการระบายความร้อนระบบนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีการบรรจุท่อระบายความร้อนในท่อระบายน้ำออก ซึ่งเป็นอุปกรณ์อย่างง่าย ความร้อนที่ใส่ให้แก่ไอน้ำนั้นเกิดขึ้นโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไอน้ำดังภาพที่ 6 พื้นฐานหลักในจุดประสงค์ของระบบที่แสดงให้เห็นถึงแบบผังของระบบที่มี 2 หลักการใน

จุดประสงค์ของระบบที่แสดงให้เห็นถึงแบบผังของระบบที่มี 2 หลักการพื้นฐานของระบบเครื่องส่งน้ำ และตัวสะสมพลังงานความร้อน ซึ่งตัวเก็บสะสมและสัมผัสประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 24 ราคาตัวสะสมพลังงานความร้อน 350 ปอนด์ต่อตารางเมตร ได้ถูกนำมาใช้ เพราะลักษณะที่เป็นชุดซึ่งถูกใช้ใน ห้องปฏิบัติการทดลองอุปกรณ์นี้มีลักษณะเปราะบาง เพราะทำมาจากวัสดุที่ไม่เหมาะสม จึงต้อง ออกแบบใหม่ให้แข็งแรง ซึ่งทางเลือกที่เป็นไปได้ที่ต้องการใช้เครื่องส่งน้ำจากด้านบน ซึ่งก็คือ เครื่องส่งน้ำทางเดียว น้ำที่เคลื่อนไปด้วยไอน้ำที่กระบอกสูบทางด้านซ้าย (กระบอกสูบ A ในภาพที่ 6) ปริมาตรของไอน้ำจะลดลงเมื่อระดับน้ำถูกส่งผ่านมายังจุดต่ำสุด ที่ “U” เครื่องส่งน้ำนี้มีค่าใช้จ่ายที่ ราคาไม่แพงมากเพราะใช้ไอน้ำ และเครื่องส่งน้ำนี้ทำงานที่วัฏจักร Papin



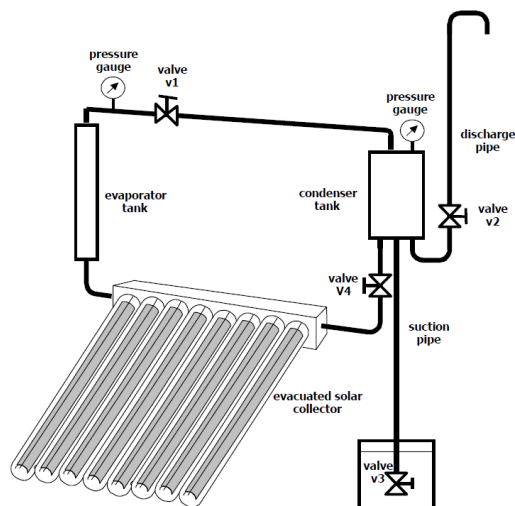
ภาพที่ 6 แผนภาพระบบของเครื่องส่งน้ำ

(Picken *et al.*, 1997)

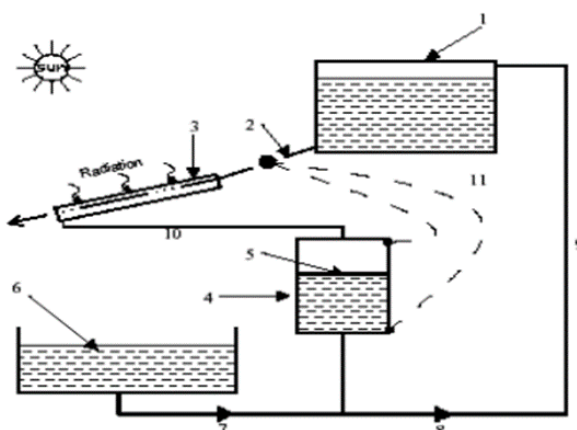
Liengindathaworn *et al.* (2002) ได้เปลี่ยนอุปกรณ์ให้ความร้อน จากเดิมใช้ฮีตเตอร์เป็น พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวรับรังสีแบบท่อสุญญากาศ ดังภาพที่ 7 ผลการทดลองพบว่า อัตราการ รับพลังงานความร้อนของถังระเหยไม่คงที่ ต้องขึ้นกับปริมาณรังสีอาทิตย์ และต้องใช้เวลานานขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการใช้ฮีตเตอร์ เพราะอัตราการจ่ายพลังงานของฮีตเตอร์นั้นคงที่ ทำให้อัตราการ รับพลังงานของถังระเหยคงที่

Das & Gopal (2004) ได้ศึกษาการปั้มน้ำด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็น สารทำงาน ในประเทศอินเดีย ในปี ค.ศ. 2003 โดยหลักการทำงานของระบบนี้ใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ พื้นที่ 1 ตารางเมตร รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์แล้วถ่ายเทให้กับสารทำงานซึ่งในระบบนี้ใช้ ไฮโดรเจนเป็นสารทำงาน ไฮโดรเจนก็จะขยายตัวดันลูกสูบหมายเลข 5 ให้เคลื่อนที่ลงด้านล่างเกิดแรง ขับดันน้ำจากถังเก็บหมายเลข 4 ขึ้นสู่ถังเก็บหมายเลข 1 หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ลงไปแล้ว วาล์ว ควบคุมหมายเลข 2 จะปล่อยน้ำหล่อเย็นไหลผ่านตัวรับรังสีระบายความร้อนให้กับก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซ

ไฮโดรเจนก็จะหลุดตัวตั้งลูกสูบหมายเลข 5 ขึ้นด้านบนดูดน้ำดูดน้ำผ่านวาล์วหมายเลข 7 ไปเก็บไว้ในถังเก็บหมายเลข 4 เพื่อที่จะทำงานต่อไป ซึ่งวงจรการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 8 จากการวิจัยพบว่าระบบปั้มน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์ใช้ไฮโดรเจนเป็นสารทำงานสามารถปั้มน้ำได้สูงสุด 3000 ลิตรต่อวัน ที่ระดับความสูง 15 เมตร ประสิทธิภาพของระบบปั้มน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์มีค่าร้อยละ 1.5



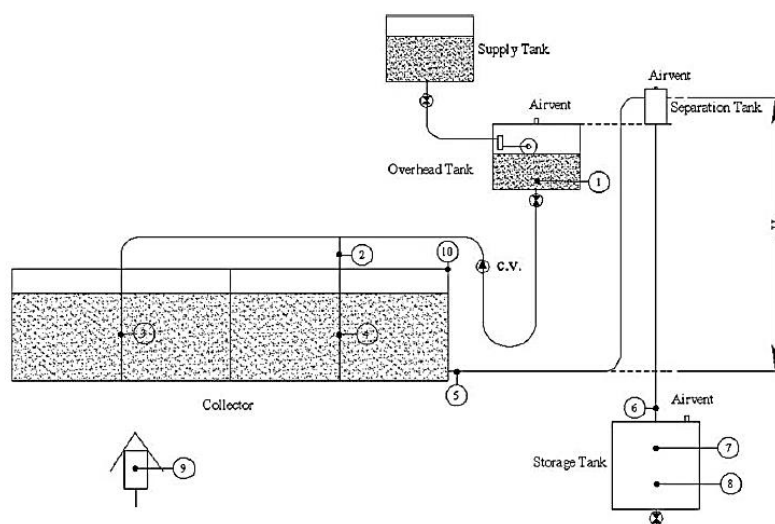
ภาพที่ 7 เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์
(Liengjindathaworn *et al.*, 2002)



ภาพที่ 8 วงจรการทำงานของปั้มน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารทำงาน
ที่มา: Das and Gopal (2004)

Sutthivirode *et al.* (2009) ได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานรังสีอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำ ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของระบบ ดังแสดงใน

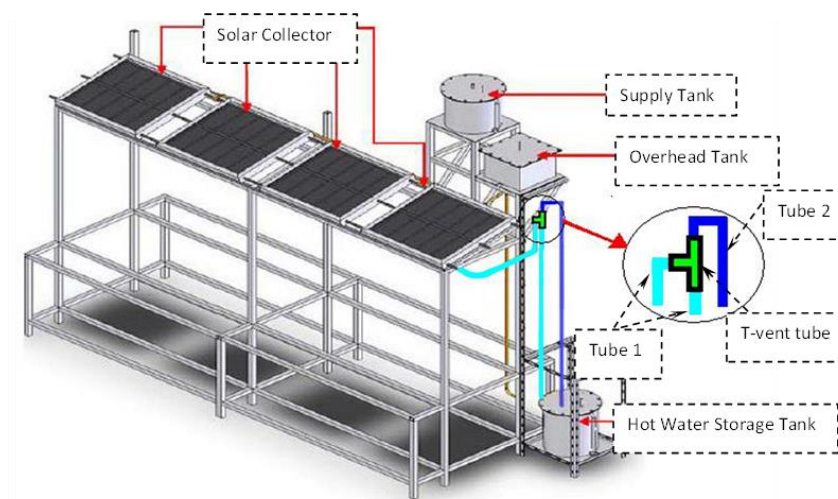
ภาพที่ 9 เมื่อแผงรับรังสี Solar collector ได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์น้ำและอากาศที่อยู่ภายในจะมีอุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น และขับเคลื่อนน้ำภายในแผงรับรังสีให้ไหลออกไปเก็บในถังเก็บน้ำร้อน จนระดับน้ำในแผงต่ำกว่าท่อทางออกของแผงทำให้ความดันภายในแผงเท่ากับความดันบรรยากาศ และน้ำที่อยู่ในถังพักน้ำด้านบนก็ไหลผ่านวาล์วกันกลับ เนื่องจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำร้อน และอากาศยุบตัวเกิดสุญญากาศดูดน้ำที่เหลืออยู่ในถังเก็บน้ำด้านบนให้ไหลเข้ามาในแผงรับรังสีและหมุนเวียนน้ำในวัฏจักรต่อไป มีค่าปริมาณความร้อนสะสมภายในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 3269.3 กิโลจูล อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 59 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 17.4 และสามารถผลิตน้ำร้อนได้ 58.1 ลิตรต่อวัน



ภาพที่ 9 วงจรการทำงานของระบบทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานรังสีอาทิตย์หมุนเวียน
ด้วยกำลังไอน้ำโดยนำความร้อนมาใช้งานโดยตรง
(Sutthivirode *et al.*, 2009)

Sitranon *et al.*, (2014) ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยกำลังไอน้ำ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังภาพที่ 10 โดยลดการสูญเสียความร้อนของไอน้ำ ที่ระบายสู่บรรยากาศ โดยการต่อท่อสามทางเพื่อนำไอน้ำมาระบายในถังเก็บน้ำร้อน และเปิดสู่บรรยากาศภายในถังเก็บน้ำร้อน การปรับระดับความสูงในการส่งน้ำทำให้ทราบถึงอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ ที่ระดับความสูงในการส่งน้ำลดลง อุณหภูมิของน้ำร้อนก็จะลดลงตามลำดับ และจะทำให้ ปริมาตรน้ำเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าระดับความสูงในการส่งน้ำมากขึ้น อุณหภูมิของน้ำร้อนจะ สูงขึ้นและปริมาตรน้ำลดลง ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้สูงสุด 89.9 ลิตรต่อวัน ที่ระดับความสูง 0.5 เมตร และอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ 64.6 องศาเซลเซียส ที่ระดับความสูง 1 เมตร ประสิทธิภาพปั๊ม

ร้อยละ 0.0012 ประสิทธิภาพทางความร้อนร้อยละ 41.2 เมื่อเทียบกับระบบก่อนหน้าของ Sutthivirode ประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.4 ในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10



ภาพที่ 10 เครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยกำลังไอน้ำ

(Sitranon *et al.*, 2014)

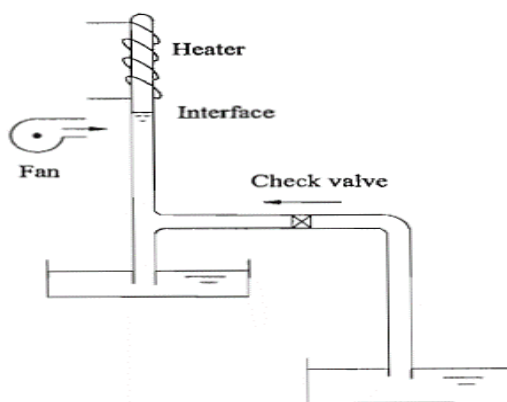
จากงานวิจัยที่ใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ในการปั๊มน้ำและผลิตน้ำร้อนพบว่าประเภทของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสง สามารถผลิตอุณหภูมิได้สูง แต่ไม่สามารถหมุนเวียนหรือปั๊มน้ำได้ด้วยตัวเองต้องอาศัยปั๊มน้ำที่ใช้พลังงานจากภายนอก ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบผลิตอุณหภูมิได้ ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เหมาะในการผลิตไอน้ำ แต่สามารถหมุนเวียนสารทำงานได้ทั้งแบบธรรมชาติ และแบบบังคับ ซึ่งจะเหมาะสมความต้องการในการผลิตน้ำร้อนเป็นหลัก และแบบท่อสุญญากาศ (Liengindathaworn *et al.*, 2002) ที่สามารถผลิตอุณหภูมิได้สูงจนเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำได้ จึงเหมาะสมที่จะเลือกมาเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ในส่วนของการลดการสูญเสียไอน้ำในจังหวะที่ระบบเปิดสู่บรรยากาศ Sitranon *et al.* (2014) ได้พัฒนาวาล์วสามทางที่ลดการสูญเสียไอน้ำ โดยให้ไอน้ำที่เปิดสู่บรรยากาศผ่านวาล์วสามทางไปยังถังเก็บน้ำร้อนแทน

4. การปั๊มน้ำโดยตรงจากกำลังไอน้ำ

4.1 การสูบน้ำแบบขับเคลื่อนน้ำ

Seldon *et al.* (1976) ได้ศึกษาระบบปั๊มน้ำไฮดรอลิก ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเพื่อขับเคลื่อนน้ำ โดยควบคุมการไหลของของเหลวด้วยวาล์วกันกลับ อาศัยกลไกการสั่นของไอน้ำ

ของเหลว ที่เกิดขึ้นจากความร้อนเป็นการทำงานของระบบปั้มน้ำ จึงนำมาใช้กับปั้มน้ำในพื้นที่กันดาร อุปกรณ์ที่ใช้แสดงในภาพที่ 11 ประกอบด้วย หลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ยาว 12.5 เซนติเมตร ปลายด้านบนปิด เต็มไปด้วยน้ำและทำความร้อนด้วยฮีตเตอร์ จนกลายเป็นไอน้ำเกิดความดันขึ้น ผ่านพัดลมและลงอ่างเก็บน้ำด้านบน และไม่สามารถไหลไปยังอ่างเก็บน้ำด้านล่างได้ เนื่องจากติวลวกลับกัน เมื่อ น้ำไหลออกจนหมดทำให้ความดันลดลง น้ำอีกด้านของวาล์วกลับกันก็ไหลเข้ามาพบกับไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง จึงเกิดการควบแน่น และเกิดความดันสุญญากาศดูดน้ำจากอ่างเก็บน้ำด้านล่างขึ้นมาไว้ที่อ่างเก็บน้ำด้านบนจนความดันเท่ากัน น้ำในหลอดแก้วปลายปิดด้านบนก็เริ่มขยายตัวและสร้างความดันต่อไป จากการทดลองระดับความสูงในการส่งน้ำแตกต่างกันออกไป และเพิ่มขึ้นตามการให้พลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 43 และ ร้อยละ 11 ที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 2.5 และ 36 เซนติเมตร ตามลำดับ การวัดปริมาตรของเหลวในแนวตั้งประมาณ 6 มิลลิเมตรต่อนาที การขับเคลื่อนน้ำวัฏจักรจากด้านบนที่ให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ และควบแน่นดูดน้ำจากอ่างน้ำด้านล่างขึ้นมาไว้ที่อ่างน้ำด้านบน ดังนั้นการเคลื่อนที่ของเหลว ทำหน้าที่เป็นลูกสูบวาล์ว และคล้ายคลึงกับลูกสูบเครื่องยนต์ไอน้ำ

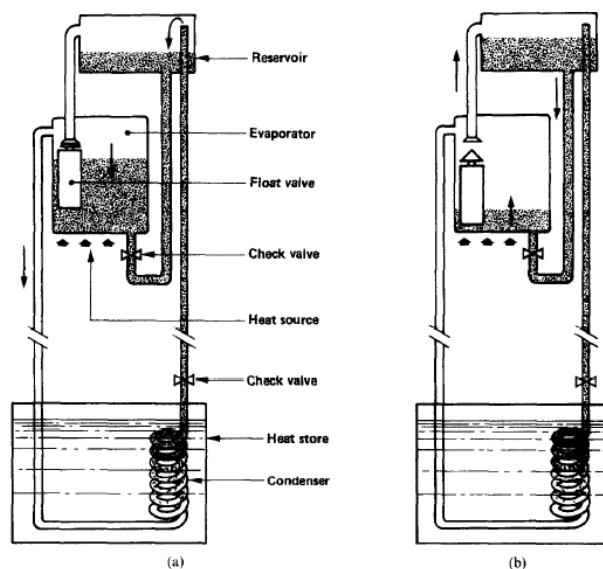


ภาพที่ 11 โครงสร้างของระบบปั้มน้ำของ Sheldon
(Seldon et al., 1976)

Beni & Frisen (1985) ได้นำหลักการทำงานของ Self-pumping มาใช้ประโยชน์ในการหมุนเวียนสารทำงาน ซึ่งใช้ถังความดันที่ติดตั้งอยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อน ดังภาพที่ 12 มีหลักการทำงานโดยใช้ความดันของสารทำความเย็น ที่ผลิตได้มาทำให้ของไหลเกิดการหมุนเวียนภายในระบบ ปริมาณความร้อนที่ใช้ระเหยของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำภายในเครื่องระเหย (Evaporator) จะได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์ การติดตั้งเครื่องระเหยอยู่ด้านบน โดยไอที่ผลิตได้หมุนเวียนมากลั่นตัวที่เครื่องกลั่นด้านล่างของเหลวที่กลั่นตัวจะถูกส่งกลับไปยังเครื่องระเหยอีกครั้งด้วยความดันไอที่ผลิตได้ ระยะเวลาการ

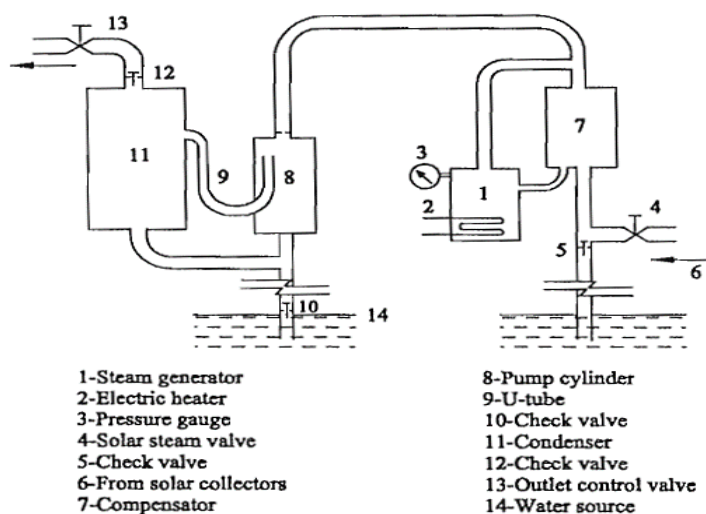
ทำงานของระบบจะถูกควบคุมโดยการทำงานของลูกลอย ติดตั้งที่ด้านข้างของเครื่องระเหย ผลการวิจัยพบว่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อนสูงถึง 85 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีรอบการทำงานต่ำ เนื่องจากไอของสารทำงานที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกควบแน่นที่ถังเก็บน้ำร้อนทำให้สูญเสียความดันในการขับเคลื่อนของเหลวของสารทำงานที่ใช้ในการหมุนเวียนสารทำงาน

El-Mallah & Mohamad (1989) ได้ทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำความร้อนดังภาพที่ 13 ที่พัฒนาจากห้องปฏิบัติการ โดยออกแบบให้เหมาะสมกับแหล่งน้ำดี้นเท่านั้น ปัจจุบันมีการทดสอบเพื่อรับรองมาตรฐานการทำงานของปั๊มไอน้ำความดันต่ำที่เกิดจากหม้อต้มน้ำ ด้วยเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าไอน้ำนี้ สามารถสร้างได้จริงโดยใช้พลังงานความร้อนรังสีอาทิตย์ วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพขนาดของระบบเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด หลักการทำงานเริ่มแรกเติมน้ำให้เต็มระบบปั๊มน้ำให้ความร้อนน้ำด้วยไฟฟ้าทำให้น้ำในถังต้มกลายเป็นไอ เกิดความดันไปขับเคลื่อนน้ำในถังสูบน้ำให้ดันน้ำในถังควบแน่นไหลกลับผ่านท่อจนความดันเท่ากันทำให้เกิดการควบแน่นเกิดเป็นสุญญากาศดูดน้ำจากด้านล่างขึ้นมาแทนที่เดิมจนมีความดันเท่ากับถังต้มน้ำ และเริ่มทำงานในรอบต่อไป



ภาพที่ 12 แผนภาพประกอบการทำงาน (a) วาล์วลูกลอยปิด (b) วาล์วลูกลอยเปิด

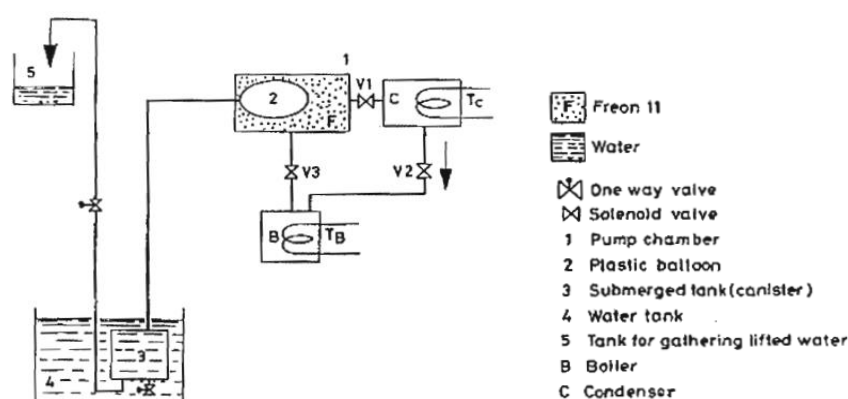
(Beni & Frisen, 1985)



ภาพที่ 13 ระบบการทำงานของปั๊มไอน้ำ
(El-Mallah & Mohamad, 1989)

Al-Haddad *et al.* (1996) ได้ทดสอบการทำงานของปั๊มน้ำโดยใช้หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ประดิษฐ์ขึ้น แสดงวงจรดังภาพที่ 14 ประกอบด้วยห้องกักเก็บที่บรรจุสารทำงาน CFC 11 (เป็นมาตรการสูงสุดที่ใช้สังเกตสารฮาโลเจน ไฮโดรคาร์บอน มาตรการป้องกันล่องหนนี้ได้นำมาป้องกันล่องหน เพื่อป้องกันความเสี่ยงต่อสุขภาพ หรือความเสียหายของชั้นบรรยากาศโลก) ลูกกลอยพลาสติกใช้เป็นที่เติมอากาศเข้า ถูกติดตั้งด้านในของห้องพักน้ำที่เชื่อมต่อกับถังโลหะ ซึ่งถังโลหะจะถูกจุ่มลงในถังน้ำและจัดวางอย่างเหมาะสม โดยจะมีวาล์วกันกลับเชื่อมต่อกับถังน้ำ เครื่องสูบน้ำที่อยู่ห้องพักน้ำจะเชื่อมกับส่วนอื่นๆ ของเครื่องมือ เช่น ท่อทางเดินของน้ำเชื่อมจะเชื่อมต่อและควบคุมด้วยวาล์วอิเล็กทรอนิกส์ (V1 V2 และ V3) เครื่องต้มน้ำที่มีปริมาตร V ถูกเติมสารไว้ครึ่งหนึ่ง คือ สาร CFC 11 ถูกปกคลุมด้วยคอยล์ทองแดง ซึ่งสร้างการถ่ายเทความร้อนทั้งพื้นที่ (AB) ไปยังเครื่องต้มน้ำร้อนที่มาจากไอน้ำร้อน TB และออกมาสู่อุณหภูมิต่ำ TBO ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน UB คอยล์ทองแดง (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ½ นิ้ว) ซึ่งวางเปลือยอยู่ การประยุกต์ใช้สาร CFC 11 ที่มีลักษณะเป็นไอจะถูกระบายความร้อนที่พื้นที่ AC และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในห้องเก็บน้ำจะมีลูกกลอยติดตั้งอยู่ลูกกลอยนี้ทำจากโพลีทีลิน ห้องเก็บน้ำที่ช่องดูดทำจากกระจกเอาไว คอยสังเกตดูการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทำงานโดยอาศัยอุปกรณ์ คือ เครื่องต้มน้ำ และตัวระบายความร้อนไปถึงท่อทางต่างๆ สภาพอุณหภูมิคงที่ TB และ TC โดยลำดับวัฏจักรที่เกิดขึ้นนั้นจะประกอบด้วยวิธีการทำความร้อน และวิธีการทำความเย็นระหว่างกระบวนการให้ความร้อน และวิธีการทำความเย็นระหว่างกระบวนการให้ความร้อน ความร้อนของสาร CFC 11 จะเป็นไอที่เครื่องต้ม และผ่านไปห้องลูกกลอยระหว่างวิธีการนี้ความดันและอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และมีความดัน 18.186 ปอนด์ต่อ

ตารางนี้ โดยลำดับ ผลสำเร็จที่ได้จากเงื่อนไขเหล่านี้ คือลูกลอยได้ถูกกดลงอากาศจึงถูกปล่อยเข้าไปยังถังน้ำที่ติดอยู่กับผิวน้ำ ทำให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำ ตัวคอนเดนเซอร์ (C) จะทำให้สาร CFC 11 ซึ่งเป็นไอเย็นตัวลงผลที่ได้คือ ความดัน และอุณหภูมิจะลดลงจาก 12.82 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ต่อจากนั้นน้ำไหลจาก (T1) ไปยัง (T2) ผ่านวาล์วก้นกลับ น้ำจะเข้าไปแทนที่ในเครื่องสูบน้ำก่อนที่จะไปที่ (T3) วาล์วก้นก็จะทำงานอย่างสมบูรณ์ วาล์วก้นทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยวาล์ว 3 ตัว (V1 V2 และ V3) ซึ่งจะทำให้เกิดวัฏจักรใหม่ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ

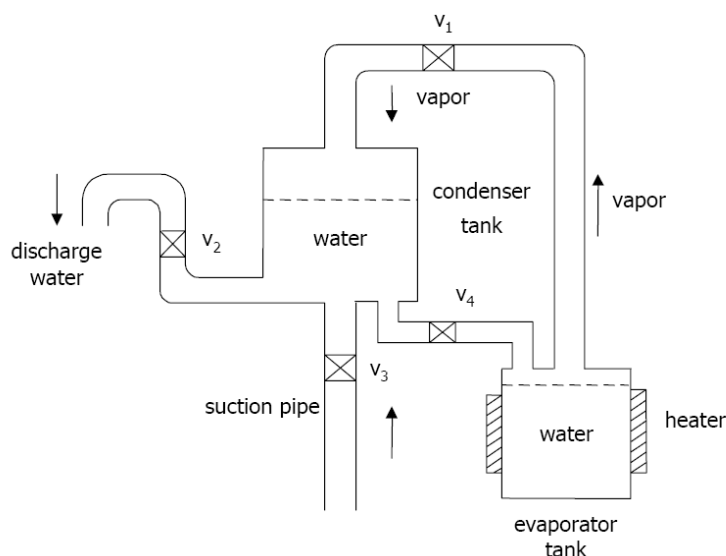


ภาพที่ 14 วงจรการทำงานของเครื่องปั๊มน้ำโดยใช้หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์

(Al-Haddad *et al.*, 1996)

Liengjindathaworn *et al.* (2002) ได้ศึกษาการสูบน้ำโดยใช้พลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ ระบายความร้อนอากาศ เครื่องสูบน้ำประกอบด้วย ถังระเหย (Evaporator tank) ถังควบแน่น (Condenser tank) และตัวกำเนิดพลังงานความร้อน (Heater) ดังภาพที่ 15 ซึ่งความลึกสูงที่ใช้ในการศึกษาการสูบน้ำอยู่ 2.5 เมตร และความสูงในการส่งน้ำสูงสุด 4 เมตร ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิการทำงานของระบบอยู่ระหว่าง 80-120 องศาเซลเซียส และมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ 1. ช่วงให้ความร้อน เมื่อให้พลังงานไฟฟ้ากับตัวกำเนิดความร้อน (Heater) พลังงานความร้อนจะทำให้น้ำที่อยู่ในถังระเหย (Evaporator) มีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้นไปเรื่อยตามเวลาที่ได้รับความร้อน จนกระทั่งความดันในถังสูง 2. ช่วงจ่ายน้ำ เมื่อความดันถังระเหยสูง เปิดวาล์ว V1 และ V2 ให้น้ำจากถังระเหยเข้าไปขับเคลื่อนน้ำไปยังถังควบแน่นและไหลออกทางวาล์ว V2 จนกระทั่งความดันภายในถังเท่ากับความดันภายนอกน้ำจะหยุดไหล แล้วปิด V1 และ V2 3. ช่วงระบายความร้อน หลังจากสิ้นสุดช่วงจ่ายน้ำ แล้วปล่อยให้ถังควบแน่นถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ อุณหภูมิและความดันภายในถังลดลงทำให้น้ำในถังเกิดการควบแน่น ความดันในถังควบแน่นลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จนกระทั่งความดันเกือบจะไม่ลดลงอีก 4. ช่วงสูบน้ำ หลังจากช่วงระบายความร้อน เปิดวาล์ว V3 น้ำ

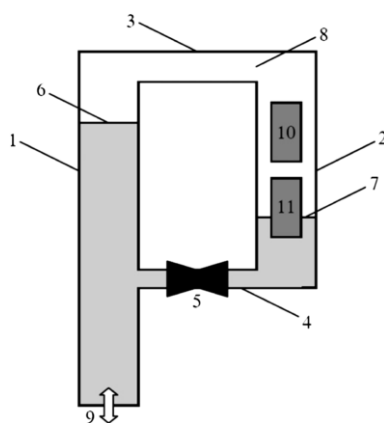
ในถังด้านล่างจะถูกสูบขึ้นผ่านวาล์ว V3 มายังถังควบแน่น จนกระทั่งน้ำหยุดไหล จึงปิดวาล์ว V3 5. ช่วงเติมน้ำ เมื่อสิ้นสุดช่วงสูบน้ำแล้ว จะเปิดวาล์ว V1 และ V4 ทำให้น้ำจากถังควบแน่นไหลลงไปเติมในถังระเหยที่อยู่ต่ำกว่า จนกระทั่งน้ำในถังมีระดับตามต้องการ จึงปิดวาล์ว V1 และ V4 เมื่อสิ้นสุดช่วงเติมน้ำแล้ว ก็กลับไปเริ่มต้นช่วงการให้ความร้อนใหม่หมุนเวียนในลักษณะเดียวกันไปเรื่อย ๆ



ภาพที่ 15 เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์
(Liengjindathaworn *et al.*, 2002)

Markides & Smith (2011) ได้การสร้างแบบจำลองของอุปกรณ์ที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานกล (Heat engine) เกรดต่ำ สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุด ผลของตัวแปรต่างๆ ของอุปกรณ์ส่วนสำคัญในการออกแบบที่ต้องใช้ความระมัดระวัง สำหรับความเหมาะสมของอุปกรณ์ คือ วาล์วป้อนกลับ ลูกสูบกำลัง ปริมาตรแอเดียแบติก และความต้านทานความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การเคลื่อนที่ของสารทำงาน ระบบความร้อน ที่มีความสามารถในการแปลงความร้อนระดับต่ำมาใช้งานให้เกิดประโยชน์ โดยวิธีการนำไปใช้ของเทคโนโลยีการใช้ความร้อนต่ำ การระเหยจะเกิดขึ้นเมื่อสารทำงานของเหลวสัมผัสกับแหล่งความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (หมายเลข 10) จึงเกิดไอของสารทำงาน (หมายเลข 8) เคลื่อนที่ผ่านท่อตัวยู (หมายเลข 3) ไปซัดดันของเหลวของสารทำงานอีกด้านหนึ่ง จากระดับที่หมายเลข 6 ออกทางท่อสูบน้ำ (หมายเลข 9) โดยมีลูกสูบกำลัง (หมายเลข 1) แสดงการเคลื่อนที่ของของเหลวของสารทำงานจนกระทั่งไอของสารทำงานสัมผัสกับแหล่งความเย็นที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (หมายเลข 11) จะเกิดการควบแน่นสูบน้ำของเหลวของสารทำงานทางท่อสูบน้ำ (หมายเลข 9) ระดับของเหลวของสารทำงานที่เกิดความแตกต่างที่ระดับหมายเลข 6 กับระดับหมายเลข 7 ทำให้องค์ของเหลวของสารทำงานที่อยู่สูงกว่าไหลมายัง

ระดับที่ต่ำกว่า เพื่อรักษาระดับของเหลวของสารทำงาน โดยผ่านวาล์วป้อนกลับ (หมายเลข 9) ทางท่อป้อนกลับ (หมายเลข 4) ทำให้ระดับของเหลวของสารทำงานด้านขวา สัมผัสกับแหล่งความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (หมายเลข 10) จึงเกิดกระบวนการทำงานขึ้นอีกรอบ ดังภาพที่ 16 การออกแบบที่มีประสิทธิภาพจะมีความต้านทานวาล์วป้อนกลับต่ำ การเชื่อมต่อที่ท่อตัวยูมีระยะลดลง และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ โดยเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกสูบกำลังขนาดเล็กลงแต่ความยาวเพิ่มขึ้น มีขนาดใหญ่โดยเฉลี่ยรวมทั้งปริมาตรไอน้ำที่อยู่ด้านบนของอุปกรณ์ด้วย รวมทั้งการปรับปรุงการถ่ายโอนความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน การปรับปรุงสิ่งเหล่านี้มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพร้อยละ 50 ที่สัมพันธ์กับกฎข้อที่สอง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.8

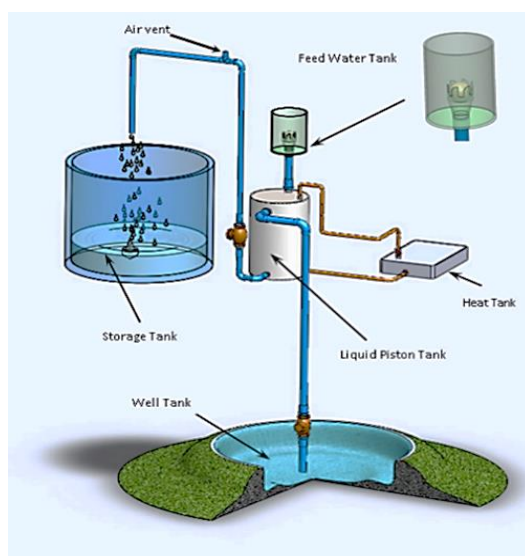


ภาพที่ 16 ระบบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานกลแบบไม่มีแรงเสียดทาน
(Markides & Smith, 2011)

เกรียงไกร และคณะ (2556) ได้ทำงานวิจัย เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ โดยการนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ ซึ่งความร้อนเหลือทิ้งนั้นที่ได้จากการขับเคลื่อนของน้ำภายในถังขับเคลื่อน โดยแหล่งความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำสามารถเลือกใช้ได้หลากหลาย อาทิเช่น แสงอาทิตย์ ถ่านไม้ชีวมวลต่างๆ เพื่อใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิง การทำงานของระบบประกอบด้วย ช่วงให้ความร้อนแก่น้ำภายในถังผลิตไอน้ำ ไอน้ำที่เกิดขึ้นและอากาศจะเข้าสู่ถังขับเคลื่อนในช่วงการขับเคลื่อนน้ำ เพื่อขับเคลื่อนน้ำไปยังถังน้ำร้อน และส่วนที่เกินจะถูกเก็บไว้ที่ถังเก็บน้ำ เมื่อขับเคลื่อนน้ำจนหมดแล้ว ไอน้ำ-อากาศจะไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก ทำให้เข้าสู่ช่วงการหล่อเย็น โดยน้ำหล่อเย็นจะไหลสู่ถังขับเคลื่อนด้วยแรงโน้มถ่วง ทำให้มีการกลั่นตัวของไอน้ำ มีสุญญากาศเกิดขึ้นที่ถังขับเคลื่อน จึงสามารถสูบน้ำขึ้นมาได้ ในการวิจัยนี้ทำการทดลองที่ระดับความสูงในการจ่ายน้ำ 1 เมตร และใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3000 วัตต์ เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตไอน้ำ จากการทดลองพบว่า ปั๊มน้ำระบบนี้ มีค่าปริมาณความร้อนสะสมภายในถังเก็บน้ำมีค่าเท่ากับ 16.7 เมกะ

จุล อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยภายในถังน้ำร้อน 46.44 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำ 40.42 องศาเซลเซียส สามารถผลิตน้ำร้อนได้ 246.4 ลิตร และส่งน้ำไปเก็บที่ถังได้ถึง 47 รอบ ภายใน 2 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพความร้อนอยู่ที่ร้อยละ 77.47 และประสิทธิภาพปั๊มอยู่ที่ร้อยละ 0.023 ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของระบบ คือ อุณหภูมิน้ำภายในถังขับเคลื่อน และอุณหภูมิน้ำที่เติมให้แก่ถังผลิตไอน้ำ ซึ่งจำนวนรอบการทำงานของระบบจะเพิ่ม และลดการใช้พลังงานจากฮีตเตอร์ ถ้าอุณหภูมิน้ำที่เติมเข้าไปมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิน้ำสิ่งแวดล้อม

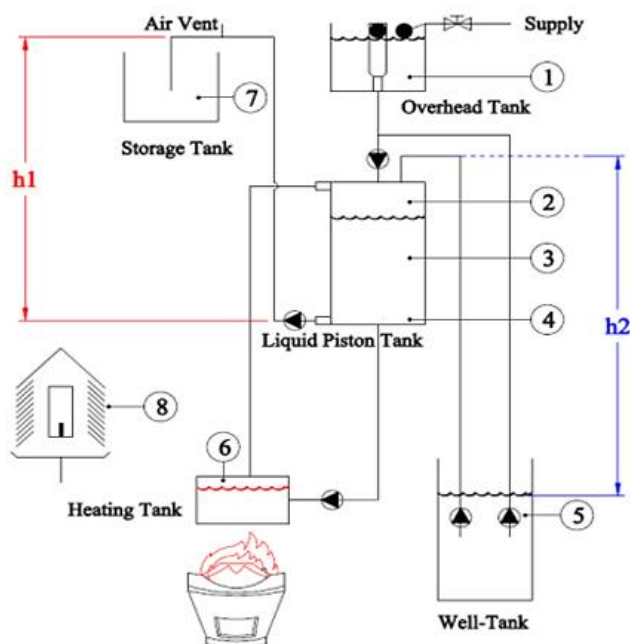
Sitranon *et al.* (2014) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของปั๊มน้ำความร้อนด้วยกำลังไอน้ำแบบอัตโนมัติ ดังภาพที่ 17 จำนวนรอบการทำงานและปริมาณน้ำที่สูบได้จะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการสูบน้ำที่ระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นระบบจะสูญเสียความเสียดทานภายในท่อ และต้องใช้ความดันสูญญากาศเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง ทำให้ระยะเวลาในการสูบน้ำแต่ละรอบเพิ่มมากขึ้นตามความสูงในการสูบน้ำ ระยะเวลาในการสูบน้ำจะขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำที่ไหลเข้าถัง ส่งผลให้ที่ระดับความสูงเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพปั๊มก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย แต่เนื่องจากปริมาณน้ำจะลดลงที่ความสูงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากการวิจัยนี้พบว่าประสิทธิภาพปั๊มสูงสุดร้อยละ 0.0489 ที่ระดับความสูง 2 เมตร ปริมาณน้ำที่สูบได้สูงสุด 218 ลิตร ที่ระดับความสูง 2 เมตร สัดส่วนปริมาตรอากาศที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบ การเติมปริมาณอากาศเข้าระบบส่งผลให้จำนวนรอบในการทำงานเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางกลับกันปริมาณน้ำที่สูบได้ก็จะลดลงตามสัดส่วนของปริมาตรอากาศที่เติม



ภาพที่ 17 ปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบอัตโนมัติ

(Sitranon *et al.*, 2014)

ภาคตัด และคณะ (2558) ได้ทดสอบ เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากถ่านไม้ มีขั้นตอนการทำงานอยู่ 4 ขั้นตอน คือ 1. ขั้นตอนการให้ความร้อน (Heating) เมื่อน้ำในถังผลิตไอน้ำได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิ และความดันเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเดือดกลายเป็นไอน้ำเข้าสู่ถังขั้วดันน้ำอย่างต่อเนื่อง 2. ขั้นตอนการหมุนเวียนน้ำร้อนในระบบ (Water circulation) เมื่อความดันภายในถังขั้วดันสูงขึ้นเนื่องจากไอน้ำที่ผลิตได้ จนกระทั่งมีค่ามากกว่าค่าเฮดความสูงด้านส่งน้ำ น้ำในถังจะถูกขั้วดันให้ไหลออกไปเก็บยังถังเก็บน้ำ และวาล์วก้นถังจะปิดกั้นไม่ให้ไอน้ำภายในท่อไหลออกสู่ถังเติมน้ำด้านบน ซึ่งช่วงการขั้วดันน้ำจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งระดับน้ำภายในถังขั้วดันลดลงต่ำกว่าท่อส่งน้ำ ระบบจึงเข้าสู่การทำงานในขั้นตอนต่อไป 3. ขั้นตอนการระบายไอน้ำในระบบ (Vapor circulation) เมื่อระดับน้ำภายในถังลดลง ไอน้ำที่มีความดันจะไหลออกไประบายที่ทางออก ดังนั้นอุณหภูมิและความดันภายในถังขั้วดันลดลง ช่วงการระบายไอน้ำภายในถังขั้วดันน้ำ จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความดันไอน้ำภายในถัง มีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก ระบบจึงเข้าสู่การทำงานในขั้นตอนต่อไป 4. ขั้นตอนการสูบน้ำเข้าสู่ระบบ (Suction) เมื่อความดันไอน้ำภายในถังมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก น้ำจากถังเติมน้ำด้านบน ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำและอยู่สูงกว่า สามารถไหลผ่านวาล์วควบคุมโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกไหลเข้าสู่ถังขั้วดันน้ำ ทำให้เกิดความดันสุญญากาศขึ้นภายใน ดูดน้ำจากถังจำลองบ่อน้ำที่อยู่ด้านล่าง เมื่อขั้นตอนการสูบน้ำเสร็จสิ้น จะครบ 1 รอบการทำงาน ระบบพร้อมที่จะทำงานในรอบต่อไปได้ โดยใน 1 รอบการทำงาน ระบบสามารถหมุนเวียนน้ำได้ 9.5 ลิตรต่อรอบ ระบบปั๊มน้ำพลังงานความร้อนจากถ่านไม้ประกอบด้วย อุปกรณ์หลัก 6 ส่วน คือ 1. ถังเติมน้ำด้านบน (Overhead tank) 2. ถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank) 3. ถังผลิตไอน้ำ (Heating tank) 4. ถังขั้วดันน้ำ (Liquid piston tank) 5. ถังจำลองบ่อน้ำ (Well tank) 6. วาล์วไหลทางเดียว (Check valves) ดังแสดงในภาพที่ 18 ปริมาณน้ำหล่อเย็นเท่ากับ 400 มิลลิลิตร ความสูงด้านส่งน้ำ (h_1) และดูดน้ำ (h_2) เท่ากับ 1 เมตร ขนาดท่อสูบน้ำ 19 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ขนาดถังขั้วดันน้ำขนาด 9 ลิตร ทำการทดลองภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ระบบปั๊มน้ำพลังงานความร้อนจากถ่านไม้สามารถผลิตน้ำร้อนได้เท่ากับ 66.5 ลิตร อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้เฉลี่ย 41.7 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงเพียงพอสำหรับการใช้ในที่อยู่อาศัย ระบบจะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในถังขั้วดันมากกว่า 98 องศาเซลเซียส การเติมเชื้อเพลิงให้สม่ำเสมอช่วยเพิ่มจำนวนรอบในการปั๊มน้ำได้ รวมถึงการออกแบบเตาให้สามารถป้อนเชื้อเพลิงได้ง่ายขึ้นอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง สรุปได้ว่าระบบปั๊มน้ำพลังงานความร้อนสามารถทำงานได้เมื่อใช้ถ่านไม้เป็นแหล่งให้ความร้อน เป็นการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลหรือไฟฟ้าให้กับเกษตรกรในชนบทได้



ภาพที่ 18 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและส่วนประกอบของระบบปั้มน้ำพลังงานความร้อน
(ภาณุศักดิ์ และคณะ, 2558)

4.2 การสูบน้ำแบบขับเคลื่อนอากาศ

Sitranon *et al.* (2014) ได้ประยุกต์การนำระบบปั้มน้ำความร้อนด้วยกำลังไอน้ำ โดยการใช้ไอน้ำขับเคลื่อนอากาศ ไปทดลองใช้งานจริงสำหรับการเกษตร การแทนที่ปริมาตรอากาศด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ทำให้เกิดความดันสุญญากาศได้ก็ต่อเมื่อเกิดการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ไอน้ำภายในถังเกิดการยุบตัวลง เนื่องจากการควบแน่นของไอน้ำ ความความดันภายในจึงเป็นสุญญากาศ และสูบน้ำจากแหล่งน้ำเข้ามาเก็บเพื่อรอการนำไปใช้งานต่อไป โดยใช้พลังงานความร้อนจากพื้นเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ พบว่าระบบสามารถสูบน้ำที่ระดับความลึกได้ 3 เมตร และสูบน้ำเต็มความจุถังในปริมาตร 204 ลิตร แต่ระบบสามารถทำงานได้เพียงแค่วันเดียว

จิรวุฒิ และคณะ (2563) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบต่อเนื่อง การจำลองการทำงานอย่างต่อเนื่องของระบบสามารถลดการใช้พลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบได้ เนื่องจากระบบเริ่มต้นให้ความร้อนในช่วงแรกเท่านั้น ที่ทำให้น้ำอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเกิดการเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส และหลังจากนั้นก็รักษาระดับของอุณหภูมิไว้ให้ได้ 100 องศาเซลเซียส ตลอดจนจบการทำงาน ทำให้ระบบไม่ต้องป้อนพลังงานมากในการให้ความร้อน ประสิทธิภาพปั้มน้ำสูงสุดร้อยละ 1.86 ต่อมา ฉัตรชัย และคณะ (2564) ได้ศึกษาปริมาณน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ส่งผลกับความดันสุญญากาศภายในระบบ เมื่อปริมาณน้ำหล่อเย็นมากขึ้น อุณหภูมิผสมระหว่าง

ไอน้ำและน้ำหล่อเย็นก็จะลดลง ส่งผลให้ความดันสัมบูรณ์ลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เกิดเป็นความดันสุญญากาศมากขึ้นตามปริมาณน้ำหล่อเย็น เช่นเดียวกับการลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นให้ต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมก็จะส่งผลให้ความดันสุญญากาศเพิ่มขึ้นตาม

จากงานวิจัยการใช้ไอน้ำปัมน้ำโดยตรงมีทั้งการใช้ไอน้ำขับเคลื่อนน้ำก่อนสูบน้ำ และการขับเคลื่อนอากาศก่อนสูบน้ำ การขับเคลื่อนน้ำก่อนสูบน้ำจะสูญเสียความร้อนในการผลิตไอน้ำ และสูญเสียความดันที่ใช้ในการขับเคลื่อนน้ำ แต่ระบบแบบที่ขับเคลื่อนน้ำก่อนการสูบน้ำจะทำงานอัตโนมัติที่ใช้ถังขับเคลื่อนและถังสูบน้ำถึงเดียว และยังมีข้อจำกัดเรื่องขนาดถังที่มีปริมาตรคงมจนน้ำได้น้อย เนื่องจากถ้าถังมีขนาดใหญ่ก็จะสูญเสียพลังงานในการขับเคลื่อนน้ำที่มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งการเติมปริมาณอากาศก็จะช่วยเพิ่มความดันที่ใช้ในการขับเคลื่อนน้ำ จึงเป็นแนวทางในการลดการสูญเสียความดันในช่วงการขับเคลื่อนน้ำ แต่ก็มีผลต่อปริมาณน้ำที่สูบได้ต่อรอบจะลดลง เนื่องจากปริมาตรน้ำจะถูกแทนที่ด้วยปริมาตรอากาศที่เติมเข้าระบบ การขับเคลื่อนอากาศภายในถังสูบน้ำเป็นการแทนที่อากาศด้วยไอน้ำ และทำการหล่อเย็นโดยตรงจะทำให้ระบบใช้พลังงานลดลงกว่าการขับเคลื่อนน้ำ และยังสามารถเพิ่มขนาดของถังสูบน้ำได้ ทำให้ระบบสามารถสูบน้ำต่อรอบได้ในปริมาตรที่มากขึ้น แต่ระบบยังไม่สามารถทำงานต่อเนื่อง หรือทำงานได้หลายรอบ ดังนั้นจึงได้มีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบถังสูบน้ำให้มีจำนวนมากกว่าหนึ่งถัง เพื่อรองรับการทำงานแบบต่อเนื่อง ผลที่ได้จากการจำลองพบว่าระบบสามารถสูบน้ำได้หลายรอบติดต่อกัน ซึ่งเป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณน้ำที่สูบได้ต่อวัน และส่งผลโดยตรงกับการเพิ่มประสิทธิภาพปัมน้ำ การเพิ่มประสิทธิภาพปัมน้ำนอกจากปริมาณน้ำที่สูบได้แล้ว ยังมีตัวแปรที่ส่งผลอีกหนึ่งตัวแปรนั่นก็คือ ระดับความสูงในการสูบน้ำ เมื่อระดับความสูงในการสูบน้ำเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพปัมน้ำก็จะเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นการเพิ่มระดับความสูงในการสูบน้ำจึงต้องเพิ่มความดันสุญญากาศให้มากขึ้นตามเพิ่มเอาชนะความสูงในการสูบน้ำ และการสูญเสียของของไหลภายในท่อ การเพิ่มความดันสุญญากาศทำได้โดยการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นและลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น จากงานวิจัยของฉัตรชัย และคณะ (2564) พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อส่งผลต่อความดันสุญญากาศได้มากกว่าการลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เนื่องจากการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นให้ต่ำกว่าความอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการทำมาความเย็น ดังนั้นระดับความสูงในการสูบน้ำที่แตกต่างกันก็จะใช้ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่แตกต่างกันด้วยตามความเหมาะสม

5. สรุปผล

การใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนสำหรับการสูบน้ำเป็นทางเลือกหนึ่ง แต่มีข้อจำกัดการใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่สามารถควบคุมช่วงเวลาในการสูบน้ำได้ จึงต้องสูบน้ำเพื่อการกักเก็บเท่านั้น เป็นการบริหารจัดการการใช้ใช้อย่างมีระบบ สำหรับการใช้อย่างมีประสิทธิภาพแบบหลอดแก้วสุญญากาศในการสูบน้ำ สามารถผลิตอุณหภูมิได้สูงและหมุนเวียนได้แบบ

ธรรมชาติเหมาะกับการใช้สูบน้ำ การใช้ไอน้ำขับเคลื่อนและสูบน้ำโดยตรงสามารถช่วยลดการสูญเสียความร้อนระหว่างการแลกเปลี่ยนความร้อนของสารทำงานได้ การเติมอากาศมีส่วนช่วยเพิ่มความดันในการขับเคลื่อนน้ำทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วแต่จะได้ปริมาณน้ำที่สูบลดน้อยลง การพัฒนาโดยการลดจังหวะการขับเคลื่อนน้ำปรับเปลี่ยนมาขับเคลื่อนอากาศแทนนั้นจะยิ่งช่วยลดการสูญเสียความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำและลดระยะเวลาในสูบน้ำแต่ละรอบ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มปริมาณการสูบน้ำต่อรอบให้สูงขึ้นตามปริมาตรของถังสูบน้ำ ในส่วนของระดับความสูงในการสูบน้ำที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ประสิทธิภาพปั้มน้ำเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นการเพิ่มระดับความสูงในการสูบต้องใช้ความดันสุญญากาศที่มากขึ้นตามความสูง และการเพิ่มความดันสุญญากาศจะต้องลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นหรือเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็น เพราะฉะนั้นการเติมปริมาณอากาศ การลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็น จะขึ้นอยู่กับระดับความสูงในการขับเคลื่อนน้ำและสูบน้ำ

แนวทางการพัฒนาระบบสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำที่การขับเคลื่อนอากาศ โดยการเพิ่มจำนวนถังในการสูบน้ำและการควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และการเติมน้ำในถังผลิตไอน้ำเพื่อรักษาระดับน้ำภายในถังเป็นแนวทางให้ระบบสามารถผลิตไอน้ำได้ตลอดเวลา

6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- เกรียงไกร เถลิ้มธารังค์, พิชัย นามประกาย, และนริส ประทินทอง. (2556) **ปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดยการนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้**. ในการประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- จิรวัดน์ สิตรานนท์, กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์, และณัฐพล รุ่งประแสง. (2563). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการศึกษาระดับความสูงในการสูบน้ำของระบบสูบน้ำความร้อนด้วยกำลังไอน้ำแบบต่อเนื่อง. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 15(3), 89-100.
- ฉัตรชัย อุ่นวิเศษ, จิรวัดน์ สิตรานนท์, และกิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์. (2564). การศึกษาอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ส่งผลต่อความดันสุญญากาศของปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**, 4(3), 107-120.

- ภาณุศักดิ์ มูลศรี, ปองพล รักการงาน, ชลิตล อินยาศรี, และกังสดาล สกุลพงษ์มาลี. (2558, พฤศจิกายน). **เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากถ่านไม้สำหรับชุมชน**. ในการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- ยศสวิน กายนันท์. (2543). **การหมุนเวียนน้ำโดยใช้พลังงานความร้อน**. (ประกาศนียบัตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- Al-Haddad, A.A., Enaya, E., & Fahim, M.A. (1996). Performance of a thermodynamic. **Applied Thermal Engineering**, 16(4), 321-334.
- Beni G.D., & Friesen R. (1985). Passive downward heat transport experimental results of a technical unit. **Solar Energy**, 34(2), 127-134.
- Das, D., & Gopal, M.R. (2004). Studies on a metal hydride based solar water pump. **International Journal of Hydrogen Energy**, 29, 103-112.
- El-Mallah, A.A., & Mohamad, M.A. (1989). Development of solar energy operated Water pumping system. **Proceeding of the International Solar Energy Society Japan**, 3, 2025-2029.
- Jenness, J. R., Jr. (1961). Some consideration relative to a solar power savery water pump. **Solar Energy**, 5(2), 58-60.
- Liengjindathaworn, S., Kirtikara, K., Namprakai, P., & Kiatsiriroat, T. (2002). Parametric studies of a pulsating-steam water pump. **International Journal of Ambient Energy**, 23(1), 37-46.
- Markides, C.N., & T.C.B. Smith, T.C.B. (2011). A dynamic model for the efficiency optimization of an oscillatory low grade heat engine. **Energy**, 36(12), 6967-6980.
- Mohamed, O., Lotfi, M.L., Mohamed, O., Wasim, J., & Mohamed, R.E. (2022) Solar water-pump thermal analysis utilizing copper-gold/engine oil hybrid nanofluid flowing in parabolic trough solar collector: Thermal case study. **Case Studies in Thermal Engineering**, 30(9), 1017561-17.
- Picken, D.J., Seare, K.D.R., & Goto, F. (1997). Design and development of water Piston solar powered steam pump. **Solar Energy**, 61(3), 219-224.
- Rao, D. P., & Rao, K. S. (1976). Solar water pump for liff irrigation. **Solar Enersy**, 18(5), 405-411.

- Seldon, J. W., Crane, R.A., & Kranc, S. C. (1976). Pumping action from heat-driven Oscillations in a liquid-vapour column. **Journal of Physics D: Applied Physics**, 9(10), 1419-1425.
- Sitranon, J., Lertsatitthanakorn, C., Namprakai, P., Namprakai, N., Suparos, T., & Roonprasang, N. (2014). Parametric consideration of a thermal water pump and application for agriculture. **Journal of Solar Energy Engineering (ASME)**, 137(3), 03100601-12.
- 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.
- Sutthivirode, K., Namprakai, P., & Roonprasang, N. (2009). A new version of a solar water heating system coupled with a solar water pump. **Applied Energy**, 86(9), 1423-1430.
- Wong, Y.W., & Sumathy, K. (2001). Performance of a solar water pump with ethyl-ether as working fluid. **Renewable Energy**, 22(1-3), 389-394.