บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

ในการประยุกต์ใช้พลังงานที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อน เช่น พลังงานจากรังสีอาทิตย์ พลังงานชีวมวล พลังงานความร้อนเหลือทิ้ง เพื่อทำให้เกิดการหมุนเวียนน้ำแบบเทอร์โมไซฟอนขึ้นในระบบ ซึ่งเป็นการหมุนเวียนน้ำที่เกิดจากผลของอุณหภูมิ ความหนาแน่น ที่ต่างกันของสารทำงานในระบบ ตัวอย่างของระบบที่เกิดการหมุนเวียนน้ำแบบนี้ เช่น เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ซึ่งได้อาศัยประโยชน์ของการหมุนเวียนน้ำแบบนี้ในการผลิตน้ำร้อนในระบบโดยไม่ต้องอาศัยงานจากภายนอก (ปั๊มน้ำ) นอกจากนี้ยังมีความพยายามวิจัยและพัฒนาการสูบน้ำด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์และพลังงานความร้อนโดยผ่านกระบวนการต่างๆ [1] เนื่องจากปัญหาอย่างหนึ่งของเกษตรกรก็คือการหาน้ำเพื่อใช้การเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ นอกจากจะพึ่งปริมาณน้ำฝนตามธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ยังจะต้องมีการสูบน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตในการสูบน้ำบางส่วนก็ใช้ปั๊มที่ใช้ไฟฟ้า บางส่วนในบริเวณที่ห่างไกลจากสายส่งไฟฟ้าก็ใช้ปั๊มที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงซึ่งประสบปัญหาการขนส่งเชื้อเพลิงเข้าไปยังพื้นที่ และราคาเชื้อเพลิงแพง นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาพลังงานรวมของประเทศ

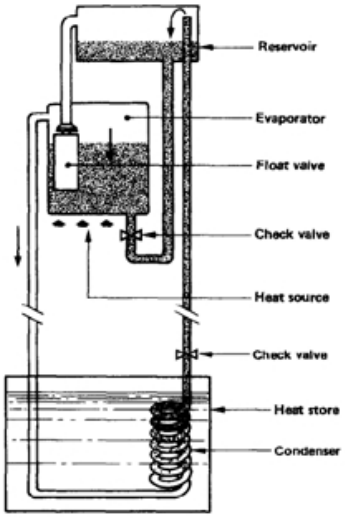
เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษา และออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยพลังงานความร้อน (วิธีใหม่) ซึ่งมีข้อได้เปรียบดังนี้

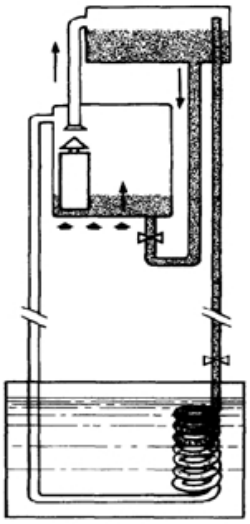
1. สามารถใช้ได้ในสถานที่ทุรกันดาร ไม่มีไฟฟ้าใช้
2. พลังงานที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำใช้พลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิมากกว่า 100°C
3. ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากใช้น้ำเป็นสารทำงานในระบบ
4. อุปกรณ์ไม่มีการเคลื่อนที่ จึงทำให้ไม่มีการสึกหรอ
5. การหมุนเวียนน้ำในระบบจะหมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำแทนการใช้ปั๊มน้ำ

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Beni และ Frisen [2, 3] ได้นำหลักการทำงานของ Self-pumping มาใช้ประโยชน์ในระบบ ซึ่งได้ทำการทดลองระบบ 2 ระบบแล้วนำค่าประสิทธิภาพของระบบทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน โดยการทดลองระบบที่ 1 ใช้ถังความดันเดี่ยวติดตั้งอยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อน ทำงานโดยใช้ความดันของแก๊สเฉื่อย (Inert gas) ที่ผลิตได้มาทำให้ของไหลเกิดการหมุนเวียนภายในระบบ ในช่วงเริ่มต้นของการทดลองต้องนำของเหลวในระบบออกจากอีวาพอเรเตอร์เป็นระยะๆ จึงจำเป็นต้องใช้ปั๊มเพิ่มอีกหนึ่งตัวเพื่อปั๊ม

ของเหลวออกจากอีวาพอเรเตอร์ จากการทดลอง พบว่า การนำระบบที่ 1 มาประยุกต์ใช้ร่วมกับพลังงานรังสีอาทิตย์นั้น ยังทำงานได้ไม่ดี สำหรับการทดลองระบบที่ 2 จะใช้อุปกรณ์เช่นเดียวกับระบบที่ 1 ต่างกันที่ระบบที่ 2 ใช้สารทำความเย็น R-114 เป็นสารทำงานดังแสดงในรูปที่ 1.1 ปริมาณความร้อนที่ใช้ระเหยของเหลวให้กลายเป็นไอภายในอีวาพอเรเตอร์ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านบน จะได้รับความร้อนจากฮีทเตอร์ ไอที่ผลิตได้จะหมุนเวียนมากลั่นตัวที่คอนเดนเซอร์ด้านล่าง ของเหลวที่กลั่นตัวจะถูกส่งกลับไปยังอีวาพอเรเตอร์อีกครั้งด้วยความดันไอที่ผลิตได้ แสดงในรูปที่ 1.1





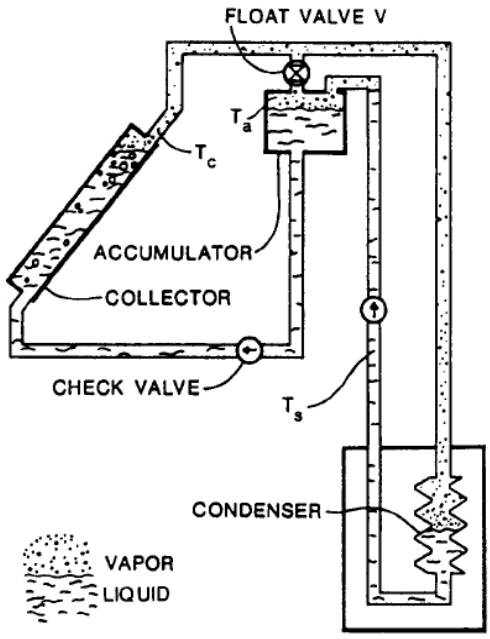
(ก). วาล์วลูกลอยปิดเมื่อของเหลวภายในอีวาพอเรเตอร์มีระดับสูง

(ข). วาล์วลูกลอยเปิดเมื่อของเหลวภายในอีวาพอเรเตอร์มีระดับต่ำ

รูปที่ 1.1 แผนผังการทำงานระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีงอาทิตย์มีการหมุนเวียนแบบ Self-Pumping และควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วแบบ Self-actuated float valve ใช้สารทำความเย็น R-114 เป็นสารทำงาน [2, 3]

ระยะเวลาการทำงานของระบบถูกควบคุมโดยการทำงานของลูกลอย (Self actuated float valve) ซึ่งติดตั้งที่ด้านข้างของอีวาพอเรเตอร์ ระยะห่างในแนวตั้งระหว่างแหล่งความร้อน (Heat source) และแหล่งเก็บความร้อน (Heat sink) สูง 1 m และติดตั้งวาล์วกันกลับแบบสปริง ซึ่งสามารถปรับโหลดของสปริงเพื่อปรับความสูงระหว่างแหล่งความร้อนกับแหล่งเก็บความร้อนได้ถึง 15 m จากผลการทดลอง พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิแหล่งความร้อนกับแหล่งเก็บความร้อนมีค่าเท่ากับ $10^{\circ}C$

Neeper [4] ได้ทดลองระบบการทำความร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้ Self pumping มีการหมุนเวียนในระบบด้วยไอของสารทำความเย็น R-11 ใช้ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบพื้นที่ 2.8 m^2 ใช้ถังความดันและถังเก็บความร้อนอย่างละ 1 ถัง มีวาล์วกันกลับ 2 ชุดและวาล์วควบคุมการเปิด-ปิดด้วยลูกลอย 1 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 1.2

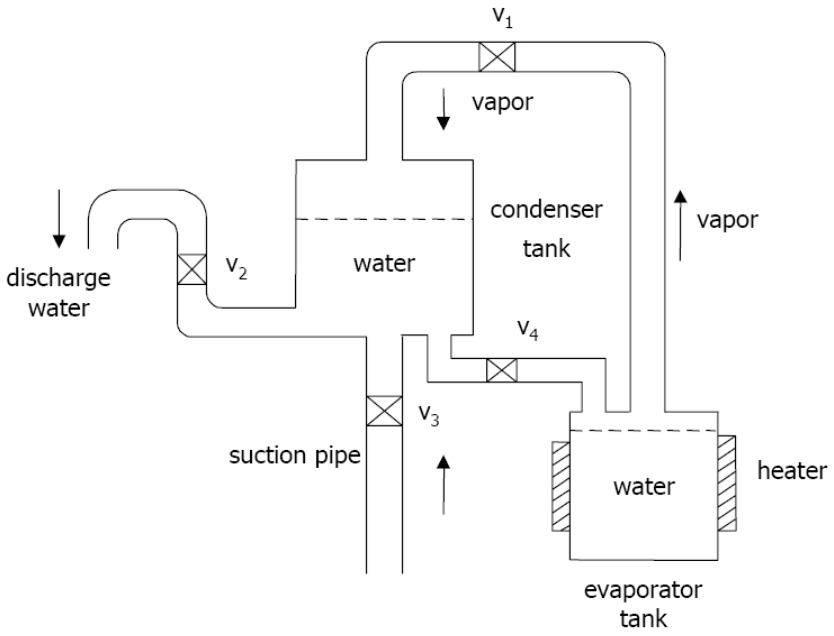


รูปที่ 1.2 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้ Self pumping มีการหมุนเวียนในระบบด้วยไอของสารทำงาน R-11 [4]

จากรูปที่ 1.2 เมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) ได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ สารทำงาน R-11 จะกลายเป็นไอ ไหลไปยังถังเก็บความร้อน (Condenser) และกลั่นตัวเป็นของเหลว ส่วนไอที่ยังไม่ได้กลั่นตัวก็จะขับดันของเหลวให้ไหลขึ้นไปด้านบนเข้าสู่ถังความดัน (Accumulator) โดยระบบนี้จะใช้วาล์วกันกลับ 2 ชุด เพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวไหลย้อนกลับเข้าสู่ถังความดันและถังเก็บความร้อน เมื่อของเหลวในถังความดันมีระดับสูงก็จะดันลูกลอยที่อยู่ภายในให้ลอยสูงขึ้น ทำให้วาล์วลูกลอย (float valve v) เปิด ไอทั้งหมดจะไหลผ่านทางวาล์วลูกลอยเพื่อขับดันของเหลวเข้าสู่ตัวรับรังสีแทน เนื่องจากไหลได้สะดวกกว่าที่จะไหลลงสู่ถังเก็บความร้อน ทำให้ความดันภายในถังความดันสูงขึ้น ของเหลวภายในถังความดันจะไหลเข้าสู่ตัวรับรังสีผ่านทางวาล์วกันกลับ จนกระทั่งระดับของเหลวภายในถังความดันลดลง วาล์วลูกลอยจึงปิด ซึ่งหมายถึงการทำงานครบ 1 รอบและพร้อมที่จะทำงานรอบต่อไป สำหรับการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการประมาณค่าด้วยวิธีพีชคณิต (Algebraic model) ได้แสดงการทำงานของระบบเป็นแบบ Two equilibrium state สร้างความสัมพันธ์

ในรูปความแตกต่างอุณหภูมิไอภายในถังความดัน การประมาณค่าของแบบจำลองนี้ แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของค่าความจุความร้อนภายในถังความดันและแสดงการวิเคราะห์พลังงานที่ทำให้ถังสะสมความดันมีอุณหภูมิต่ำลง หรือของเหลวที่ไหลเข้าสู่ถังมีอุณหภูมิต่ำลง จากผลการทดลอง พบว่าพลังงานที่ปั๊มทำงานได้ (Self pumping) แบบใช้ไอของสารทำงานให้เกิดการหมุนเวียน แสดงอยู่ในรูปอัตราส่วนของพลังงานที่ผลิตได้จริงส่วนพลังงานที่ผลิตได้ในระบบอุดมคติ โดยไม่คิดพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไปยังถังเก็บความร้อนอัตราส่วนของพลังงานขึ้นอยู่กับพลังงานที่สูญเสียให้กับของเหลวภายในถังความดัน และพลังงานที่สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม พลังงานที่ผลิตได้สูงสุดเกิดขึ้นเมื่อพลังงานภายในถังความดันถ่ายเทให้กับสิ่งแวดล้อมมีค่าต่ำ

Liengjindathaworn และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบ Pulsating-steam water pump หรือ ระบบปั๊มน้ำกำลังไอน้ำ ซึ่งเป็นระบบการปั๊มน้ำขึ้นโดยใช้พลังงานความร้อนผลิตเป็นพลังงานไอน้ำ ระบบนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ คือ ถังผลิตไอ (Evaporator tank) ถังควบแน่น (Condenser tank) และอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) ดังแสดงในรูปที่ 1.3



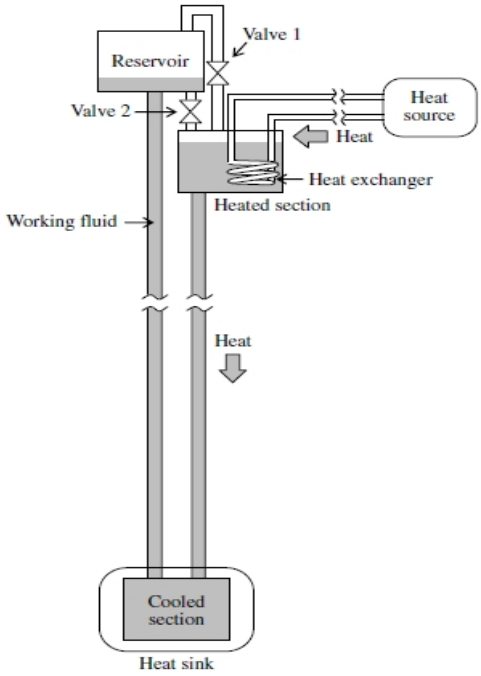
รูปที่ 1.3 ระบบ Pulsating-steam water pump [5]

การทำงานของระบบ Pulsating-steam water pump ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการให้ความร้อน (Heating) ในขั้นตอนนี้เป็นการให้ความร้อนกับน้ำที่อยู่ภายในถังผลิตไอ (Evaporator tank) จนกระทั่งได้อุณหภูมิและความดันที่ต้องการ
2. ขั้นตอนการขับดันน้ำ (Pumping) หลังจากได้อุณหภูมิและความดันที่ต้องการในถังผลิตไอ แล้วระบบจะทำการเปิดวาล์ว V1 และวาล์ว V2 (วาล์ว V3 และ V4 ยังคงปิดอยู่) ไอน้ำที่มีความดันภายในถังผลิตไอ จะไหลเข้าสู่ถังขับดันน้ำ (Condenser tank) และขับดันน้ำที่อยู่ภายในถังไปใช้งานผ่านวาล์ว V2
3. ขั้นตอนการหล่อเย็นสารทำงาน (Cooling) หลังจากขับดันน้ำไปใช้งานแล้ว วาล์ว V1 และ วาล์ว V2 จะปิด ซึ่งในขณะนี้ภายในถังขับดันน้ำจะมีไอน้ำบรรจุอยู่ข้างใน ระบบจะทำการหล่อเย็นไอน้ำที่อยู่ภายในให้กลั่นตัว เกิดเป็นความดันสุญญากาศขึ้น
4. ขั้นตอนการดูดน้ำ (Suction) หลังจากภายในถังขับดันน้ำ เกิดความดันสุญญากาศ ระบบจะเปิดวาล์ว V3 เพื่อดูดน้ำมาเก็บในถังขับดันน้ำจากนั้นก็จะเติมน้ำให้กับถังผลิตไอ โดยการปิดวาล์ว V3 และเปิดวาล์ว V1 และ V4 ทำให้ถังขับดันน้ำและถังผลิตไอมีความดันเท่ากัน น้ำก็จะไหลจากถังขับดันน้ำไปสู่ถังผลิตไอด้วยแรงดึงดูดของโลก

จากผลการศึกษา พบว่าปริมาณน้ำที่ขับดันได้และประสิทธิภาพของระบบ จะขึ้นอยู่กับการตั้งค่าความดันในด้านการส่งน้ำในขั้นตอนการให้ความร้อน และความสูงรวม

Koito และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาทดลองลักษณะการทำงานการส่งความร้อนวนซ้ำตามความยาวจากด้านบน โดยระบบจะประกอบไปด้วย ส่วนการให้ความร้อน ส่วนการระบายความร้อน ส่วนที่เก็บน้ำ วาล์วและท่อที่เชื่อมต่อกัน โดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 1.4 การทำงานของระบบนี้จะเริ่มจากการให้ความร้อนแก่ของไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ส่วนการให้ความร้อน) จากนั้นความร้อนจะถูกทำให้เย็นลงก่อนเข้าสู่ Heat sink (ส่วนการระบายความร้อน) ทำให้อุณหภูมิและความดันภายในระบบเปลี่ยนแปลงแบบหมุนวน (Vary cyclically) ซึ่งสอดคล้องกับการทำงานของวาล์ว ความร้อนจะถูกส่งจากส่วนการให้ความร้อนไปสู่ส่วนการระบายความร้อนลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้สรุปได้ว่า อัตราการไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิของแหล่งความร้อนและการระบายความร้อนมีผลต่อการส่งความร้อนแบบหมุนวน

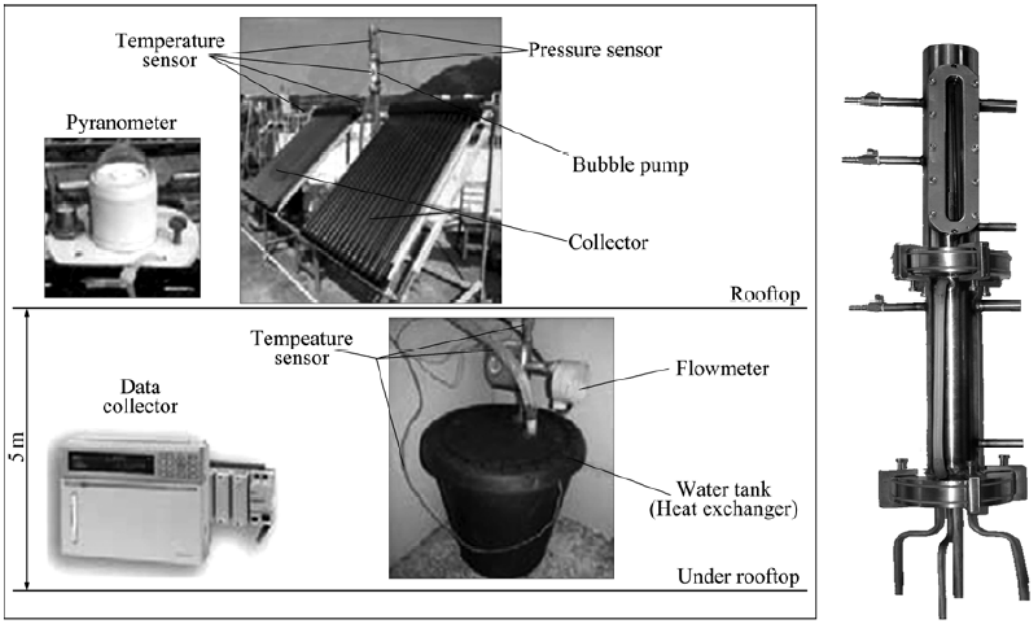


รูปที่ 1.4 แผนผังของระบบการหมุนเวียนความร้อนร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน [6]

Dobriansky [7] ได้ทำการทบทวนงานวิจัยในเชิงวิทยาศาสตร์และเทคนิคที่เกี่ยวกับการหมุนเวียนของไหลในระบบด้วยตัวเอง (เทอร์โมไซฟอนและท่อความร้อน) ซึ่งส่งความร้อนขึ้นสู่ด้านบนและส่งความร้อนลงสู่ด้านล่างโดยการหมุนเวียนภายในระบบด้วยตัวของระบบเอง โดยงานวิจัยนี้จำแนกกระบวนการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลในกระบวนการที่เกิดขึ้นในการหมุนเวียนแบบทั่วไป นอกจากนี้ยังได้แสดงทฤษฎีของหลักการทำงานย้อนกลับ 16 แบบของการหมุนเวียนของไหลในระบบ โดยที่ 4 แบบใช้กำลังในการขับเคลื่อนระบบจากพลังงานที่มาจากภายนอก ในขณะที่การหมุนเวียนของไหลแบบที่เหลือยังคงเป็นการหมุนเวียนด้วยตัวเอง สำหรับการหมุนเวียนด้วยตัวเองไอน้ำถูกนำมาใช้สำหรับการถ่ายโอนความร้อนใน 7 รูปแบบ และของเหลวจะถูกใช้ในส่วนที่เหลือ ผลการวิจัยยังได้แสดงถึงข้อดีและข้อเสียของรูปแบบในการหมุนเวียนของไหลทั้งสองแบบ

Chung และคณะ [8] ได้พัฒนาระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แบบใหม่ (SWHS) ที่ใช้ปั๊มฟองอากาศแทนการใช้ปั๊มน้ำไฟฟ้า โดยระบบประกอบด้วย ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated tube solar collector) ขนาด 2.61 m^2 มีองศาเอียง 45 องศา ปั๊มฟองอากาศทำจากสเตนเลสและยาง สูง 1 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 m สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิตัวเก็บรังสีประมาณ 90 - 100 ^{o}C และความดันไอภายในระบบ 80 - 90 kPa ถังเก็บน้ำร้อนทำจากพลาสติกมีปริมาตร 0.2 m^3 ทำการทดสอบที่ความสูงในการส่งน้ำ (Discharge head) 1 และ 5 m พบว่า การหมุนเวียนน้ำของระบบแบบใหม่จะขึ้นอยู่กับความเข้มรังสีอาทิตย์และความสูงในการส่งน้ำ

นอกจากนี้ระบบแบบใหม่ยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบแบบเดิมที่ใช้ปั๊มน้ำไฟฟ้า ถึง 10% และไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย ซึ่งมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1.5 ภาพถ่ายในการทดลองของระบบที่ใช้ปั๊มฟองอากาศแทนปั๊มน้ำไฟฟ้า [8]

Gopal และคณะ [9] ได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาระบบสูบน้ำโดยใช้พลังงานทดแทน (RESWPSs) เป็นแหล่งพลังงานป้อนให้กับระบบ จากการทบทวนงานวิจัย พบว่า สามารถจำแนกประเภทออกเป็น 5 กลุ่มหลัก ดังต่อไปนี้

1. Solar photovoltaic water pumping systems (SPWPSs)
2. Solar thermal water pumping systems (STWPSs)
3. Wind energy water pumping systems (WEWPSs)
4. Biomass water pumping systems (BWPSs)
5. Hybrid renewable energy water pumping systems (HREWPSs)

โดยได้รวบรวมและทบทวนบทความตีพิมพ์ มากกว่า 100 บทความ นอกจากนี้ยังมีการอธิบายถึงข้อจำกัดเกี่ยวกับระบบสูบน้ำโดยใช้พลังงานทดแทน (RESWPSs) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สรุปไว้ว่าแหล่งพลังงานทดแทน (RESs) มีบทบาทสำคัญในการลดการใช้พลังงานฟอสซิลและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการใช้สูบน้ำ

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาวิจัยและอธิบายเกี่ยวระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนอีกมาก โดยมีบทความตีพิมพ์เกี่ยวกับระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน [10 - 20]

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบสร้างระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน
2. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน โดยสร้างอุปกรณ์ทดลองแบ่งเป็น 2 ชุด คือ (1) ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อน และ (2) ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน
2. ใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า และพลังงานรังสีอาทิตย์ เพื่อศึกษาสภาพการทำงานของระบบปั๊ม และผลของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ แรงดันไอน้ำภายในถังขับดันน้ำและตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Vapor pressure) อัตราการปั๊มน้ำ (Water pumping rate)
3. เปรียบเทียบการประหยัดพลังงานระหว่างระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อน และระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน
4. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. <u>ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี</u> ได้ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนถึง 2 แบบ
2. <u>ด้านเศรษฐกิจและสังคม</u> สามารถนำไปติดตั้งในชนบทหรือสถานที่ที่ไม่มีไฟฟ้าได้ เพราะระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนแบบที่ใช้พลังงานรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนนี้เหมาะสำหรับบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานรังสีอาทิตย์ ประมาณ 4.5 – 4.7 kWh/m^2

3. <u>ด้านสิ่งแวดล้อม</u> เนื่องจากระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนแบบที่ใช้พลังงานรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนทำงานได้โดยใช้พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ในการหมุนเวียนน้ำแทนการใช้ปั๊มน้ำ (ไม่มีการใช้ไฟฟ้า) จึงเป็นการลดการใช้พลังงานได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งเป็นการช่วยแก้ปัญหาในเรื่องโลกร้อน
4. <u>ด้านอุตสาหกรรมและพาณิชย์</u> เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนในระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ แบบ Flat-plate solar collector ต่อไป