รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
1.1	แผนผังการทำงานระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มีการหมุนเวียนแบบ Self-Pumping และควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วแบบ Self-actuated float valve ใช้สารทำความเย็น R-114 เป็นสารทำงาน	2
1.2	ระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้ Self pumping มีการหมุนเวียนในระบบด้วยไอของสารทำงาน R-11	3
1.3	ระบบ Pulsating-steam water pump	4
1.4	แผนผังของระบบการหมุนเวียนความร้อนร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	6
1.5	ภาพถ่ายในการทดลองของระบบที่ใช้ปั๊มฟองอากาศแทนปั๊มน้ำไฟฟ้า	7
2.1	แผนภาพอุปกรณ์โดยทั่วไปของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยธรรมชาติแบบสองสถานะ (น้ำและไอน้ำ) ร่วมกับคำจำกัดความในรูปด้านขวามือ	12
2.2	รูปแบบการไหลในระบบของระบบหมุนเวียนน้ำพลังงานความร้อน แบบหมุนเวียนด้วยตัวของระบบเอง	14
2.3	ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน	15
2.4	ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อน (ปริมาตรของถังขับดันน้ำ 4 L)	17
2.5	ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อน (ปริมาตรของถังขับดันน้ำ 10 L)	18
3.1	การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้ากับโครงสร้างของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 1	21
3.2	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ	22
3.3	ถังเติมน้ำด้านบนของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนระบบที่ 1	22
3.4	ถังเก็บน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 1	23
3.5	อุปกรณ์วัดความดัน ระบบที่ 1	24
3.6	เครื่องบันทึกอุณหภูมิ ระบบที่ 1	24
3.7	การติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ระบบที่ 1	24
3.8	เครื่องวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ระบบที่ 1	25
3.9	อุปกรณ์วัดความเร็วลม ระบบที่ 1	25

รายการรูปประกอบ(ต่อ)

รูป **หน้า**

3.10 จุดวัดอุณหภูมิและความดันของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 1 26
3.11 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้ากับโครงสร้างของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 2 27
3.12 ถังผลิตไอระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 2 28
3.13 ถังขับดันน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 2 29
3.14 ถังเติมน้ำด้านบนของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 2 29
3.15 ถังเก็บน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 2 30
3.16 อุปกรณ์วัดความดัน ระบบที่ 2 30
3.17 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ ระบบที่ 2 31
3.18 Kilowatt hour meter ระบบที่ 2 31
3.19 จุดวัดอุณหภูมิและความดันของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 2 32
3.20 ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 3 33
3.21 ถังผลิตไอระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 3 34
3.22 ถังขับดันน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 2 34
3.23 ถังเติมน้ำด้านบนของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 2 35
3.24 ถังเก็บน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 2 35
3.25 อุปกรณ์วัดความดัน ระบบที่ 3 36
3.26 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ ระบบที่ 3 36
3.27 Kilowatt hour meter ระบบที่ 3 36
3.28 จุดวัดอุณหภูมิและความดันของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน ระบบที่ 3 37
4.1 ผลการทดลองของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน ที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 1 m แสดงอุณหภูมิน้ำภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (T_c), อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำ (T_s), อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำด้านบน (T_{OT}) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) 39
4.2 ผลการทดลองของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 1 m แสดงความดันไอภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (P_c) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) 40

รายการรูปประกอบ(ต่อ)

รูป **หน้า**

4.3 ผลการทดลองของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน ที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 2 m แสดงอุณหภูมิน้ำภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (T_c), อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำ (T_s), อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำด้านบน (T_{OT}) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) 41

4.4 ผลการทดลองของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 2 m แสดงความดันไอภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (P_c) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) 42

4.5 การทำงานทั้ง 3 ขั้นตอนของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้พลังงานรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน (ระบบที่ 1) 44

4.6 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำสุดที่ระบบสามารถทำงานได้ที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 1 m 45

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ระบบสามารถหมุนเวียนได้ต่อวัน และค่ารังสีอาทิตย์รวมต่อวันที่ระดับความสูงในการส่งน้ำ 1 และ 2 m 47

5.1 ผลของปริมาณน้ำภายในถังเติมน้ำด้านบนที่มีผลต่ออุณหภูมิผสมและความดัน 50

5.2 อุณหภูมิน้ำภายในถังเติมน้ำด้านบน (T_{OT}) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Ta) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังผลิตไอ (T_{HT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังขับดันน้ำ (T_{DT}) ความดันไอภายในถังผลิตไอ (P_{HT}) ความดันไอภายในถังขับดันน้ำ (P_{DT}) ของระบบ ที่ระดับความสูงรวม 2 m 51

5.3 อุณหภูมิน้ำภายในถังเติมน้ำด้านบน (T_{OT}) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Ta) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังผลิตไอ (T_{HT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังขับดันน้ำ (T_{DT}) ความดันไอภายในถังผลิตไอ (P_{HT}) ความดันไอภายในถังขับดันน้ำ (P_{DT}) ของระบบ ที่ระดับความสูงรวม 2.5 m 52

5.4 อุณหภูมิน้ำภายในถังเติมน้ำด้านบน (T_{OT}) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Ta) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังผลิตไอ (T_{HT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังขับดันน้ำ (T_{DT}) ความดันไอภายในถังผลิตไอ (P_{HT}) ความดันไอภายในถังขับดันน้ำ (P_{DT}) ของระบบ ที่ระดับความสูงรวม 3 m 53

5.5 การทำงานทั้ง 4 ขั้นตอนของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อน (ระบบที่ 2) 56

รายการรูปประกอบ(ต่อ)

รูป **หน้า**

5.6 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำจากการทดลองและเส้นแนวโน้ม ที่ระดับความสูงรวม 3 m 57

5.7 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบเทียบกับความสูงรวม 58

6.1 ปริมาณอากาศที่ส่งผลต่อกับความดันที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำของระบบ 62

6.2 ผลของปริมาณน้ำภายในถังเติมน้ำด้านบนที่มีผลต่ออุณหภูมิผสมและความดัน 63

6.3 อุณหภูมิน้ำภายในถังเติมน้ำด้านบน (T_{OT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังผลิตไอ (T_{HT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังขับดันน้ำ (T_{DT}) ความดันไอภายในถังขับดันน้ำ (P_{DT}) ของระบบที่ระดับความสูงรวม 3 m 64

6.4 อุณหภูมิน้ำภายในถังเติมน้ำด้านบน (T_{OT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังผลิตไอ (T_{HT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังขับดันน้ำ (T_{DT}) ความดันไอภายในถังขับดันน้ำ (P_{DT}) ของระบบที่ระดับความสูงรวม 4.5 m 66

6.5 อุณหภูมิน้ำภายในถังเติมน้ำด้านบน (T_{OT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังผลิตไอ (T_{HT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังขับดันน้ำ (T_{DT}) ความดันไอภายในถังขับดันน้ำ (P_{DT}) ของระบบที่ระดับความสูงรวม 6 m 67

6.6 อุณหภูมิน้ำภายในถังเติมน้ำด้านบน (T_{OT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังผลิตไอ (T_{HT}) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังขับดันน้ำ (T_{DT}) ความดันไอภายในถังขับดันน้ำ (P_{DT}) ของระบบที่ระดับความสูงรวม 7.5 m 69

6.7 การทำงานทั้ง 5 ขั้นตอนของระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อน (ระบบที่ 3) 71

6.8 วิธีการเติมอากาศเข้าสู่ถังขับดันน้ำ 72

6.9 ถังขับดันน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นปั๊มและคอนเดนเซอร์ของระบบที่ 3 72

6.10 p - v diagram 73

6.11 จำนวนรอบการทำงานของระบบ (N) ได้จากการทดลองที่เฮดความสูงต่าง ๆ ได้สมการเส้นแนวโน้ม N = -4.4667Z+46.2 (fitted line) RMSE 6.42% 75

6.12 อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำจากการทดลองที่ความสูงรวมที่ระดับต่างๆ 75

6.13 ผลของความยาวของท่อด้านสูบที่ส่งผลต่อการสูญเสียเนื่องจากความสูงของระบบ 76

6.14 ประสิทธิภาพการหมุนเวียนน้ำเฉลี่ยของระบบ จากการทดลองที่ระดับความสูงรวมต่างๆ RMSE = 0.0582% 78

รายการรูปประกอบ(ต่อ)

รูป **หน้า**

6.15 การประยุกต์ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อนกับบ้านพักอาศัย 83

7.1 สมดุลพลังงานของถังผลิตไอช่วงการให้ความร้อนของระบบ 85

7.2 สมดุลพลังงานของถังขับดันน้ำช่วงการหมุนเวียนน้ำออกจากระบบหรือช่วงการปั๊ม 92

7.3 การระบายไอภายในถังขับดันน้ำของระบบที่ 2 96

7.4 สมดุลพลังงานของถังขับดันน้ำช่วงการสูบน้ำเข้าสู่ระบบ 97

7.5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำและไอน้ำภายในถังผลิตไอระหว่างผลการทดลอง (T_{HT},Ex) และ ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (T_{HT},Sim)
$\frac{RMSE}{\overline{X}} \times 100 = 0.66\%$ 102

7.6 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำภายในถังขับดันน้ำระหว่างผลการทดลอง (T_{DT},Ex) และ ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (T_{DT},Sim)
$\frac{RMSE}{\overline{X}} \times 100 = 5\%$ 102

7.7 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำภายในถังขับดันน้ำระหว่างผลการทดลอง (P_{DT},Ex) และ ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (P_{DT},Sim)
$\frac{RMSE}{\overline{X}} \times 100 = 8.01\%$ 103

8.1 การประยุกต์ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนใช้กับบ้านพักอาศัย 108