



รายงานโครงการวิจัย

เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล

A Solar Thermal Water Pump Combined with Biomass Energy

กังสดาล สกุลพงษ์มาลี และคณะ

พฤศจิกายน 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตและการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
1.5 สถานที่วิจัย	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	3
1.7 ทรัพยากรและงบประมาณ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	
3.1 วิธีการดำเนินการ	18

3.2 การออกแบบเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล	21
--	----

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของการทดลอง	23
3.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดและบันทึกอุณหภูมิของเครื่องสูบน้ำ พลังงานความร้อนจากชีวมวล	28
3.5 วิธีการทดลองเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานความร้อนจากชีวมวล เป็นแหล่งพลังงานความร้อน	30
3.6 จุดวัดอุณหภูมิภายในเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล	31
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการทดลองการแสดงอุณหภูมิภายในถังผลิตไอ และถังขั้บตันที่ความสูงด้านดุดเท่ากับ 2 เมตร	34
4.2 ผลการทดลองการแสดงอุณหภูมิภายในถังผลิตไอ และถังขั้บตันที่ความสูงด้านดุดเท่ากับ 3 เมตร	43
4.3 อุณหภูมิไอในถังขั้บตันน้ำด้านบนที่ความสูงด้านดุดน้ำ เท่ากับ 2 เมตร และที่ความสูงด้านดุดน้ำเท่ากับ 3 เมตร	52
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	56
5.2 อภิปรายผล	57
5.3 ข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	61

ประวัติผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตและการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
1.5 สถานที่วิจัย	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	3
1.7 ทรัพยากรและงบประมาณ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์	12
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	

3.1	วิธีการดำเนินการ	34
-----	------------------	----

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
3.2	การออกแบบเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล	36
3.3	ส่วนประกอบที่สำคัญของการทดลอง	38
3.4	การติดตั้งเครื่องมือวัดและบันทึกอุณหภูมิของเครื่องสูบน้ำพลังงานจากชีวมวล	43
3.5	วิธีการทดลองเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานความร้อนจากชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานความร้อน	45
3.6	จุดวัดอุณหภูมิภายในเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล	46
บทที่ 4	ผลการดำเนินงาน	
4.1	ผลการทดลองอุณหภูมิภายในถังต้มน้ำและถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดูดน้ำเท่ากับ 2 เมตร	49
4.2	ผลการทดลองอุณหภูมิภายในถังต้มน้ำและถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดูดน้ำเท่ากับ 3 เมตร	58
4.3	อุณหภูมิไอในถังขับเคลื่อนน้ำด้านบนที่ความสูงด้านดูดน้ำเท่ากับ 2 เมตรและที่ความสูงด้านดูดน้ำเท่ากับ 3 เมตร	67
4.4	แบบจำลองคณิตศาสตร์	70
4.5	ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ	70
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการทดลอง	73
5.2	อภิปรายผล	74
5.3	ข้อเสนอแนะ	75

บรรณานุกรม

76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	78
ก การหาประสิทธิภาพ	79
ข เอกสารเผยแพร่งานวิจัย	86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ตารางบันทึกอุณหภูมิเฉลี่ยกับประสิทธิภาพที่ความสูงด้านตูดน้ำ เท่ากับ 2 เมตร	69
4.2	ตารางบันทึกอุณหภูมิเฉลี่ยกับประสิทธิภาพที่ความสูงด้านตูดน้ำ เท่ากับ 3 เมตร	69

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 จังหวะผลิตไอน้ำ	8
2.2 จังหวะผลิตไอน้ำ(ต่อ)	9
2.3 จังหวะขับเคลื่อนน้ำไปยังถังเก็บน้ำ	10
2.4 จังหวะขับเคลื่อนน้ำไปยังถังเก็บน้ำ (ต่อ)	10
2.5 จังหวะหล่อเย็น	11
2.6 จังหวะดูดน้ำขึ้นมาจากใต้ดิน	11
2.7 จังหวะดูดน้ำขึ้นมาจากใต้ดิน (ต่อ)	12
2.8 สมดุลพลังงานของถังผลิตไอน้ำช่วงการให้ความร้อนแก่ระบบ	13
2.9 สมดุลพลังงานของถังผลิตไอน้ำช่วงการให้ความร้อนแก่ระบบเมื่อมีการเดือด	14
2.10 ไดอะแกรมการทำงานของระบบ	28
2.11 การทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยพลังไอน้ำ	29
2.12 หลักการทำงานของระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำ ด้วยกำลังไอน้ำ	30
2.13 เครื่องสูบน้ำกำลังไอน้ำและอากาศเพื่อใช้กับน้ำใต้ดิน	33
3.1 ขั้นตอนการศึกษาโครงการสร้างระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจาก ชีวมวล	35
3.2 การออกแบบเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล	36
3.3 ขนาดของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล	37
3.4 ขนาดถังขับเคลื่อน	37
3.5 ขนาดถังต้มน้ำ	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6 วาล์วกันกลับแบบลื่นยก	38
3.7 มิติวาล์วกันกลับแบบลื่นยก	38
3.8 ถังตมน้ำ	38
3.9 ถังซับตัน	39
3.10 ถังน้ำหล่อเย็น	39
3.11 เหล็กฉาก	40
3.12 ฉนวนหนา 1 นิ้ว	40
3.13 ถังกักเก็บน้ำ	41
3.14 วาล์วกันกลับด้านดูด	41
3.15 ลูกลอยและลูกปิงปอง	42
3.16 บ่อน้ำ (ถังน้ำด้านดูด)	42
3.17 เตาถ่านและถ่านชีวมวลจากไม้โกงกาง	43
3.18 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ Data logger	43
3.19 สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K	44
3.20 เครื่องบอมป์แคลอริมิเตอร์	44
3.21 เครื่องชั่งน้ำหนัก	45
3.22 จุดตรวจวัดอุณหภูมิภายในระบบ	46
3.23 การทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล	47
3.24 การทดลองสูบน้ำจากบ่อน้ำไปยังถังซับตันที่ความสูงระดับ 3 เมตร	48

4.21 อุณหภูมิภายในถังต้มน้ำที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2	61
4.22 อุณหภูมิไอน้ำในถังขัดันที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2	62
4.23 อุณหภูมิไอน้ำในถังขัดันด้านบนที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.24 อุณหภูมิไอน้ำในถังขัดันตรงกลางที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2	63
4.25 อุณหภูมิไอน้ำในถังขัดันด้านล่างที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2	64
4.26 อุณหภูมิภายในถังต้มน้ำที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3	64
4.27 อุณหภูมิไอน้ำในถังขัดันที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3	65
4.28 อุณหภูมิไอน้ำในถังขัดันด้านบนที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3	66
4.29 อุณหภูมิไอน้ำในถังขัดันตรงกลางที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3	66
4.30 อุณหภูมิไอน้ำในถังขัดันด้านล่างที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3	67
4.31 อุณหภูมิไอน้ำในถังขัดันด้านบนที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 2 เมตร	67
4.32 อุณหภูมิไอน้ำในถังขัดันด้านบนที่ความสูงด้านดุน้ำ เท่ากับ 3 เมตร	68
4.34 อุณหภูมิภายในถังขัดันไอน้ำระหว่างผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	69
และผลของการทดลองที่ระดับความสูงในการสูบน้ำ 1	

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์เจิมธง ปราณารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำ และให้ความรู้ตลอดจนแนวทางแก้ปัญหาอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอย่างมาก ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงการวิจัย ตลอดจนบุคลากรและนักศึกษาทุกคน และโครงการนี้จะเกิดขึ้นมาได้ต้องขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่อุดหนุนงบประมาณกับโครงการวิจัย ตามมติคณะรัฐมนตรี ปีงบประมาณ 2559

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจให้ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

กังสดาล สกุลพงษ์มาลี และคณะ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
K	การนำความร้อน (องศาเซลเซียส)
H	ความลึก (เมตร)
M	มวล (กรัม)
Z	เฮตระดับ (เมตร)
Q	ความร้อน (องศาเซลเซียส)
N	จำนวนรอบที่สามารถปั้มน้ำได้ใน 1 ชั่วโมง
W_h	พลังงานที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำต่อรอบ (จูลต่อรอบ)
H_{tot}	ผลรวมค่าความร้อนที่ได้ (กิโลจูล)
V_C	ปริมาตรของน้ำที่สามารถส่งได้ต่อรอบ (ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ)
ρ_w	ความหนาแน่นของน้ำ (1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์)
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 เมตรต่อวินาที)
h	ความสูงของการส่งน้ำ (เมตร)
Q	ปริมาณความร้อน (จูล)
m	มวลของน้ำ (กรัม)
c_p	ความจุความร้อนจำเพาะ (แคลอรีต่อกรัม)
Δt	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมีหน่วยเป็น (องศาเซลเซียส)
T_{st}	อุณหภูมิถังกักเก็บน้ำ (องศาเซลเซียส)
T_s	อุณหภูมิไอในถังผลิตไอ (องศาเซลเซียส)
T_w	อุณหภูมิน้ำของบ่อน้ำ (องศาเซลเซียส)
T_{ab}	อุณหภูมิส่วนบนของถังขั้บตันน้ำ (องศาเซลเซียส)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
Tmi	อุณหภูมิส่วนกลางของถังขັบตันน้ำ (องศาเซลเซียส)
Tbl	อุณหภูมิส่วนล่างของถังขັบตัน (องศาเซลเซียส)
Ab	อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)
η_p	ค่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (%)
η_t	ประสิทธิภาพความร้อน (%)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก จากข้อมูลในปี 2554 ที่ผ่านมามีรายงานว่าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขึ้นต้นมาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณ การใช้น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีกเพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมัน เชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้า (แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี 2555) จากข้อมูลในช่วงต้น การนำพลังงานชีวมวลมาใช้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ เมื่อพิจารณาพื้นฐานของประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากมาย การสูบน้ำในพื้นที่ชนบทเพื่ออุปโภค บริโภค และเพื่อการเกษตร ถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้เครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล หรือจากพลังงานไฟฟ้า ซึ่งการสูบน้ำด้วยพลังงานไฟฟ้ายังมีข้อจำกัด โดยบริเวณที่ไม่มีสายส่งถึง เช่น บริเวณการเกษตรที่ห่างไกลแต่ยังมีความต้องการใช้น้ำจะไม่สามารถสูบน้ำได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาและทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และยังสามารถสูบน้ำได้ทุกพื้นที่แม้อยู่ห่างไกลจากสายส่ง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล
- 1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ใช้ถ่านไม้โกงกางเป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อน
- 1.3.2 ทำการทดลองและบันทึกผลภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง
- 1.3.3 ความสูงในการหมุนเวียนน้ำเท่ากับ 3 และ 4 เมตร

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับสูบน้ำได้
- 1.4.2 เป็นการสร้างเทคโนโลยีใหม่ให้กับประเทศและลดต้นทุนค่าไฟฟ้า
- 1.4.3 สามารถนำงานวิจัยที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในภาคเกษตรกรรม
- 1.4.4 เป็นการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์

1.5 สถานที่วิจัย

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

1.6 แผนการดำเนินงาน

ระยะเวลาในการดำเนินงานรวม 11 เดือนตั้งแต่ มกราคม ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2558

แผนงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน พ.ศ.2558						
	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย.	พ.ค	มิ.ย	ก.ค.-พ.ย
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล							
2. ออกแบบและสร้างชุดทดลอง							
3. ทดลองระบบการทำงาน							
4. สรุปผลการทดลอง							
5. จัดทำรายงาน							

1.7 ทรัพยากรและงบประมาณ

รายการงบประมาณค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน (บาท)
1. วาล์วกันกลับ	240
2. สายยาง	500
3. ถังขับเคลื่อน	5,000
4. ถังต้มน้ำ	2,000
5. เหล็กฉาก	1,000
6. เตาถ่าน	200
7. ถังกักเก็บน้ำ	80
8. ถังน้ำหล่อเย็น	100
9. ถังจ่ายน้ำให้กับระบบ (บ่อน้ำ)	150
10. ข้อต่อ 3 ทาง และท่อทองแดง	550
12. เชื่อมขัดรัดสายและวาล์วทองเหลือง	300
รวมทั้งสิ้น	10,120

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอนของเครื่องสูบน้ำ พลังงานความร้อนจากชีวมวล

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วย

2.1.1 ชีวมวล (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2557)

ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือกากจากระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อยได้จากการผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้ กากปาล์มได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด กากมันสำปะหลังได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ชังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออกกาก และกะลามะพร้าวได้จากการนำมะพร้าวมาปอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิและน้ำมันมะพร้าว ส่วนที่เหลือได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้นพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำองค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

2.1.1.1 ความชื้น (Moisture)

ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตรถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ความชื้นไม่ควรเกิน ร้อยละ 50

2.1.1.2 ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance)

ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Volatiles matter และ Fixed carbon volatiles matter คือ ส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูง แสดงว่าติดไฟได้ง่าย

2.1.1.3 ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ขี้เถ้า (Ash)

ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1-3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมี สัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10-20% ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

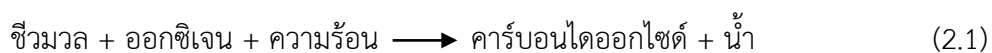
2.1.2 กระบวนการแปรรูปชีวมวล (อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์, 2543)

กระบวนการแปรรูปชีวมวลชนิดต่างๆถูกแปรรูปไปเป็นพลังงานในรูปแบบที่แตกต่าง ขึ้นอยู่กับประโยชน์และความต้องการใช้งานการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานหลักๆ ได้แก่

2.1.2.1 การเผาไหม้โดยตรง (Combustion)

กระบวนการเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) เป็นการนำชีวมวลมาเผาทำ ให้ความร้อนที่ได้ออกมาตามค่าความร้อนของชีวมวลนั้นๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถ นำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง จากนั้นไอน้ำจึงถูกนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิต ไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือเศษวัสดุทางการเกษตรและเศษไม้

กระบวนการเผาไหม้โดยตรงเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในที่ที่มีอากาศเพื่อให้เกิด การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ สารอินทรีย์จากชีวมวลจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เขียน เป็นสมการได้ ดังสมการที่ (2.1)



กระบวนการนี้ต้องการออกซิเจนในปริมาณที่มากพอ ผลสุดท้ายที่เกิดขึ้นคือ
ชี้ถ้ำ เช่น การเผาขยะ การผลิตไฟฟ้าในโรงจักรกำลังไฟฟ้า เป็นต้น การเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นชี้เพลิง
เพื่อผลิตพลังงานแบบนี้ จะมีประสิทธิภาพสูงมากกว่ากระบวนการแบบอื่นๆ

2.1.2.2 การผลิตชี้แก๊ส (Gasification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนชี้เพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นชี้แก๊สชีวภาพองค์ประกอบ
ของชี้แก๊สมีเทนชี้แก๊สไฮโดรเจน ชี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถใช้เป็น
ชี้เพลิงสำหรับกังหันชี้แก๊ส (Gas turbine) ผลิตไฟฟ้ารถยนต์และการหุงต้มอาหาร

2.1.2.3 การหมัก (Fermentation)

เป็นการนำชีวมวล เช่น ขยะอินทรีย์ในชุมชน มูลสัตว์ น้ำเสีย จากชุมชนหรือ
อุตสาหกรรมเกษตรมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลที่มีถูกย่อยสลายและแตกตัวเกิด
เป็นชี้แก๊สชีวภาพ (Biogas) ที่มีองค์ประกอบของชี้แก๊สมีเทนและชี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นชี้เพลิงใน
เครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

2.1.3 ไม้โกงกาง

ไม้โกงกางมีคุณสมบัติคือให้ความร้อนสูงไม่แตกปะทุเป็นประกายไฟติดไฟทนนานให้
คาร์บอนเสถียรสูง มีสารระเหยต่ำ เมื่อเคาะถ่านจะมีเสียงดังกังวานคล้ายเสียงเคาะกระเบื้องดินเผา
เมื่อหักดูจะเห็นสีดำมันวาวตรงบริเวณรอยหักมีค่าความต้านทานต่ำ

2.1.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพป้้มและประสิทธิภาพความร้อนดังที่ได้แสดงสมการที่ 2.2 ถึง
สมการที่ 2.5

ประสิทธิภาพป้้ม

$$\eta_p = \frac{NW_h}{H_{tot}} \times 100 \quad (2.2)$$

และ $\eta_p = f(N, h)$

เมื่อ N = จำนวนรอบที่สามารถปั้มน้ำได้ใน 1 ชั่วโมง

W_h = พลังงานที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำต่อรอบ (จูลต่อรอบ)

H_{tot} = ผลรวมค่าความร้อนที่ได้ (กิโลจูล)

พลังงานที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำต่อรอบ

$$W_h = V_c \times \rho_w \times g \times h \quad (2.3)$$

เมื่อ V_c = ปริมาตรของน้ำที่สามารถส่งได้ต่อรอบ (ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ)

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ (1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 เมตรต่อวินาที)

h = ความสูงของการส่งน้ำ (เมตร)

ประสิทธิภาพความร้อน

$$\eta_t = \frac{Q}{H_{tot}} \times 100 \quad (2.4)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณความร้อน (จูล)

H_{tot} = ผลรวมค่าความร้อนที่ได้ (กิโลจูล)

โดย

$$Q = mc_p \Delta t \quad (2.5)$$

เมื่อ

m = มวลของน้ำ (กรัม)

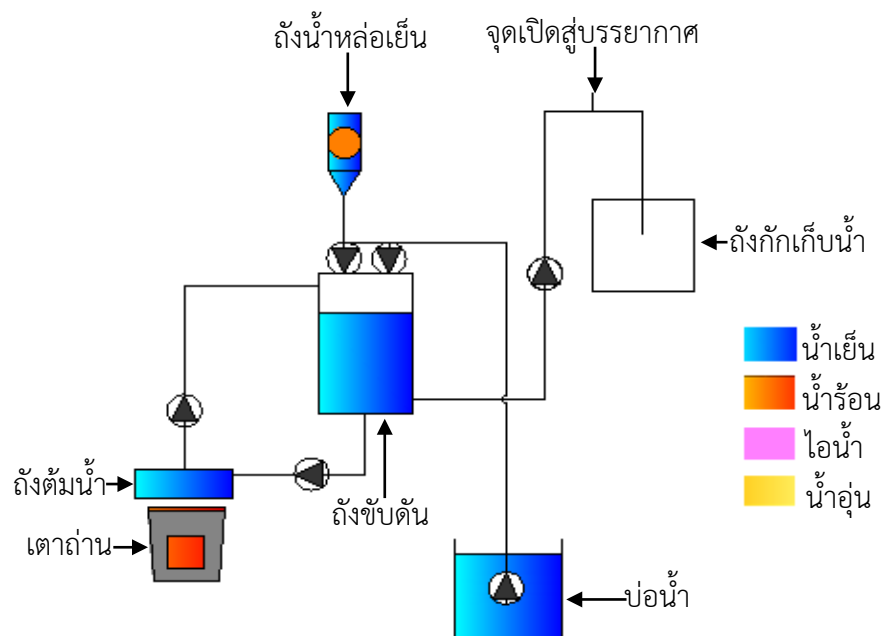
c_p = ความจุความร้อนจำเพาะ (แคลอรีต่อกรัม)

Δt = อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมีหน่วยเป็น (องศาเซลเซียส)

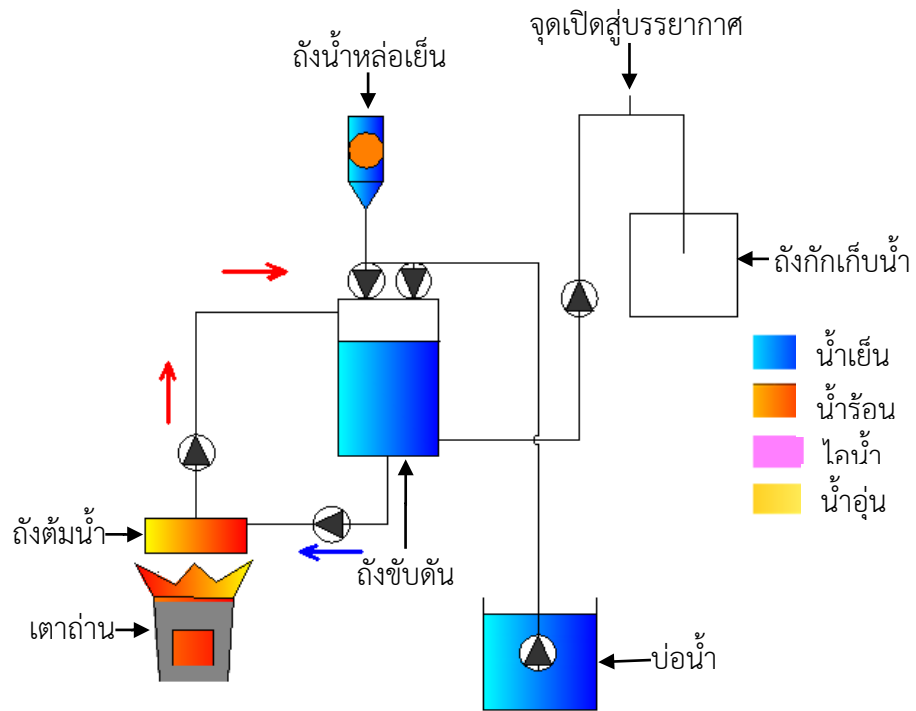
2.1.5 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล

หลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลได้แก่ ขั้นตอนการทำงานประกอบไปด้วย 1) จังหวะผลิตไอน้ำ 2) จังหวะขับดันน้ำไปยังถังกักเก็บน้ำ 3) จังหวะหล่อเย็น และ 4) จังหวะดูดน้ำ

1) จังหวะผลิตไอน้ำ เมื่อป้อนพลังงานความร้อนจากชีวมวลให้ถังต้มน้ำทำให้เกิดไอน้ำขึ้น และอากาศที่มีการขยายตัวขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิสูงจะเกิดให้เกิดความดันขึ้นภายในถังต้มน้ำ แสดงดังภาพที่ 2.1 และภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 จังหวะผลิตไอน้ำ

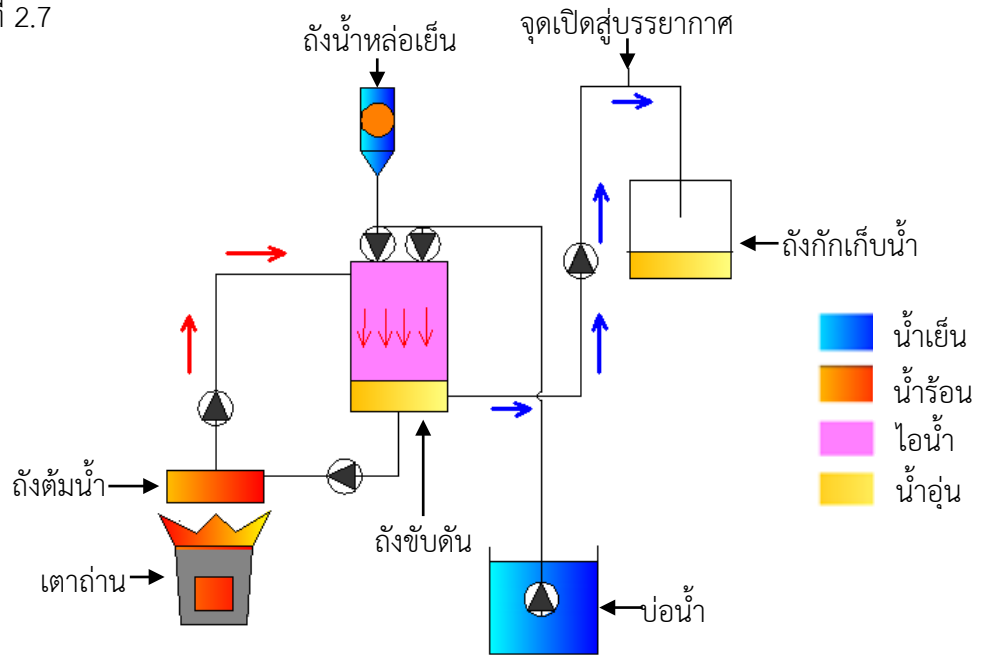


ภาพที่ 2.2 จั้งหะผลัดไอน้ํา (ต่อ)

2) จั้งหะขั้บด้นน้ําไปยั้งถังกั้กเก็บน้ํา เมื่ไอน้ําจากถังตม้มน้ําไปสะสมที่ถังขั้บด้นจนเก็ดแรงด้นและแรงด้นจากอากาศที่เก็ดการขยายตัวมีค่ามากกว่าความด้นบรรยาศก็จ้ะทำการขั้บด้นน้ําในถังขั้บด้นไปเก็บในถังกั้กเก็บน้ําจนกระทั่งถังขั้บด้นมีแต่ไอน้ําและไอน้ําจะเคลื่อนที่ผ่านจุดที่เป็ดสู้บรรยาศแสดงดั่งภาพที่ 2.3 และภาพที่ 2.4

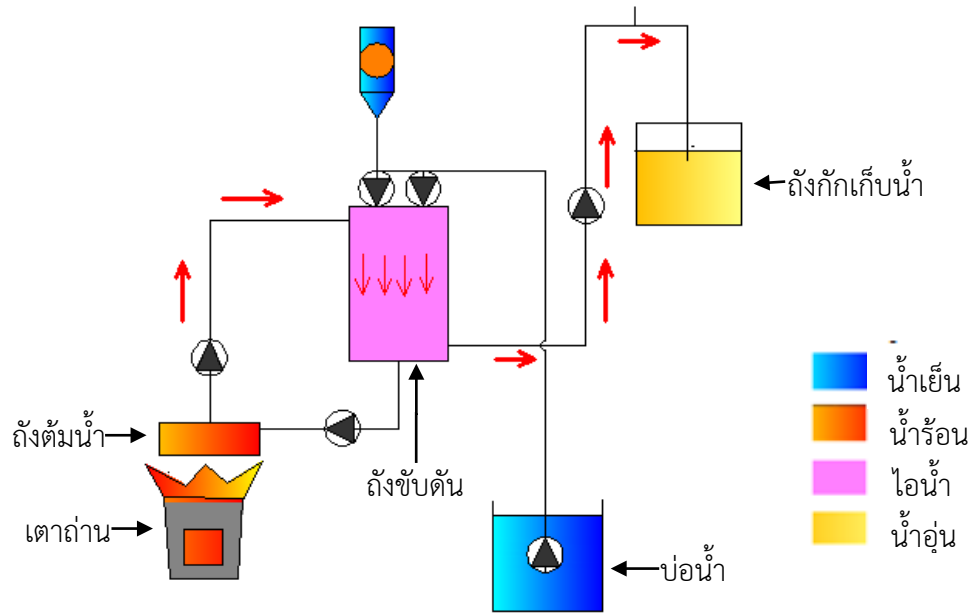
3) จั้งหะห่อเย้นเมื่ไอน้ํานั้นเคลื่อนที่ผ่านจุดที่เป็ดสู้บรรยาศทำให้ความด้นในถังขั้บด้นมีความด้นเทียบเท่าบรรยาศ น้ําห่อเย้นจะไหลลงสู้ถังขั้บด้นโดยทำการควบคุมปริมาณน้ําห่อเย้นโดยใช้ลู้กปิงปองเป็นตัวควบคุมปิดท่อน้ําคล้ายกั้กน้ําแสดงดั่งภาพที่ 2.5

4) จังหวะดูดน้ำขึ้นมาจากใต้ดินเมื่อไอน้ำในถังขัดันซึ่งมีอุณหภูมิสูงสัมผัสกับน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิต่ำ (ที่อุณหภูมิแวดล้อม) ไอน้ำจะควบแน่นทำให้เกิดแรงดูดเกิดการสูบน้ำจากถังด้านล่างเข้ามาเก็บไว้ในถังขัดันจากนั้นก็วนกลับไปที่จังหวะผลิตไอน้ำรวมเป็น 1 รอบ แสดงดังภาพที่ 2.6 และภาพที่ 2.7

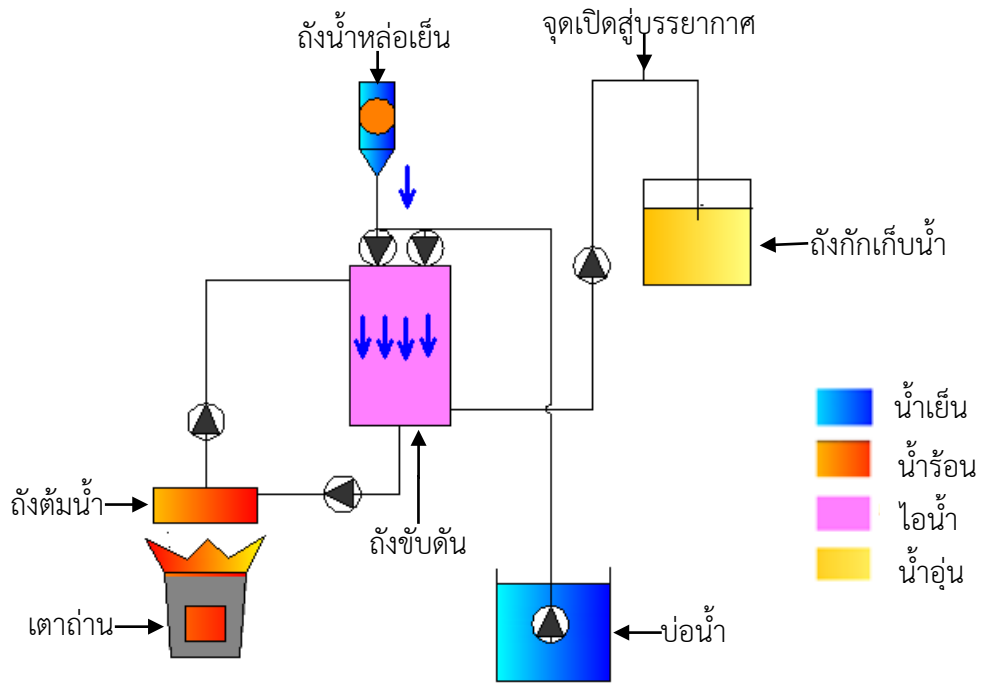


ภาพที่ 2.3 จังหวะขัดันน้ำไปยังถังเก็บน้ำ

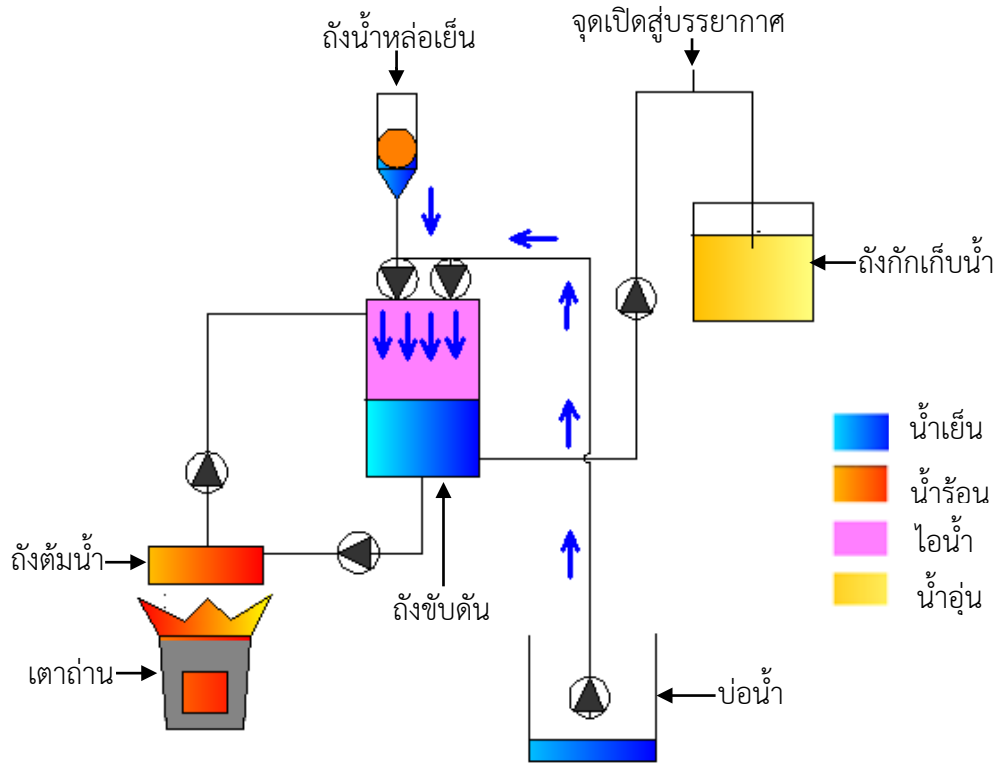
ถังน้ำหล่อเย็น จุดเปิดสู่บรรยากาศ



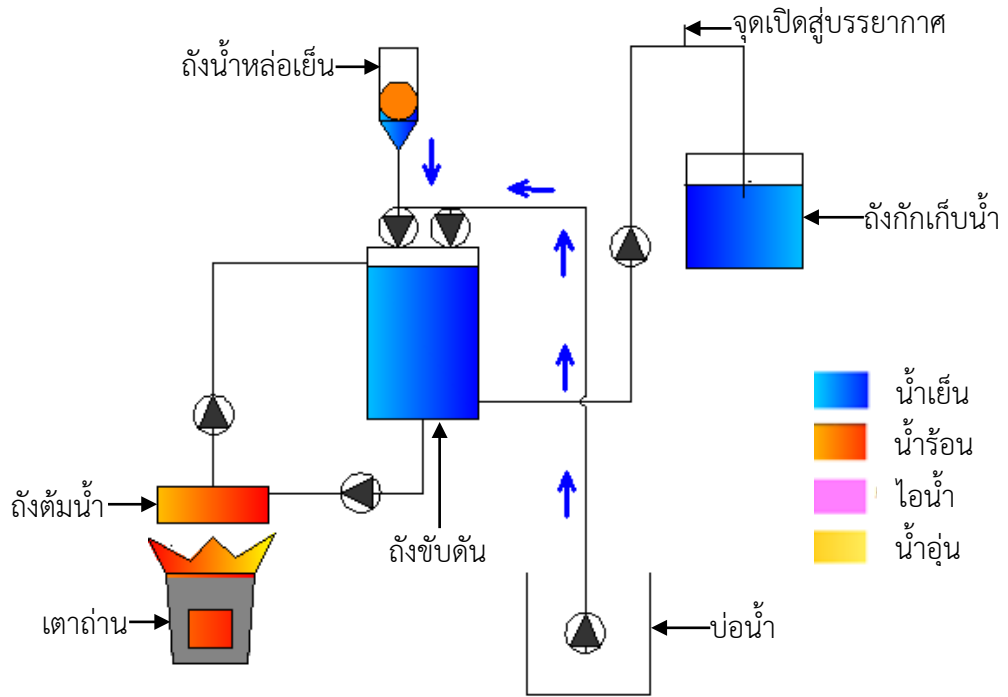
ภาพที่ 2.4 จังหวะขี้น้ำไปยังถังกักเก็บน้ำ (ต่อ)



ภาพที่ 2.5 จังหวะหล่อเย็น



ภาพที่ 2.6 จังหวะคูดน้ำขึ้นมาจากใต้ดิน



ภาพที่ 2.7 จังหวะคูดน้ำขึ้นมาจากใต้ดิน (ต่อ)

2.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์

ในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้แบ่งขั้นตอนการจำลองระบบออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ 1. ขั้นตอนการให้ความร้อน (Heating) 2. ขั้นตอนการขับเคลื่อนน้ำในระบบ (Pumping) 3. ขั้นตอนการหมุนเวียนไอน้ำ (Vapor Circulation) 4. ช่วงการหล่อเย็น (Cooling Stage) 5. ขั้นตอนการดูดน้ำ (Suction)

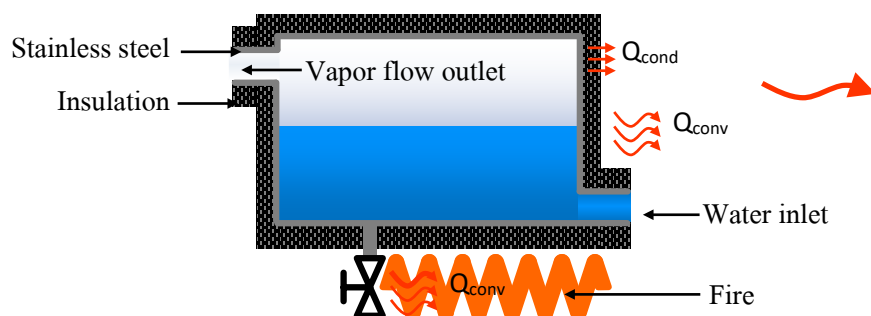
โดยสมมติฐานในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ 1. สมมติให้อุณหภูมิทางออกถึง HT และทางเข้าถึง LT เป็นอุณหภูมิเดียวกัน 2. น้ำในถัง HT มีการเติมเข้าเป็นบางช่วงเวลา

2.2.1 ขั้นตอนการให้ความร้อน (Heating)

เริ่มต้นโดยการป้อนพลังงานไฟฟ้า ผ่านฮีตเตอร์ 2 kW ที่ถูกติดตั้งไว้ภายในถังต้มน้ำ เมื่อน้ำภายในถังต้มน้ำได้รับความร้อนจนเกิดเดือดกลายเป็นไอ ส่งผลให้อุณหภูมิและความดันภายในถังผลิตไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นไอน้ำจะไหลเข้าสู่ถังขับเคลื่อน

1) สมดุลพลังงานภายในถังต้มน้ำ

สถานะที่ 1 เริ่มต้นให้ความร้อนกับน้ำภายในถังต้มน้ำ จากอุณหภูมิ 0-100 °C (ยังไม่เกิดการเดือดภายในถังต้มน้ำ) สมดุลพลังงานของถังต้มน้ำช่วงการให้ความร้อนแก่ระบบดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 สมดุลพลังงานของถังผลิตไอน้ำช่วงการให้ความร้อนแก่ระบบ

สามารถสมดุลได้จากสมการ

$$Q_{in} = m_{w,HT} C_{p,w,HT} \frac{dT_{w,HT}}{dt} + Q_{loss,HT} \quad (2.6)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} Q_{in} &= \text{อัตราพลังงานที่ป้อนให้ฮีตเตอร์, kW} \\ Q_{loss,HT} &= \text{อัตราความร้อนที่สูญเสียของถังผลิตไอน้ำ, kW} \\ m_{w,HT} &= \text{มวลของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, kg} \\ m_{HT} &= \text{มวลของถังผลิตไอน้ำ, kg} \\ C_{p,w,HT} &= \text{ค่าความจุความร้อนของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, kJ/kg °C} \\ T_{w,HT} &= \text{อุณหภูมิของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, °C} \\ t &= \text{เวลา, s} \end{aligned}$$

เมื่ออุณหภูมิน้ำในถังต้มน้ำสูงขึ้นจะถ่ายเทความร้อนให้กับมวลของต้มน้ำ (Stainless steel) ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งถือเป็นการสูญเสียความร้อนอย่างหนึ่งจะได้สมการ

$$Q_w = m_{HT} C_{p,HT} \frac{dT_{HT}}{dt} \quad (2.7)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} Q_w &= \text{พลังงานที่น้ำได้รับ, kW} \\ m_{HT} &= \text{มวลของถังผลิตไอน้ำ, kg} \\ C_{p,HT} &= \text{ค่าความจุความร้อนของถังผลิตไอน้ำ, kJ/kg °C} \\ T_{HT} &= \text{อุณหภูมิของถังผลิตไอน้ำ, °C} \end{aligned}$$

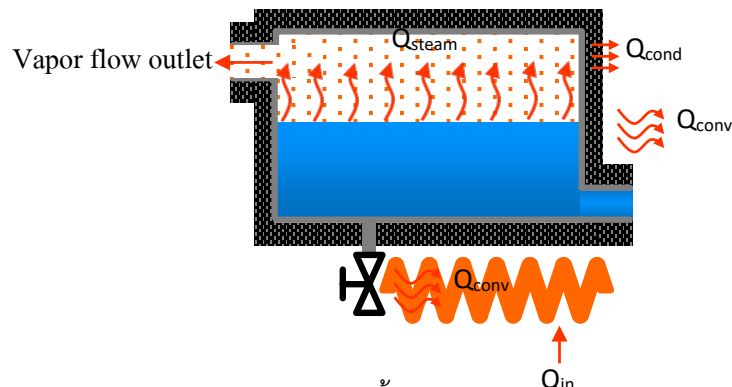
และจะได้สมดุลพลังงานของถังต้มน้ำช่วงการให้ความร้อนแก่ระบบดังสมการ

$$Q_{in} = m_{w,HT} C_{p,w,HT} \frac{dT_{w,HT}}{dt} + Q_{loss,HT} + Q_w \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.8 ทำการคำนวณจนกระทั่งอุณหภูมิของมวลถังต้มน้ำเท่ากับอุณหภูมิน้ำ จากนั้นจะได้สมการ

$$Q_{in} = m_{w,HT} C_{p,w,HT} \frac{dT_{w,HT}}{dt} + m_{HT} C_{p,HT} \frac{dT_{HT}}{dt} + Q_{loss,HT} \quad (2.9)$$

สภาวะที่ 2 เมื่ออุณหภูมิน้ำภายในถังต้มน้ำมากกว่า 100°C (เกิดการเดือดภายในถังผลิตไอ) แต่ความดันไอน้ำที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าความดันเสดความสูงด้านส่งน้ำสมดุลพลังงานของถังผลิตไอน้ำช่วงการให้ความร้อนแก่ระบบเมื่อมีการเดือดดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 สมดุลพลังงานของถังผลิตไอน้ำช่วงการให้ความร้อนแก่ระบบเมื่อมีการเดือด

$$Q_{in} = m_{w,HT} C_{p,w,HT} \frac{dT_{w,HT}}{dt} + m_{HT} C_{p,HT} \frac{dT_{HT}}{dt} + Q_{loss,HT} + Q_{steam} \quad (2.10)$$

เมื่อ

$$Q_{steam} = \text{อัตราความร้อนที่ถ่ายเทจากการเดือดในถังผลิตไอน้ำ, kW}$$

การถ่ายเทความร้อนจากถังผลิตไอน้ำสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากถังผลิตไอน้ำบางส่วนไม่ได้หุ้มฉนวน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{loss,HT} = Q_{cond,HT} + Q_{conv,HT} + Q_{rad,HT} \quad (2.11)$$

เมื่อ

$$Q_{conv,HT} = \text{ความร้อนที่สูญเสียโดยการพาความร้อนบริเวณถังผลิตไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวน, kW}$$

$$Q_{cond,HT} = \text{ความร้อนที่สูญเสียโดยนำความร้อนบริเวณถังผลิตไอน้ำที่หุ้มฉนวน, kW}$$

$Q_{rad,HT}$ = ความร้อนที่สูญเสียโดยการแผ่รังสีความร้อนบริเวณถังผลิตไอน้ำที่ไม่ได้หุ้ม
ฉนวน, kW

การถ่ายเทความร้อนของถังผลิตไอน้ำ โดยการนำความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{cond,HT} = UA_{cond,HT}(T_{HT} - T_a) \quad (2.12)$$

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$U = \frac{k_i}{L_i} \quad (2.13)$$

เมื่อ

$A_{cond,HT}$ = พื้นการนำความร้อนของถังผลิตไอน้ำที่หุ้มฉนวน, m²

U = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน, kW/m² K

T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, °C

L_i = ความหนาของฉนวน, m

k_i = ค่าการนำความร้อนของฉนวน, kW/m K

การถ่ายเทความร้อนของถังผลิตไอน้ำ โดยการพาความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{conv,HT} = hA_{conv,HT}(T_{HT} - T_a) \quad (2.14)$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h = \frac{N_u k_{air}}{D} \quad (2.15)$$

เมื่อ

$A_{conv,HT}$ = พื้นการพาความร้อนของถังผลิตไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวน, m²

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, kW/m² K

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่เกิดการพาความร้อน, m

N_u = Nusselt number

k_{air} = ค่าการนำความร้อนของอากาศ, kW/m K

Nusselt number สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$N_u = \left\{ 0.60 + \frac{0.387(Ra_D)^{1/6}}{\left[1 + (0.559 / Pr_a)^{9/16}\right]^{1/4}} \right\}^2 \quad (2.16)$$

เมื่อ $10^{-5} < Ra_D < 10^{12}$ สามารถหาค่า Rayleigh number คำนวณได้จากสมการ

$$Ra_D = \frac{g\beta D^3(T_{HT} - T_a)}{\nu_a \alpha_a} \quad (2.17)$$

โดยที่

$$\beta = \frac{1}{(T_f + 273.15)} \quad (2.18)$$

$$T_f = (T_{HT} + T_a)/2 \quad (2.19)$$

เมื่อ

Ra_D = Rayleigh number

β = สัมประสิทธิ์การขยายตัวโดยปริมาตรของของไหล, K^{-1}

Pr_a = Prandtl number of air

T_f = อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างถังผลิตไอน้ำกับอากาศ, °C

ν_a = ค่าความหนืดของอากาศ, m^2/s

α_a = ค่าความแพร่ความร้อนในอากาศ, m^2/s

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m/s^2

การถ่ายเทความร้อนของถังผลิตไอน้ำ โดยการแผ่รังสีความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{rad,HT} = \varepsilon_{HT} \sigma A_{rad,HT} \left[(T_{HT} + 273)^4 - (T_a + 273)^4 \right] \quad (2.20)$$

เมื่อ

ε_{HT} = ค่า emissivity ของถังผลิตไอน้ำ

σ = ค่าคงที่ Stefan-Boltzman, kW/m² K⁴

$A_{rad,HT}$ = พื้นที่การแผ่รังสีความร้อนของถังผลิตไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวน, m²

การถ่ายเทความร้อนของถังผลิตไอน้ำ เนื่องจากการเดือดของน้ำจะเกิดขึ้นเมื่อ $T_{w,HT} \geq 100^\circ C$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{steam} = q'' A_{heater} = \dot{m}_{v,HT} h_{fg} \quad (2.21)$$

โดยที่

$$q'' = h_{conv} (T_s - T_{sat}) \quad (2.22)$$

เมื่อ $T_s - T_{sat} \geq 120^\circ C$ เป็นการเดือดแบบ Film สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จากสมการ [4]

$$h_{conv} = \frac{k_v C}{D_{heater}} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v) h'_{fg} D_{heater}^3}{\nu_v k_v (T_s - T_{sat})} \right]^{1/4} \quad (2.23)$$

โดยที่

$$h'_{fg} = h_{fg} + [0.80 C_{p,v} (T_s - T_{sat})] \quad (2.24)$$

$$T_{f,steam} = (T_s + T_{sat})/2 \quad (2.25)$$

เมื่อ

q'' = อัตราความร้อนที่ถ่ายเทจากการเดือดต่อพื้นที่, kW/m²

A_{heater} = พื้นที่ผิวฮีตเตอร์, m²

h_{fg} = ค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอ, kJ/kg

- $\dot{m}_{v,HT}$ = อัตราการระเหยของไอน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, kg/s
 h_{conv} = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในถังผลิตไอน้ำ, kW/m² K
 T_{sat} = อุณหภูมิน้ำอิ่มตัว, °C
 T_s = อุณหภูมิผิวฮีตเตอร์, °C
 $T_{f,steam}$ = อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างผิวฮีตเตอร์กับอุณหภูมิน้ำอิ่มตัว, °C
 k_v = ค่าการนำความร้อนของไอน้ำ ที่ $T_{f,steam}$, kW/m K
 D_{heater} = เส้นผ่านศูนย์กลางของฮีตเตอร์, m
 C = ค่าคงที่ของฮีตเตอร์ทรงกระบอกนอน (0.62)
 ρ_l = ค่าความหนาแน่นของน้ำ, kg/m³
 ρ_v = ค่าความหนาแน่นของไอน้ำ ที่ $T_{f,steam}$, kg/m³
 h'_{fg} = ค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอจำเพาะ, kJ/kg
 v_v = ความเร็วของไอน้ำ ที่ $T_{f,steam}$, m/s
 $C_{p,v}$ = ค่าความจุความร้อนของไอน้ำ ที่ $T_{f,steam}$, kJ/kg °C

การระเหยของไอน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ ในสภาวะที่ไม่มีการเดือดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{m_{v,HT}}{dt} = \dot{m}_{v,HT} = \frac{P_{v,HT}}{R_v T_{v,HT,+273.15}} \frac{dV_{v,HT}}{dt} \quad (2.26)$$

มวลของน้ำในถังผลิตไอน้ำสามารถหาได้จากสมการ

$$m_{w,HT}^{t+1} = m_{w,HT}^t - \dot{m}_{v,HT} dt \quad (2.27)$$

ปริมาตรของน้ำในถังผลิตไอน้ำสามารถหาได้จากสมการ

$$V_{w,HT} = \frac{m_{w,HT}}{\rho_{w,HT}} \quad (2.28)$$

โดยที่มวลของน้ำและไอน้ำในถังผลิตไอน้ำรวมกันหาได้จากสมการ

$$m_{w,HT} + m_{v,HT} = 4 \quad (2.29)$$

ความดันภายในถังผลิตไอน้ำสามารถหาได้จากสมการ

$$P_{g,HT} = P_{v,HT} - P_{atm} \quad (2.30)$$

เมื่อ

$V_{v,HT}$	= ปริมาตรไอน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, m^3
$V_{w,HT}$	= ปริมาตรน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, m^3
R_v	= ค่าคงที่ของไอน้ำ, kJ/kg K
$T_{v,HT,+273.15}$	= อุณหภูมิของไอน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, K
$m_{v,HT}$	= มวลของไอน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, kg
$m_{w,HT}^{t+1}$	= มวลของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ (หลัง), kg
$m_{w,HT}^t$	= มวลของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ (ก่อน), kg
$\rho_{w,HT}$	= ความหนาแน่นของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, kg/m^3
$P_{g,HT}$	= ความดันเกจภายในถังผลิตไอน้ำ, kPa
$P_{v,HT}$	= ความดันไอน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, kPa
P_{atm}	= ความดันบรรยากาศ, kPa

2.) สมดุลพลังงานภายในถังต้มน้ำ

การถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในถังต้มน้ำสามารถสมดุลได้จากสมการ 2.31 สมมติไม่คิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำของไอน้ำ

$$Q_{steam} = C_{p,v,LT} \frac{d(m_{v,LT} T_{v,LT})}{dt} + C_{p,a,LT} m_{a,LT} \frac{dT_{a,LT}}{dt} + m_{LT} C_{p,LT} \frac{dT_{LT}}{dt} + \quad (2.31)$$

$$Q_{loss,LT} + P_{g,LT} \frac{dV_{v,LT}}{dt}$$

จากสมการที่ 2.31 จะทำให้ทราบค่า $T_{v,LT}$ และ $T_{a,LT}$ โดยที่ $T_{v,LT} = T_{a,LT}$ จากนั้นนำอนุกรมทั้ง สองที่ได้ไปหาค่าความดันในถังซับตันน้ำ พลังงานที่เกิดจากการซับตันน้ำ $P_{g,LT} \frac{dV_{v,LT}}{dt}$ จะเกิดขึ้น เมื่อความดันไอน้ำภายในถังซับตันน้ำมากกว่าความดันที่ความสูงด้านส่งน้ำ และ การถ่ายเทความร้อน จากถังซับตันน้ำสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากได้หุ้มฉนวนทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ [1]

$$Q_{loss,LT} = Q_{cond,LT} \quad (2.32)$$

การถ่ายเทความร้อนของถังซับตันน้ำโดยการนำความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{cond,LT} = UA_{cond,LT} (T_{LT} - T_a) \quad (2.33)$$

เมื่อ

$Q_{cond,LT}$ = ความร้อนที่สูญเสียโดยนำความร้อนบริเวณถังซับตันน้ำที่หุ้มฉนวน, kW

$A_{cond,LT}$ = พื้นที่การนำความร้อนของถังซับตันน้ำที่หุ้มฉนวน, m²

มวลของไอน้ำในถังซับตันน้ำสามารถหาได้จากสมการ

$$m_{v,LT}^{t+1} = m_{v,LT}^t + \dot{m}_{v,HT} dt \quad (2.34)$$

ปริมาตรของไอน้ำและอากาศในถังซับตันน้ำสามารถหาได้จากสมการ

$$V_{v,LT} = V_{LT} - V_{w,LT} \quad (2.35)$$

เมื่อ

$$V_{v,LT} = V_{a,LT}$$

ความดันอากาศภายในถังขับเคลื่อนสามารถหาได้จากสมการ

$$P_{a,LT} = \frac{m_a R_a T_{a,LT+273}}{V_{a,LT}} \quad (2.36)$$

$P_{v,LT}$ ได้จากการนำค่า $T_{v,LT}$ ไปเปิดตารางเทอร์โมไดนามิกส์หาค่าความดันเมื่อ

$$\begin{aligned} m_{v,LT}^{t+1} &= \text{มวลของไอน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำ (หลัง), kg} \\ m_{v,LT}^t &= \text{มวลของไอน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำ (ก่อน), kg} \\ V_{LT} &= \text{ปริมาตรของถังขับเคลื่อนน้ำ, m}^3 \\ T_{a,LT+273} &= \text{อุณหภูมิของอากาศภายในถังขับเคลื่อนน้ำ, K} \\ V_{w,LT} &= \text{ปริมาตรน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำ, m}^3 \\ P_{a,LT} &= \text{ความดันอากาศภายในถังขับเคลื่อนน้ำ, kPa} \\ V_{v,LT} &= \text{ความดันไอน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำ, kPa} \end{aligned}$$

ความดันที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนน้ำจะได้จากสมการ

$$P_{t,LT} = P_{v,LT} + P_{a,LT} \quad (2.37)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} P_{t,LT} &= \text{ความดันรวมภายในถังขับเคลื่อนน้ำ, kPa} \\ P_{v,LT} &= \text{ความดันไอน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำ, kPa} \\ P_{a,LT} &= \text{ความดันอากาศภายในถังขับเคลื่อนน้ำ, kPa} \end{aligned}$$

2.2.2 ช่วงการขับเคลื่อนน้ำ (Pumping Stage)

การขับเคลื่อนน้ำจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อความดันภายในถังขับเคลื่อนน้ำสูงกว่าความดันความดันด้านส่งน้ำ น้ำที่ถูกขับเคลื่อนจะไหลผ่านข้อต่อสามทางที่เปิดสู่บรรยากาศ และไหลลงไปเก็บยังถังเก็บน้ำร้อน จนกระทั่งระดับน้ำในถังขับเคลื่อนต่ำกว่าท่อทางออก โดยสามารถคำนวณความเร็วในการส่งน้ำได้จากการสมมูล Bernoulli's equation (ภายใน 1 วินาที) [1]

$$\frac{P_1}{\rho_w} + H_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho_w} + H_2 + \frac{v_2^2}{2g} + k_d \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.38)$$

เมื่อ

$$P_1 = P_{i,LT}, v_1^2 = 0, H_1 = 0, H_2 = \text{head} \text{ และ } P_2 = P_{atm}$$

ดังนั้นจะได้

$$v_2^2 = \left[\left(\frac{P_1}{\rho_w g} - \frac{P_2}{\rho_w g} \right) - H_2 \right] \times \frac{2g}{k_d + 1} \quad (2.39)$$

$$m_{flow,w} = \rho_w \times v_2^2 \times A_{tube}$$

เมื่อ

- P_1 = ความดันเกจภายในถังขั้บตันน้ำ, kPa
- P_2 = ความดันเกจที่ปลายท่อส่งน้ำ, kPa
- v_1 = ความเร็วของของไหลในถังขั้บตันน้ำ ที่ระดับ $H_1(0)$, m/s
- v_2 = ความเร็วของของไหลที่ปลายท่อส่งน้ำ, m/s
- $H_2 - H_1$ = ความสูงในการส่งน้ำ, m
- ρ_w = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ, N/m³
- k_d = คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียในการส่งน้ำ, (หาได้จากการทดลอง)
- $m_{flow,w}$ = คืออัตราการไหลของน้ำที่ถูกดันออกจากถังขั้บตันน้ำ, kg/s
- A_{tube} = พื้นที่หน้าตัดของท่อด้านส่งน้ำ m²

ปริมาตรของน้ำที่ไหลสามารถหาได้จากสมการ

$$V_{flow,d} = v_2 A_{tube} \quad (2.40)$$

มวลของน้ำที่ไหลสามารถหาได้จากสมการ

$$m_{flow,d} = V_{flow,d} \rho_{w,LT}$$

(2.41)

มวลของน้ำในถังซับตันสามารถหาได้จากสมการ

$$m_{w,LT}^{t+1} = m_{w,LT}^t - m_{flow,w} dt \quad (2.42)$$

ปริมาตรของน้ำในถังซับตันสามารถหาได้จากสมการ

$$V_{w,LT} = \frac{m_{w,LT}}{\rho_{w,LT}} \quad (2.43)$$

เมื่อ

$$V_{flow,d} = \text{ปริมาตรของน้ำที่ซับตัน, m}^3/\text{s}$$

$$A_{tube} = \text{พื้นที่ท่อส่งน้ำ, m}^2$$

$$m_{flow,d} = \text{มวลของน้ำที่ซับตัน, kg/s}$$

$$\rho_{w,LT} = \text{ความหนาแน่นของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, kg/m}^3$$

$$m_{w,LT}^{t+1} = \text{มวลของน้ำภายในถังซับตันน้ำ (หลัง), kg}$$

$$m_{w,LT}^t = \text{มวลของน้ำภายในถังซับตันน้ำ (ก่อน), kg}$$

2.2.3 ช่วงการระบายไอ (Vapor Flow Stage)

เมื่อไอน้ำซับตันน้ำจนกระทั่งมีระดับต่ำกว่าท่อทางส่ง ไอน้ำจึงไหลออกไประบายไอที่ข้อต่อสามทาง ทำให้ความดันภายในถังซับตันน้ำลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งความดันไอน้ำภายในถังซับตันน้ำ มีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก สมมติให้มวลของอากาศในถังซับตันมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับไอน้ำจึงไม่นำมาคำนวณ เนื่องจากอากาศมีความหนาแน่นต่ำ จะได้สมการ

$$v_2^2 = \left[\left(\frac{P_1}{\rho_v g} - \frac{P_2}{\rho_v g} \right) - H_2 \right] \times \frac{2g}{k_d + 1} \quad (2.44)$$

$$\dot{m}_{flow,v} = \rho_v \times v_2^2 \times A_{tube}$$

เมื่อ

$m_{flow,v}$ = คืออัตราการไหลของไอน้ำและอากาศที่ถูกดันออกจากถังขับเคลื่อน, kg/s

$m_{v,LT}^{t+1}$ = มวลไอน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำ (หลังระบายไอ), kg

$m_{v,LT}^t$ = มวลไอน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำ (ก่อนจากรบายไอ), kg

มวลของไอน้ำและอากาศในถังขับเคลื่อนสามารถหาได้จากสมการ

$$m_{v,LT}^{t+1} = m_{v,LT}^t - m_{flow,v} dt \quad (2.45)$$

ความดันช่วงการระบายไอสามารถหาได้จากสมการ

$$P_{v,LT} = \frac{m_{v,LT} R_v T_{373.15}}{V_{v,LT}} \quad (2.46)$$

และ

$$P_{g,LT} = P_{v,LT} + P_{atm} \quad (2.47)$$

ความดันไอน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำถูกระบายออกสู่บรรยากาศ จนกระทั่งความดันไอน้ำมีค่าเท่ากับ ความดันบรรยากาศ (101.325 kPa)

2.2.4 ช่วงการหล่อเย็น (Cooling Stage)

ความดันภายในถังขับเคลื่อนน้ำ เท่ากับความดันบรรยากาศ หรือต่ำกว่าความดันที่ระดับความสูงของถังน้ำหล่อเย็น น้ำจากถังน้ำหล่อเย็น ก็จะไหลผ่านวาล์วกันกลับเข้าสู่ถังขับเคลื่อนน้ำ เนื่องจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง เมื่อน้ำไหลจนหมดตามระดับที่ตั้งค่าไว้ (300 ml) ลูกลอย (ลูกปิงปอง) ในถังน้ำหล่อเย็นก็จะปิดทำให้อากาศไม่สามารถเข้ามาได้

สมดุลพลังงานในถังขับเคลื่อนน้ำสามารถหาได้จากสมการ

$$m_{v,LT}(h_{g,100} - h_{f,Tx}) + m_{w,LT}C_{p,w,LT}(100 - Tx) = m_f(h_{f,Tx} - h_{f,30}) + m_e h_{fg,Tx} \quad (2.48)$$

เมื่อ

$h_{g,100}$ = เอนทัลปีของไอน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำที่อุณหภูมิ 100°C, kJ/kg

$h_{f,Tx}$ = เอนทัลปีของน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำที่อุณหภูมิ Tx, kJ/kg

$h_{f,30}$ = เอนทัลปีของน้ำภายในถังขับเคลื่อนน้ำที่อุณหภูมิ 30°C, kJ/kg

$h_{fg,Tx}$ = ค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอที่อุณหภูมิ Tx, kJ/kg

Tx = อุณหภูมิผสมภายในถังขับเคลื่อน, °C

m_f = มวลของน้ำหล่อเย็น, kg

m_e = มวลของน้ำที่ระเหยเป็นไอภายในถังขับเคลื่อน, kg

ความดันภายในถังขับเคลื่อนน้ำเท่ากับความดันน้ำอิมิตัวที่อุณหภูมิ Tx เป็นความดันที่ใช้ในการเริ่มต้นการสูบน้ำเข้าถังขับเคลื่อนน้ำ

2.2.5 ช่วงการสูบน้ำ (Suction Stage)

หลังจากที่น้ำหล่อเย็นไหลเข้าถังขับเคลื่อนน้ำ ทำให้เกิดการควบแน่นที่ถังขับเคลื่อน เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิทำให้อุณหภูมิในถังขับเคลื่อนยวบยเกิดสุญญากาศ (Vacuum) และสูบน้ำจากถังแหล่งน้ำด้านล่าง เข้าถังขับเคลื่อนจนเต็มถังขับเคลื่อนน้ำ หรือจนกว่าความดันสุญญากาศในถังขับเคลื่อนลดลงจนไม่สามารถเอาชนะความสูงในการสูบน้ำได้

1) การสมมูล Bernoulli's equation (ภายใน 1 วินาที) โดยสามารถคำนวณความเร็วในการสูบน้ำได้จากสมการ

$$\frac{P_3}{\gamma_w} + H_3 + \frac{v_3^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma_w} + H_1 + \frac{v_1^2}{2g} + k_s \frac{v_1^2}{2g} \quad (2.49)$$

เมื่อ

P_3 = ความดันเกจที่ปลายท่อสูบน้ำ, kPa

$H_1 - H_3$ = ความสูงในการสูบน้ำ, m

- v_1 = ความเร็วของของไหลปลายท่อสูบน้ำในถังซับน้ำ ($\neq 0$), m/s
 v_3 = ความเร็วของของไหลในถังแหล่งน้ำ ที่ระดับ $H_3(0)$, m/s
 k_s = คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียการสูบน้ำ, (หาได้จากการทดลอง)

ปริมาตรของน้ำที่ไหลสามารถหาได้จากสมการ

$$V_{flow,s} = v_1 A_{tube} \quad (2.50)$$

มวลของน้ำที่ไหลสามารถหาได้จากสมการ

$$m_{flow,s} = V_{flow,s} \rho_{w,LT} \quad (2.51)$$

มวลของน้ำในถังซับน้ำสามารถหาได้จากสมการ

$$m_{w,LT}^{t+1} = m_{w,LT}^t - m_{flow,s} dt \quad (2.52)$$

เมื่อ

$$V_{flow,s} = \text{ปริมาตรของน้ำที่สูบน้ำ, m}^3/\text{s}$$

$$m_{flow,s} = \text{มวลของน้ำที่ซับน้ำ, kg/s}$$

2) สมดุลพลังงานภายในถังซับน้ำ

การถ่ายเทความร้อนของไอน้ำของถังซับน้ำในขณะที่มีการสูบน้ำสามารถสมดุลได้จากสมการ

$$Q_{steam} + m_{LT} C_{p,LT} \frac{dT_{w,LT}}{dt} + C_{p,v,LT} \frac{d(m_{v,LT} T_{w,LT})}{dt} = C_{p,w,LT} \frac{d(m_{w,LT} T_{w,LT})}{dt} \quad (2.53)$$

3) สมดุลพลังงานภายในถังผลิตไอน้ำ

ในขณะที่มีการเติมน้ำ จากถังซับน้ำเข้าสู่ถังผลิตไอน้ำ สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 & (m_{w,HT} C_{p,w,HT} + m_{v,HT} C_{p,v,HT} + m_{w,flow} C_{p,w,LT}) (T_{w,mix} - T_a) = \\
 & (m_{w,HT} C_{p,w,HT} + m_{v,HT} C_{p,v,HT}) (T_{w,HT} - T_a) + m_{w,flow} C_{p,w,LT} (T_{w,LT} - T_a) \quad (2.54)
 \end{aligned}$$

มวลน้ำที่เติมสามารถหาได้จากสมการ

$$m_{w,flow} \approx 0.02 \quad (2.55)$$

เมื่อ

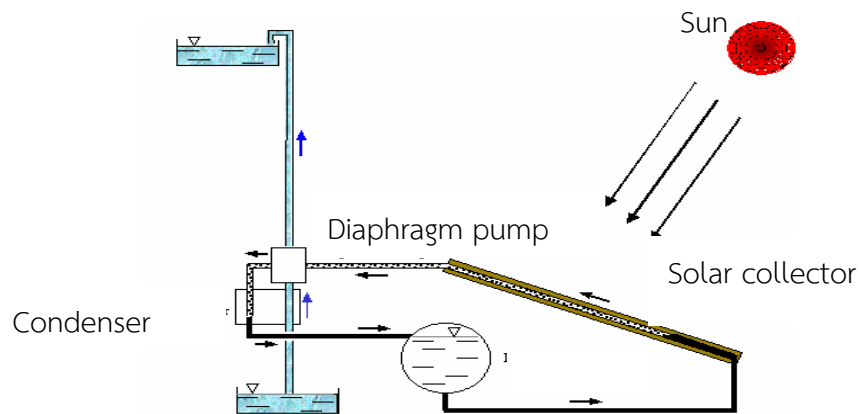
$m_{w,flow}$ = มวลน้ำเติมเข้าถังผลิตไอน้ำ, kg

$T_{w,mix}$ = อุณหภูมิผสมของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ, °C

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์ (2548) ได้ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบสูบน้ำด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างแผงรับความร้อนพลังงานอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 4 ตารางเมตร ใช้งานร่วมกับปั๊มไดอะแฟรม ถังพัก ถังจ่ายน้ำยาและระบบระบายความร้อนซึ่งใช้สารไอโซเพนเทนเป็นสารทำงานซึ่งระบบสูบน้ำนี้สามารถสูบน้ำขึ้นที่สูงได้ 6-10 เมตร ปริมาณน้ำเฉลี่ยประมาณ 2,000-2,500 ลิตรต่อวัน มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ 3.90-4.10 กิโลวัตต์ต่อเมตรต่อวัน การทำงานของระบบเป็นระบบอัตโนมัติไม่ต้องใช้ไฟฟ้าควบคุมจะอาศัยความดันและอุณหภูมิของสาร

ทำงานมาควบคุมการทำงานทำให้ระบบสูบน้ำนี้มีประสิทธิภาพสูงและไม่ต้องอาศัยพลังงานอื่นนอกจากแสงอาทิตย์ ตัวแปรที่สามารถนำมาประยุกต์กับงานวิจัยนี้คือการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยใช้สารไอโซเพนเทนเป็นสารทำงานร่วมกับปั๊มไดอะแฟรมซึ่งทำงานเป็นระบบอัตโนมัติไม่ต้องใช้ไฟฟ้ามาควบคุมจะอาศัยความดันและอุณหภูมิของสารทำงานซึ่งมีประสิทธิภาพสูงดังภาพที่ 2.10

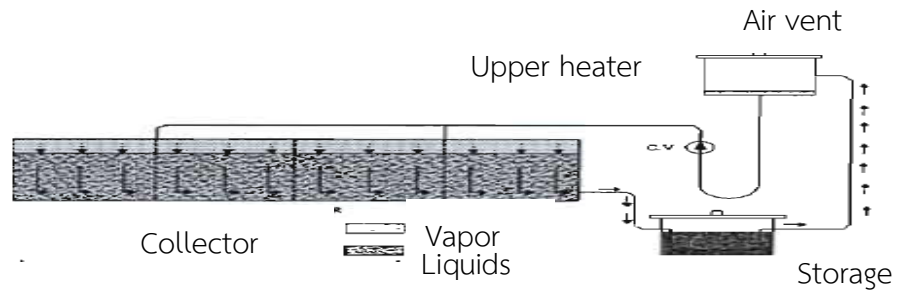


ภาพที่ 2.10 ไดอะแฟรมการทำงานของระบบ

ที่มา (พินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์, 2548)

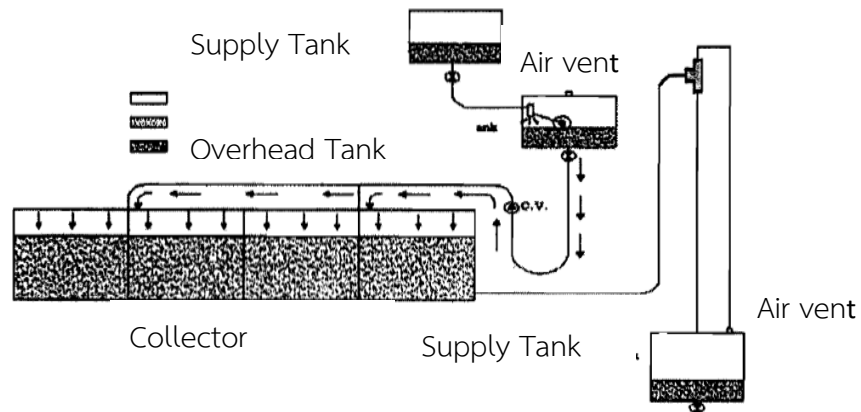
นายกิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์ และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาและวิจัยระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แบบใหม่ โดยใช้กำลังไอน้ำที่ผลิตเองได้ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนคือ ตัวรับรังสีจากดวงอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อน ถังเก็บน้ำป้อนด้านบน วาล์วกันกลับ โดยทำการทดลอง 9 ชั่วโมงต่อครั้ง ระบบการหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานที่อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส ระดับความสูงในการจ่ายน้ำเท่ากับ 1.5 เมตร และ 2 เมตร ประสิทธิภาพความร้อนของระบบมีค่าเท่ากับ 13.82% และ 11.63% ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการปั๊มน้ำที่ระดับความสูงที่กล่าวมาข้างต้นมีค่าเท่ากับ 0.0030% และ 0.0033% ตามลำดับ โดยได้พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดของน้ำที่อยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าโดยประมาณระหว่าง 45-60 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะต่อการนำมาใช้งานบ้านเรือนซึ่ง

ตัวแปรที่สำคัญคือค่ารังสีอาทิตย์และการจ่ายน้ำ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความระดับความสูงของระบบจ่ายน้ำที่มีผลต่อระบบการทำงานดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยพลังไอน้ำ
ที่มา (กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์ และคณะ, 2551)

นายจิรวัดน์ สิตรานนท์ และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำและอากาศเพื่อศึกษาระดับความสูงในการปั้มน้ำที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้ทำการทดลองอยู่ในระดับความสูงที่ 0.5 เมตร กับ 1.0 เมตร ใช้ระยะเวลาในการทดลองประมาณ 9 ชั่วโมง ผลการทดลองปรากฏว่าในการปั้มน้ำที่ระดับความสูง 0.5 เมตร มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงสุด 39.91% มีอุณหภูมิเฉลี่ย 58.67 องศาเซลเซียส สามารถผลิตน้ำร้อนได้ประมาณ 80.6 ลิตร/วัน ที่ระดับความสูง 1.0 เมตร มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงสุด 23.41% มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 59.17 องศาเซลเซียส สามารถผลิตน้ำร้อนได้ 52.7 ลิตร/วัน ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 หลักการทำงานของระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำด้วยกำลังไอน้ำ
ที่มา (จิรวัดน์ สิตรานนท์ และคณะ, 2553)

นายกิตติวุฒิ ศุภศิริโรจน์ และคณะ (2557) ได้ศึกษาวิจัยการออกแบบและวิเคราะห์ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนทำงานโดยอัตโนมัติซึ่งมีการสร้างอุปกรณ์เป็น 3 ชุด คือ ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนโดยใช้ถังขัณฑ์ที่มีปริมาตรอยู่ที่ 3.1 ลิตร สามารถทำงานที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการหมุนเวียนน้ำสูงสุดมีค่า 0.0014% ที่ระดับความสูง 1 เมตร สามารถหมุนเวียนน้ำได้ 58.1 ลิตรต่อวัน ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่โดยใช้ถังขัณฑ์ปริมาตร 4 ลิตร ระบบนี้ทำงานที่อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 100-105 องศาเซลเซียส สามารถหมุนเวียนน้ำได้อยู่ที่ 88-92 ลิตร ใน 4 ชั่วโมง ที่ความสูง 2, 2.5, 3 เมตร ประสิทธิภาพการหมุนเวียนน้ำมีค่า 0.030-0.054% ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อนโดยใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่โดยใช้ถังขัณฑ์ที่มีปริมาตร 10 ลิตร ระบบนี้ทำงานที่อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 100-103 องศาเซลเซียส สามารถหมุนเวียนน้ำได้ 55-200 ลิตร ใน 2 ชั่วโมง ที่ความสูง 3, 4.5, 6 และ 7.5 เมตร ประสิทธิภาพการหมุนเวียนน้ำตามลำดับมีค่า 0.036, 0.035, 0.037 และ 0.021% ตามลำดับ ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบคือ พลังงานความร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบ ระดับความสูงในการหมุนเวียนน้ำ

นายณัฐพล รุ่งประแสง (2551) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำที่ประกอบด้วยตัวรับรังสีอาทิตย์ขนาด 1.58 ตารางเมตร และถังเก็บน้ำร้อน 30 ลิตร โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าเดือนที่มีศักยภาพสูงสุดคือเดือนเมษายน โดยระบบสามารถหมุนเวียนน้ำได้เฉลี่ย 14 รอบต่อวัน ปริมาณในการหมุนเวียนน้ำเฉลี่ยประมาณ 42 ลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการปั้มน้ำของระบบเท่ากับ 0.00266% ประสิทธิภาพความร้อนของระบบเท่ากับ 8.6% เดือนที่มีศักยภาพต่ำสุดคือเดือนกรกฎาคม โดยระบบสามารถหมุนเวียนน้ำได้เฉลี่ย 3.2 รอบต่อวัน ปริมาณการหมุนเวียนน้ำเฉลี่ย 9.8 ลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการปั้มน้ำของระบบเท่ากับ 0.00075% ประสิทธิภาพความร้อนของระบบเท่ากับ 4% ตัวแปรสำคัญคือ ค่ารังสีอุณหภูมิมืดล้น

นายกิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์ (2551) ได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำ เนื่องจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำแบบเดิม มีถังเก็บน้ำร้อนโดยมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนที่มาจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์กับกับน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน ทำให้เกิดกระบวนการสูญเสียความร้อนจากกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อัตราการหมุนเวียนน้ำในระบบและประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำลงด้วย โดยทำการเก็บผลการทดลอง 9 ชั่วโมงต่อหนึ่งระดับความสูงในการส่งน้ำ พบว่าจ่ายน้ำเท่ากับ 1 เมตร ของระบบหลังการปรับปรุงมีค่าปริมาณความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนเท่ากับ 3,269.3 กิโลจูล สูงกว่าระบบเดิม 1.8 เท่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 17.4% สูงกว่าระบบเดิม 1.5 เท่า อุณหภูมิมืดล้นภายในถังเก็บน้ำร้อน 57.4 องศาเซลเซียส โดยสูงกว่าระบบเดิม 1.2 เท่า สามารถผลิตน้ำร้อนได้ 58.1 ลิตรต่อวัน สูงกว่าระบบเดิม 1.4 เท่า เนื่องจากมีการส่งน้ำร้อนไปยังถังสะสมน้ำร้อนโดยตรงโดยไม่อาศัยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ตัวแปรสำคัญคือค่ารังสีอาทิตย์และระดับความสูงในการส่งน้ำ

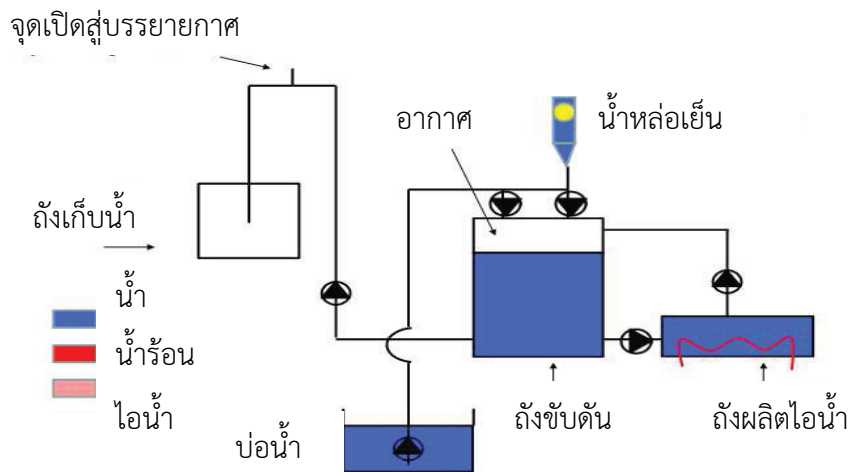
นายชังเซ็ง เลียงจินดาถาวร (2544) ได้ศึกษาการสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ไม่มีส่วนเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ อุปกรณ์สำคัญประกอบด้วย ถังระเหย ถังควบแน่น ตัวรับรังสีแบบท่อสุญญากาศ ขนาดพื้นที่รับแสง 1.8 ตารางเมตร เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนแก่

ระบบ โดยในช่วงการให้ความร้อนปรากฏว่าอุณหภูมิและความดันในถังระเหยจะเพิ่มขึ้นตามเวลาและอัตราการรับพลังงานความร้อนที่ถังระเหย ในช่วงการระบายความร้อนพบว่าอุณหภูมิและความดันในถังควบแน่นขึ้นอยู่กับผลต่างอุณหภูมิของถังควบแน่นกับอุณหภูมิแวดล้อม ในช่วงการสูบน้ำปรากฏว่าปริมาณน้ำที่สูบขึ้นมาขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้สูบและความสูงด้านสูบ ตัวแปรสำคัญของระบบจะขึ้นอยู่กับ ความดัน และอุณหภูมิแวดล้อม

นายจิรวุฒิ สิตรานนท์ (2553) ได้ทำการสร้างเครื่องสูบน้ำด้วยความร้อนจากกำลังไอน้ำแบบอัตโนมัติ ในระดับความสูงในการสูบน้ำ 3 เมตร และ 5 เมตร ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ในระดับความสูงต่อหนึ่งระดับความสูงในการสูบน้ำ โดยในช่วงแรกจะสูบน้ำได้น้อยเนื่องจากในช่วงแรกต้องใช้เวลาในการอุ่นเครื่องก่อน จึงใช้เวลาและการทำงานมากแต่เมื่อในรอบต่อไปจะใช้เวลาทำงานและระยะเวลา น้อยลง ถ้ามีปริมาณน้ำที่ต้องขับเคลื่อนมากจะต้องใช้ระยะเวลานานขึ้นในการปั๊ม จากการทดลองที่ความสูง 5 เมตร ได้ปริมาณความร้อนภายในถังเก็บ 4.761 เมกะจูล ประสิทธิภาพปั๊มมีค่าเท่ากับ 0.0293% ได้น้ำร้อน 6.85 ลิตรต่อรอบ ซึ่งมากกว่าระดับความสูง 3 เมตร สรุปได้ว่าการเพิ่มความสูงจะทำให้ประสิทธิภาพความร้อนและประสิทธิภาพปั๊มสูงขึ้น

นายเทพฤทธิ์ หนูน้อย (2552) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของเครื่องสูบน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อนโดยใช้ฮีตเตอร์ แบ่งการทดสอบเป็น 3 แบบ จะเก็บผลค่าแรงดัน อุณหภูมิและตรวจวัดอัตราการไหลโดยผลการทดลองแบบที่ 1 ทดสอบที่ความยาวท่อจุด 1 เมตร ความดันที่เหมาะสมคือ 2 บาร์ อุณหภูมิน้ำภายในท่อ 42 องศาเซลเซียส สูบน้ำได้ 2.1 ลิตรต่อวัฏจักร แบบที่ 2 ทดสอบที่ความยาวของด้านจุด 1.5 เมตร ความดันที่เหมาะสมคือ 2 บาร์ อุณหภูมิน้ำในท่อที่ 38 องศาเซลเซียส สูบน้ำได้ 2.4 ลิตรต่อวัฏจักร แบบที่ 3 ทดสอบที่ความยาวด้านจุด 2 เมตร ความดันที่เหมาะสมคือ 2 บาร์ อุณหภูมิน้ำในท่อที่ 38 องศาเซลเซียส สูบน้ำได้ 2.7 ลิตรต่อวัฏจักร สรุปได้ว่าการสูบน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อนจะอาศัยความดันจากการระเหยของน้ำและมวลของอากาศร้อนเพื่อขับเคลื่อนน้ำไปเก็บในถังกักเก็บน้ำ และอาศัยความดันสุญญากาศเพื่อสูบน้ำขึ้นมาจากบ่อ อุณหภูมิแวดล้อมมีผลต่อการสูญเสียความร้อนออกจากระบบ ดังนั้นควรหุ้มฉนวนท่อบนทั้งระบบอย่างเหมาะสม

ศรายุทธ อรุณแย้ม และคณะ (2555) ได้ศึกษาเครื่องสูบน้ำกำลังไอน้ำและอากาศเพื่อใช้กับน้ำใต้ดินซึ่งการวิจัยครั้งนี้จะทำการควบคุมระดับความลึกของบ่อน้ำที่ 2 เมตร และทำการใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อนในการผลิตไอน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าปริมาณอากาศในระบบ 50% ใช้อุณหภูมิผลิตไอน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส ระบบสามารถทำงานสูบได้ และในระยะเวลา 2 ชั่วโมง ระบบทำงานทั้งหมด 34 รอบ สามารถสูบน้ำได้ 198 ลิตร ตัวแปรสำคัญที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือสามารถผลิตไอน้ำได้ที่ 100 องศาเซลเซียส ระบบสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำก็จะสามารถสูบน้ำดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 เครื่องสูบน้ำกำลังไอน้ำและอากาศเพื่อใช้กับน้ำใต้ดิน

ที่มา (ศรายุทธ อรุณแย้ม และคณะ, 2555)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนการทำงานของระบบ และประสิทธิภาพของระบบในกรณีใช้พลังงานชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานความร้อน วิธีการดำเนินการ การออกแบบระบบ ขั้นตอนการทำงานของระบบ

3.1 วิธีการดำเนินการ

การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับออกแบบเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

3.1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลซึ่งได้แก่ อุณหภูมิน้ำภายในถังต้ม น้ำ อุณหภูมิในถังขับเคลื่อน อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิในถังเก็บน้ำ

3.1.2 กำหนดวัตถุประสงค์

กำหนดวัตถุประสงค์ในการสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล

3.1.3 ออกแบบโครงสร้างฐาน

ออกแบบโครงสร้างฐาน ท่อส่งน้ำร้อน โครงสร้างเหล็กฉากและตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้เกี่ยวกับโครงการศึกษา

3.1.4 เลือกและจัดหาวัสดุอุปกรณ์

จัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่สามารถใช้ในการสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลโดยการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดเพื่อความสะดวกในการจัดหาและเพื่อความประหยัด

3.1.5 ดำเนินการสร้างโครงสร้างตามแผนที่วางไว้

ดำเนินการสร้างโครงสร้างฐาน ท่อส่งน้ำร้อน โครงสร้างเหล็กฉากรู ถังต้มน้ำ ถังซับตัน ตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้และติดตั้งเครื่องมือวัด

3.1.6 ปรับปรุงแก้ไข

ปรับปรุงแก้ไขเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

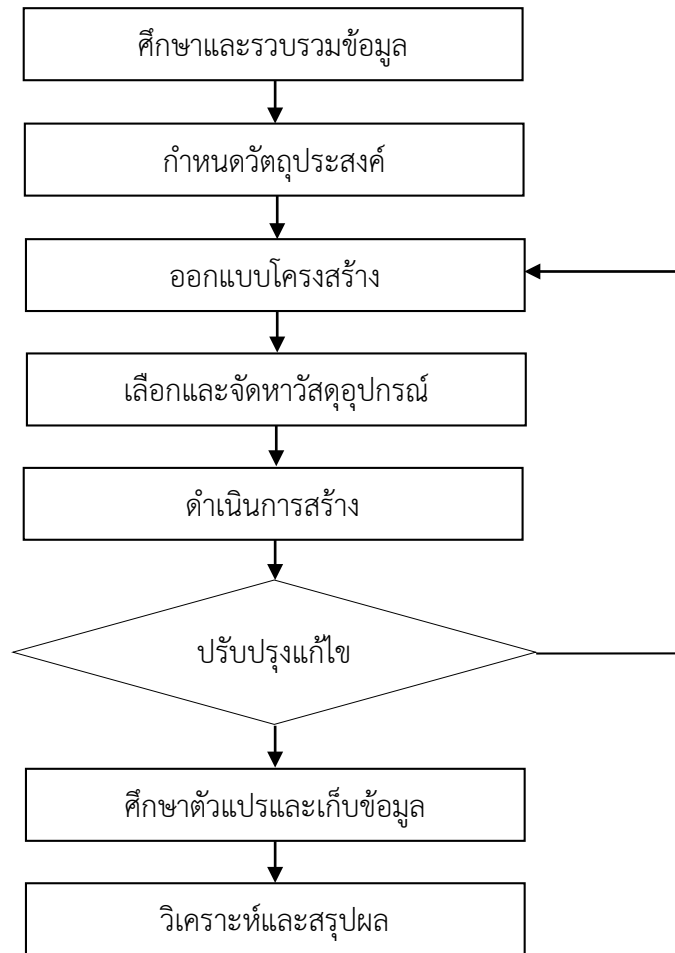
3.1.7 ศึกษาตัวแปร

ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลและ เก็บข้อมูลผลการศึกษาโครงการงาน

3.1.8 วิเคราะห์ผลและสรุปผลที่ได้จากการศึกษา

วิเคราะห์ผลและสรุปผลที่ได้จากการเก็บข้อมูล ขั้นตอนการศึกษาโครงการงาน การสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล

3.1.9 ขั้นตอนการศึกษาโครงการงาน ดังภาพที่ 3.1

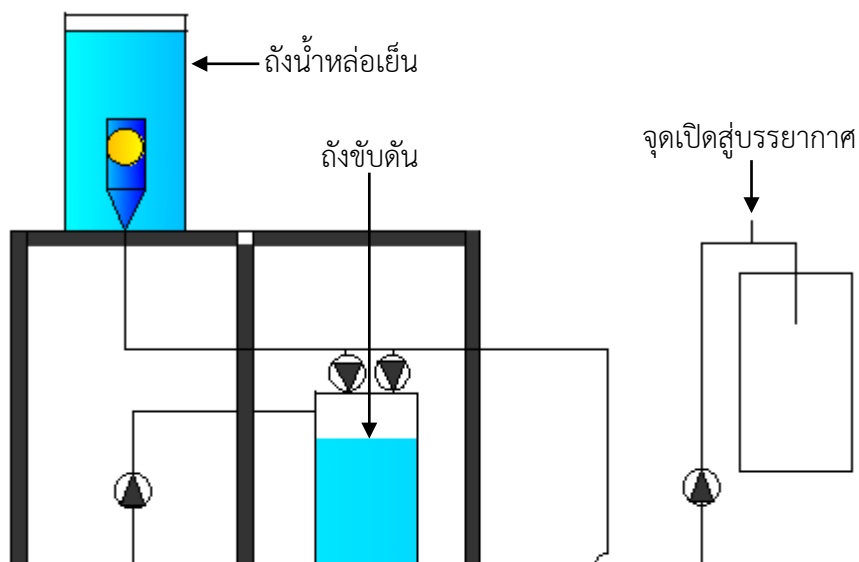


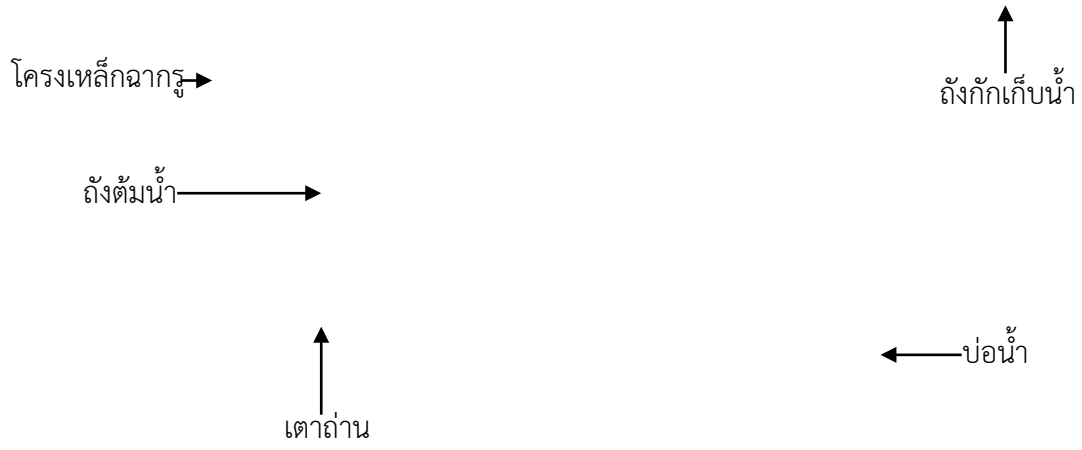
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาโครงการสร้างระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล

3.2 การออกแบบเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล

หลักการออกแบบจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.2 และขนาดของระบบขนาดถึงห้าตันและขนาดถึงต้มน้ำแสดงดังภาพที่ 3.3 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

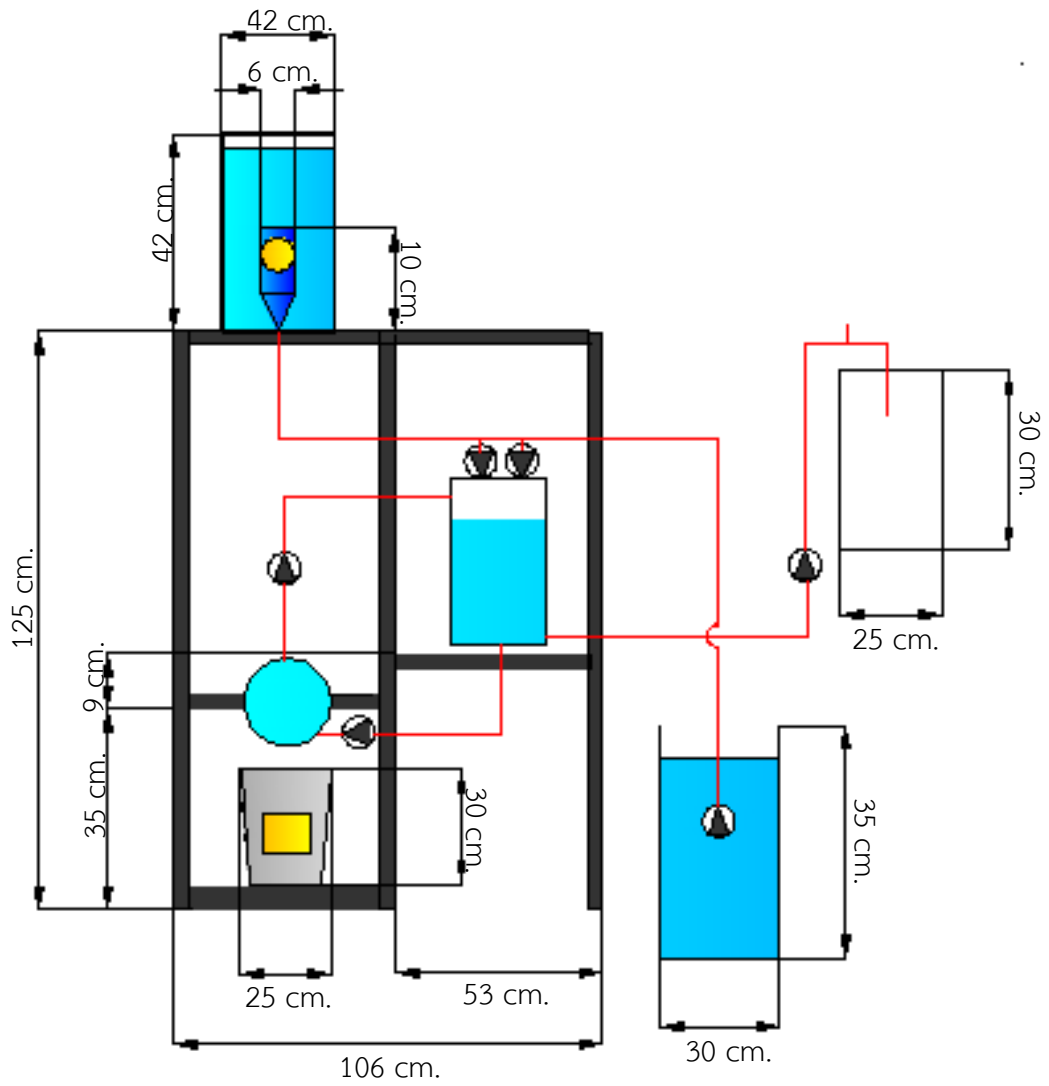
3.2.1 การออกแบบโครงสร้างและกำหนดขนาดเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล



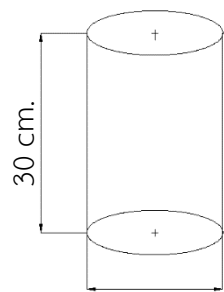


ภาพที่ 3.2 การออกแบบเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล

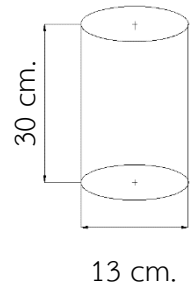
รูปที่ 3.2 เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อน



ภาพที่ 3.3 ขนาดของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล



ภาพที่ 3.4 ขนาดถังขັบตัน



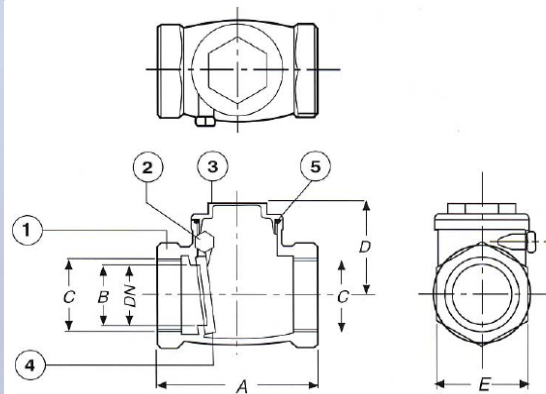
ภาพที่ 3.5 ขนาดถังต้มน้ำ

3.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของการทดลอง มีอุปกรณ์ดังนี้

3.3.1 วาล์วกันกลับ (Check valve) ทำจากทองเหลืองทำหน้าที่ป้องกันน้ำไหลย้อนกลับ



ภาพที่ 3.6 วาล์วกันกลับแบบลื่นยก



ภาพที่ 3.7 มิติวาล์วกันกลับแบบลื่นยก

3.3.2 ถังต้มน้ำ 4 ลิตร มีหน้าที่ในการต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำไปขับเคลื่อนน้ำในถังขับเคลื่อน โดยรับความร้อนมากจากการเผาชีวมวลในเตาถ่าน



ภาพที่ 3.8 ถังต้มน้ำ

3.3.3 ถังซับตันขนาด 9.42 ลิตร น้ำมีหน้าที่ในการรับไอน้ำมากจากถังต้มน้ำเพื่อมาซับตันน้ำในถังออกไปยังถังกักเก็บน้ำ



ภาพที่ 3.9 ถังซับตัน

3.3.4 ถังน้ำหล่อเย็น จะปล่อยส่งน้ำหล่อเย็นลงภายในถังซับตันโดยมีลูกปิงปองควบคุมการไหล



ภาพที่ 3.10 ถังน้ำหล่อเย็น

3.3.5 เหล็กฉากที่มีหน้าที่เป็นโครงสร้างโดยสามารถเคลื่อนย้ายและปรับแต่งได้ง่าย เหมาะแก่การนำมาใช้



ภาพที่ 3.11 เหล็กฉาก

3.3.6 ฉนวนยาง (Aeroflex) ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนและกักเก็บความร้อนของอุณหภูมิภายในถัง



ภาพที่ 3.12 ฉนวนหนา 1 นิ้ว

3.3.7 ถังเก็บน้ำ 10 ลิตร มีหน้าที่ในการรับน้ำที่ได้จากถังบำบัดมาเก็บไว้ในถัง



ภาพที่ 3.13 ถังกักเก็บน้ำ

3.3.8 วาล์วกันกลับด้านดูด มีหน้าที่ควบคุมการดูดน้ำไปยังถังบำบัด



ภาพที่ 3.14 วาล์วกันกลับด้านดูด

3.3.9 ลูกลอยและลูกปิงปอง ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของน้ำภายในถังหล่อเย็นและควบคุมปริมาณน้ำในถังหล่อเย็นที่ไหลไปยังถังบำบัด



ภาพที่ 3.15 ลูกลอยและลูกปิงปอง

3.3.10 บ่อน้ำ (ถังน้ำด้านดูด) ทำหน้าที่กักเก็บน้ำเปรียบเสมือนเป็นบ่อน้ำที่ใช้การสูบ



ภาพที่ 3.16 บ่อน้ำ (ถังน้ำด้านดูด)

3.3.11 เตาถ่านและเชื้อเพลิงชีวมวลจากไม้โกงกาง มีหน้าที่เผาชีวมวลเพื่อเป็นการให้ความร้อน แก่ถังต้มน้ำ



ภาพที่ 3.17 เตาถ่านและถ่านชีวมวลจากไม้โกงกาง

3.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดและบันทึกอุณหภูมิของเครื่องสูบน้ำพลังงานจากชีวมวล

3.4.1 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ Data logger มีค่า accuracy ± 20 ยี่ห้อ Omron



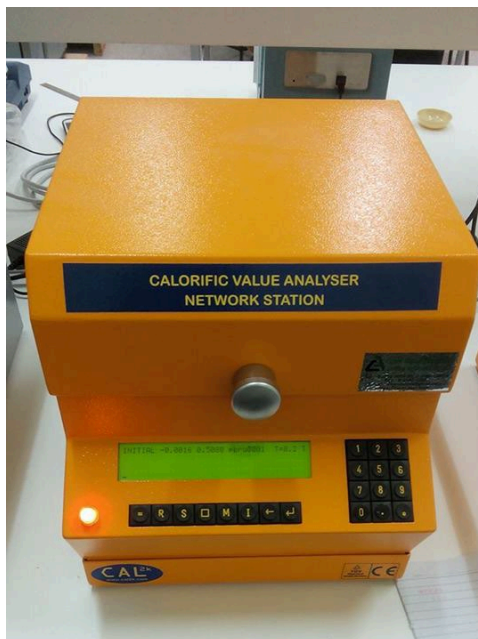
ภาพที่ 3.18 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ Data logger

3.4.2 สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K



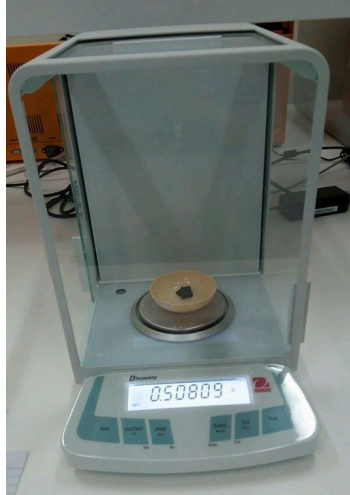
ภาพที่ 3.19 สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K

3.4.3 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ยี่ห้อ Cal2k



ภาพที่ 3.20 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

3.4.4 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 5 ตำแหน่ง OHAUS รุ่น DV215CD



ภาพที่ 3.21 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.5 วิธีการทดลองเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานความร้อนจากชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานความร้อน

3.5.1 ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิเข้ากับระบบเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานความร้อน โดยใช้ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ทำการทดลองที่ระดับความสูง 2 เมตร 3 ครั้ง และที่ระดับความสูง 3 เมตร 3 ครั้ง

3.5.2 บรรจุน้ำภายในถังตม้น้ำจนเต็มถึงขนาด 4 ลิตร

3.5.3 บรรจุน้ำในถังขับเคลื่อนให้เต็มถึงขนาด 9.42 ลิตร

3.5.4 บรรจุน้ำภายในถังตม้น้ำและถังขับเคลื่อนจนเต็ม

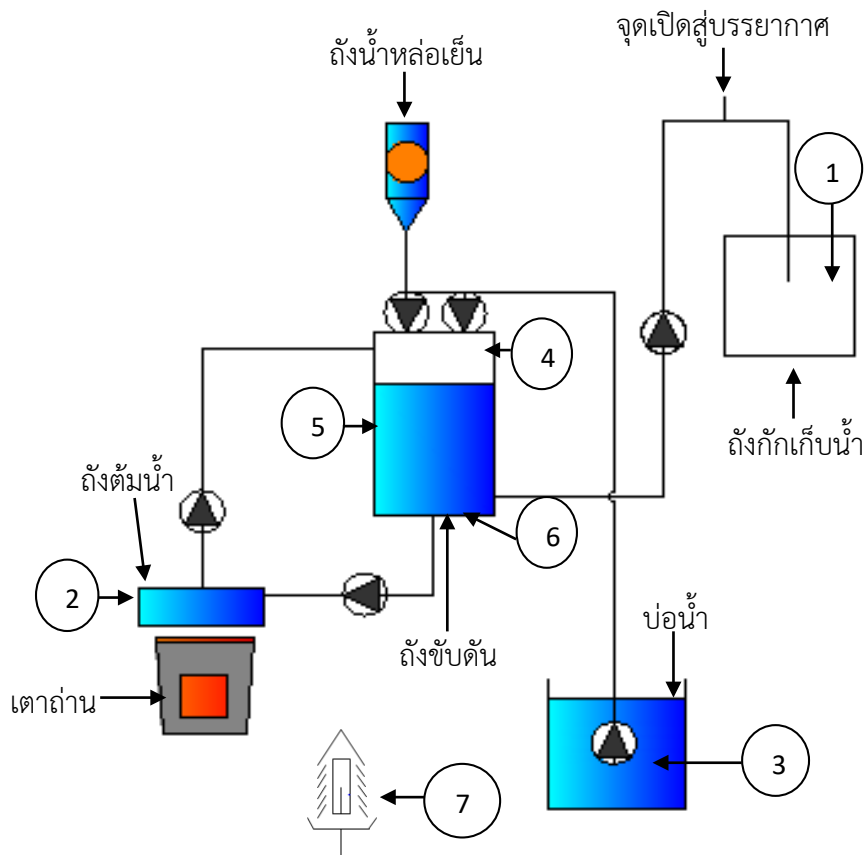
3.5.5 จุดเตาถ่านไม้โกงกางเพื่อทำการตม้น้ำภายในถังตม้น้ำเพื่อให้ได้ไอน้ำ

3.5.6 รอจนกระทั่งระบบทำงานครบ 1 รอบการทำงาน

3.5.7 ทำการบันทึกข้อมูลทุกวินาทีเป็นเวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมง

3.5.8 นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพ

3.6 จุดวัดอุณหภูมิภายในเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล โดยกำหนดการวัด แสดงดังภาพที่ 3.22

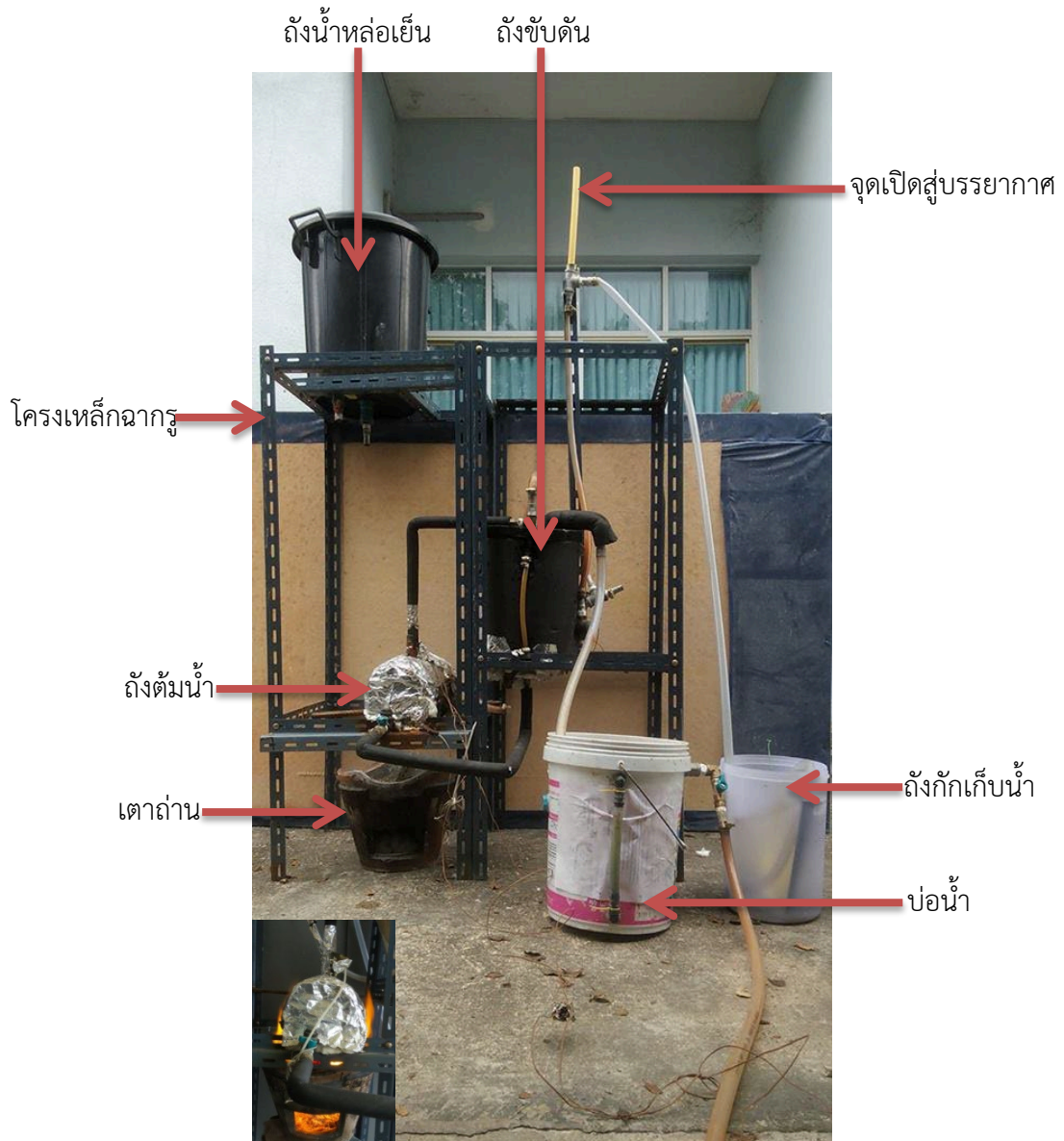


ภาพที่ 3.22 จุดตรวจวัดอุณหภูมิภายในระบบ

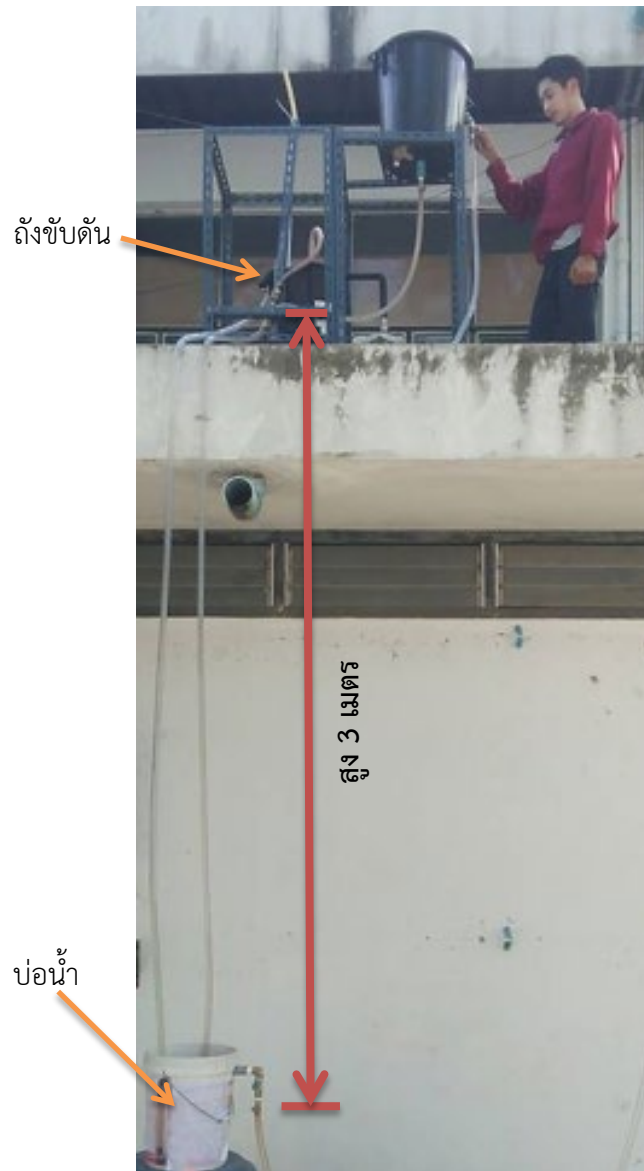
จุดตรวจวัดอุณหภูมิภายในระบบประกอบด้วย 7 จุดวัด แสดงดังภาพที่ 3.22 ประกอบด้วยจุดวัดดังต่อไปนี้

- 1) อุณหภูมิถังกักเก็บน้ำ (องศาเซลเซียส)
- 2) อุณหภูมิไอในถังตั้งน้ำ (องศาเซลเซียส)
- 3) อุณหภูมิน้ำของบ่อน้ำ (องศาเซลเซียส)
- 4) อุณหภูมิส่วนบนของถังปั๊ม (องศาเซลเซียส)

- 5) อุณหภูมิส่วนกลางของถังซับตัน (องศาเซลเซียส)
- 6) อุณหภูมิส่วนล่างของถังซับตัน (องศาเซลเซียส)
- 7) อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 3.23 การทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวล



ภาพที่ 3.24 การทดลองสูบน้ำจากบ่อน้ำไปยังถังขັบตันที่ความสูงระดับ 3 เมตร

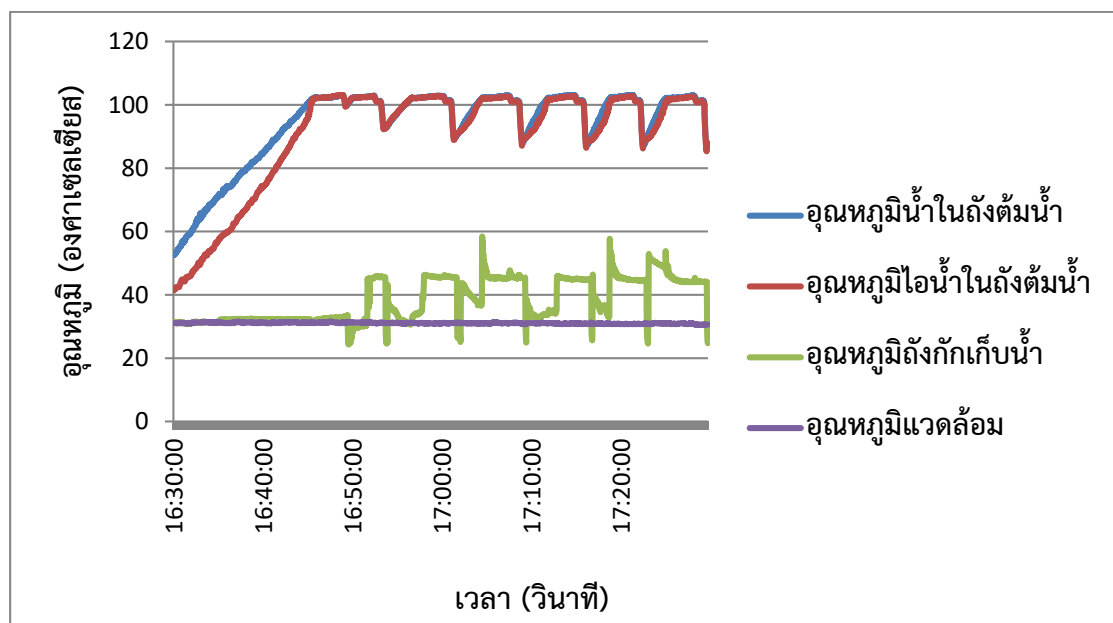
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล จากการทดลองพบว่าการใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งให้ความร้อนทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ ทำให้ระบบมีความร้อนไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพียงอย่างเดียวเป็นแหล่งให้ความร้อนแก่ระบบ ซึ่งระบบสามารถทำงานได้ ดังนั้น เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบ ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองที่ความสูงด้านดาดน้ำออกเป็น 2 และ 3 เมตร โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง ของแต่ละความสูง ได้ผลการทดลองดังนี้

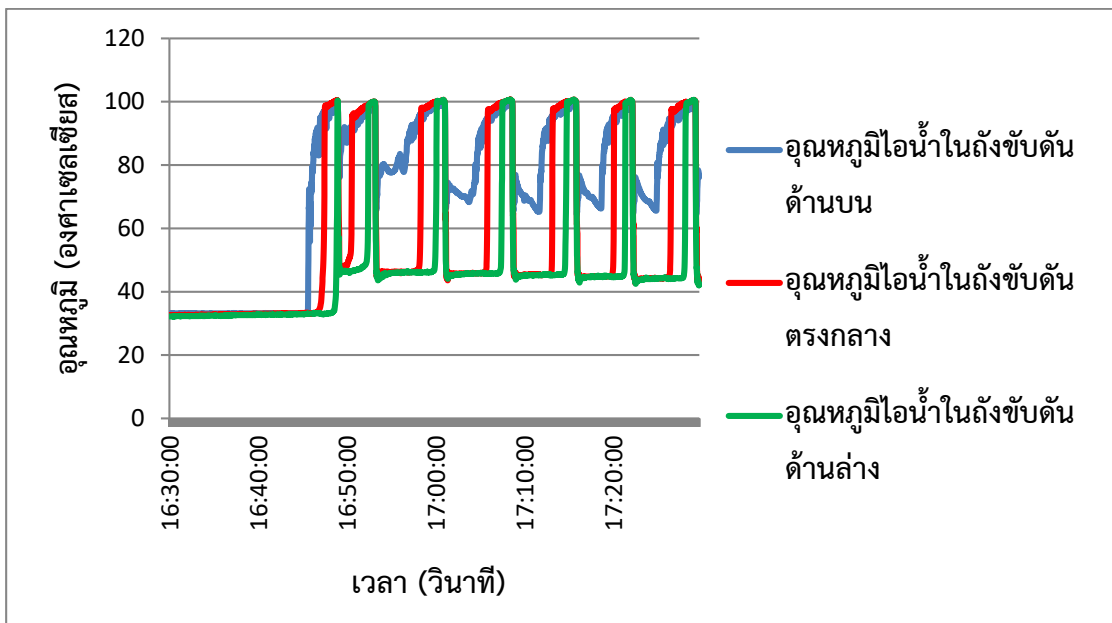
4.1 ผลการทดลองอุณหภูมิภายในถังต้มน้ำและถังขັบตันที่ความสูงด้านดาดน้ำเท่ากับ 2 เมตร

4.1.1 การแสดงอุณหภูมิภายในถังต้มน้ำและถังขັบตันที่ความสูงด้านดาดน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 1 แสดงดังในภาพที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 อุณหภูมิภายในถังต้มน้ำที่ความสูงด้านคูدنน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 1

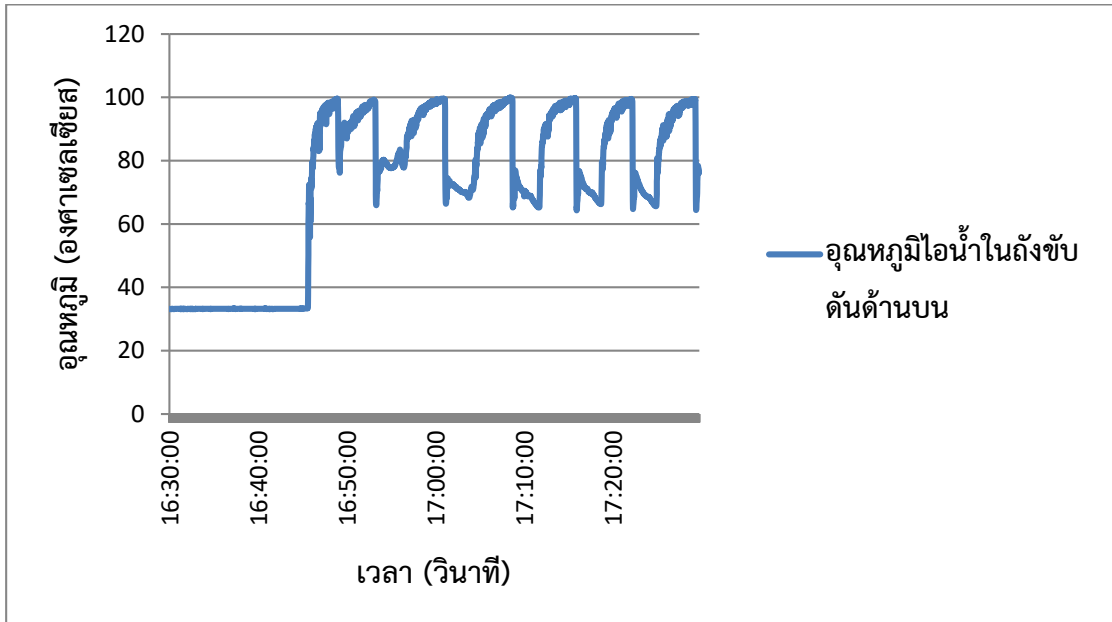
จากภาพที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิในถังต้มน้ำ อุณหภูมิไอน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิถึงกักเก็บน้ำพบว่าในการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลนั้นจะได้ อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 30-32 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของถังกักเก็บน้ำที่สูบน้ำมาได้ จะอยู่ที่ 45-50 องศาเซลเซียสต่อรอบ เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังต้มน้ำอยู่ที่ 102 องศาเซลเซียส ก็สามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไปขับเคลื่อนน้ำในถังขับเคลื่อน สาเหตุที่อุณหภูมิเฉลี่ยมี ค่าขึ้นลงสลับกันเนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำ



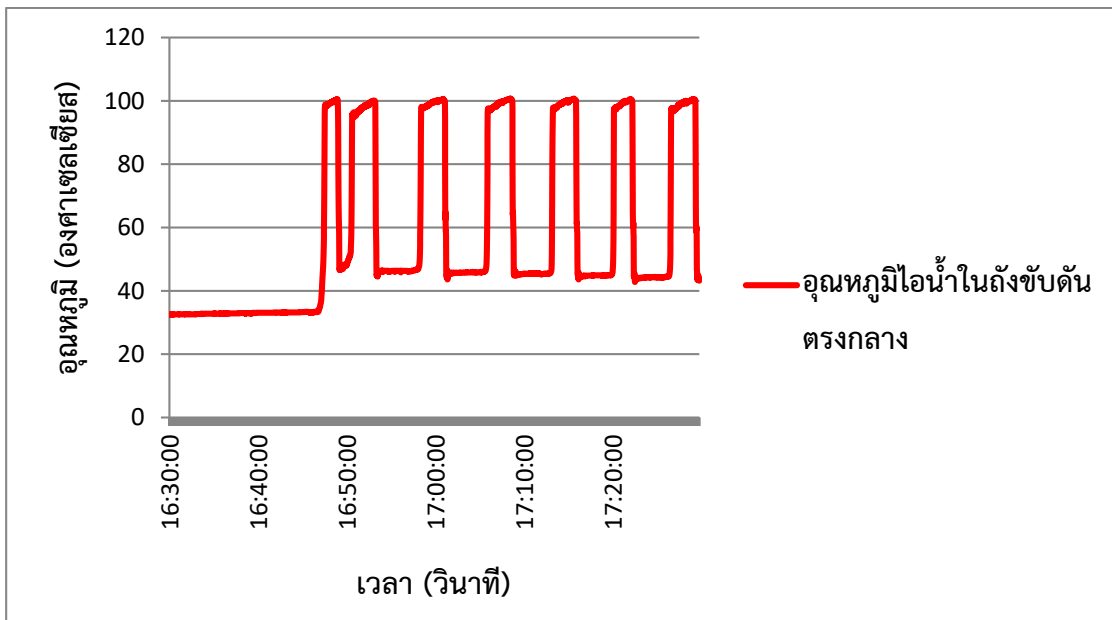
ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านคูدنน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 1

จากภาพที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบน อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนตรงกลาง อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านล่างตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบนมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 90-100 องศาเซลเซียส ก็สามารถขับเคลื่อนน้ำภายในถังขับเคลื่อนได้ ภายในถังขับเคลื่อนด้านบน อุณหภูมิจะอยู่ที่ 65-100 องศาเซลเซียส ตรงกลางอุณหภูมิอยู่ที่ 46-100 องศาเซลเซียส และด้านล่าง อุณหภูมิอยู่ที่ 45-100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จนน้ำในถังขับเคลื่อนหมดอุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนมีค่า

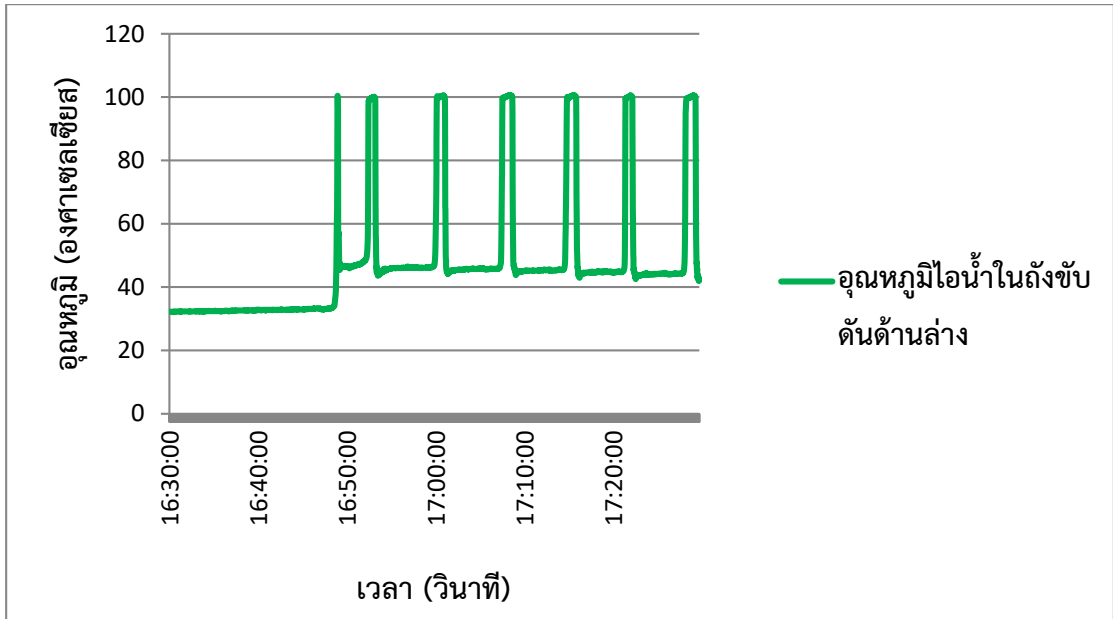
ขึ้นลงสลับกัน เนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบ ในการทำงานของเครื่องสูบน้ำได้ปริมาณน้ำต่อรอบ 9-10 ลิตรต่อรอบ



ภาพที่ 4.3 อุณหภูมิจึงในถังขับตันด้านล่างที่ความสูงด้านดูดน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 1

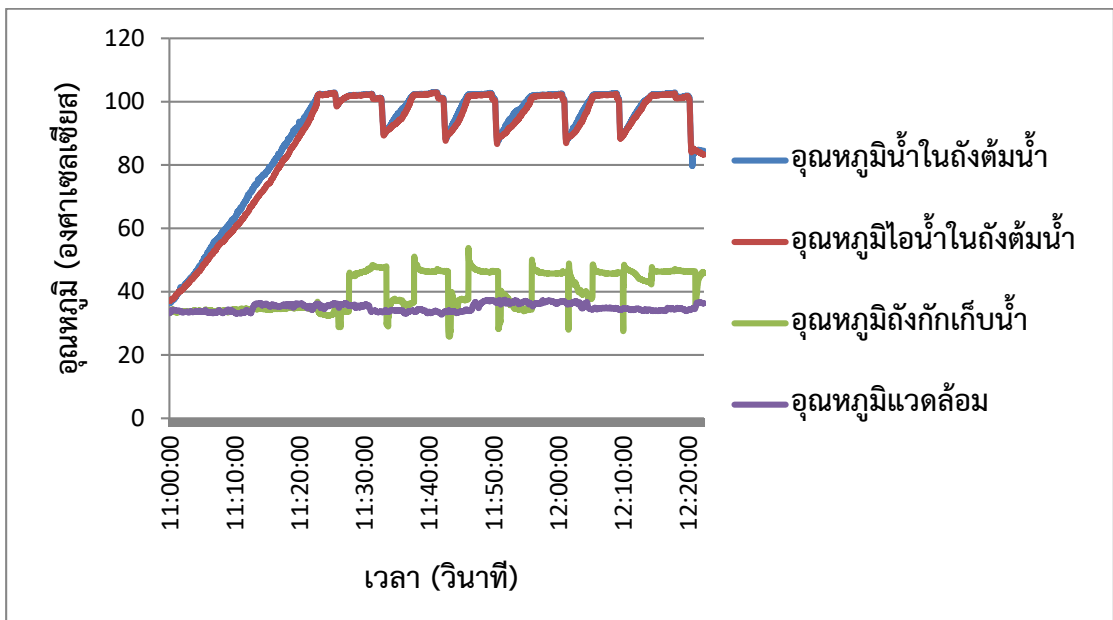


ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิจึงในถังขับตันตรงกลางที่ความสูงด้านดูดน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 1



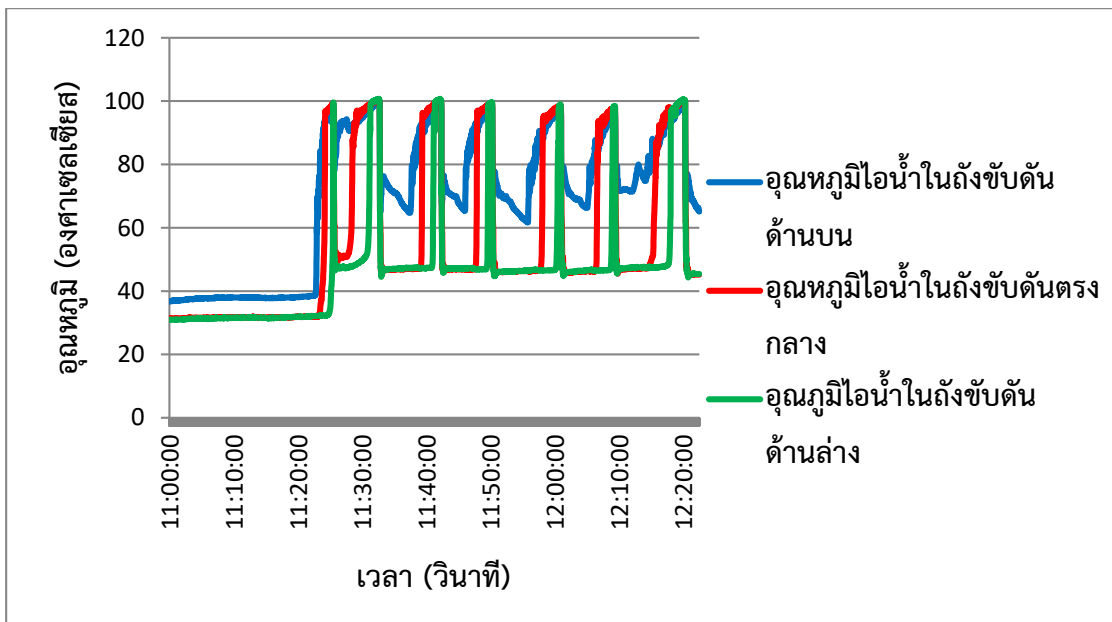
ภาพที่ 4.5 อุณหภูมิไอน้ำในถังขับดันด้านล่างที่ความสูงด้านดูตุน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 1

4.1.2 การแสดงอุณหภูมิภายในถังต้มน้ำ และถังขับดันที่ความสูงด้านดูตุน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 2 แสดงดังในภาพที่ 4.6 และ 4.7



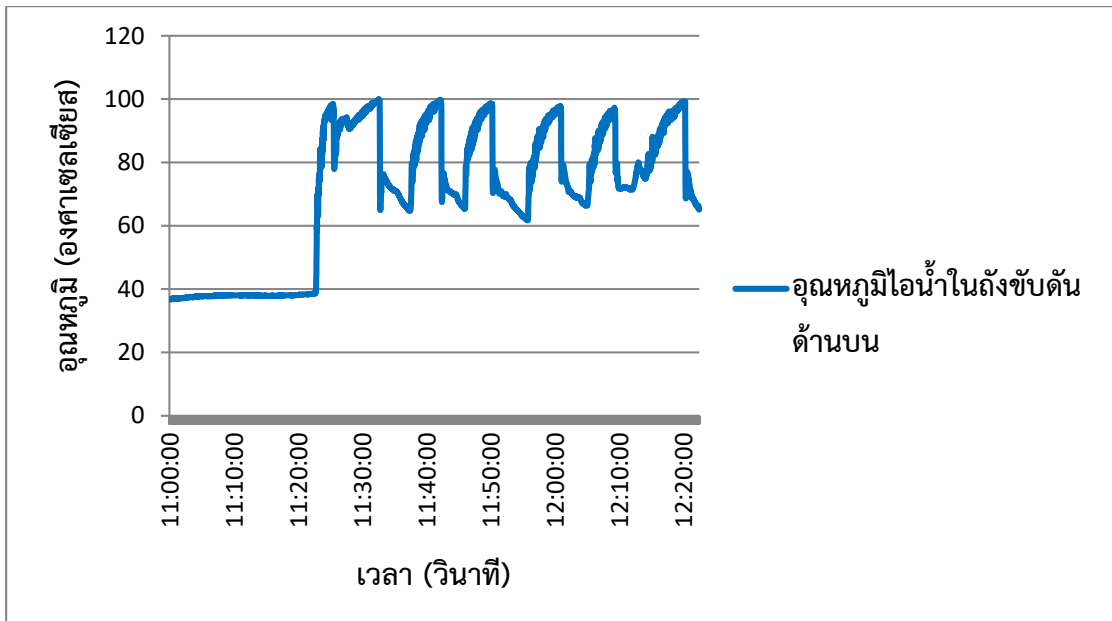
ภาพที่ 4.6 อุณหภูมิภายในถังต้มน้ำที่ความสูงด้านดูตุน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 2

จากภาพที่ 4.6 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิไอน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิถึงกักเก็บน้ำพบว่าในการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลนั้นจะได้ อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 34-37 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของถังกักเก็บน้ำที่สูบน้ำมาได้จะ อยู่ที่ประมาณ 45-50 องศาเซลเซียสต่อรอบ เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังต้มน้ำอยู่ที่ 102 องศาเซลเซียส ก็สามารถผลิตไอน้ำอยู่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไปขับเคลื่อนน้ำในถังขับเคลื่อน สาเหตุที่ อุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าขึ้นลงสลับกันเนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

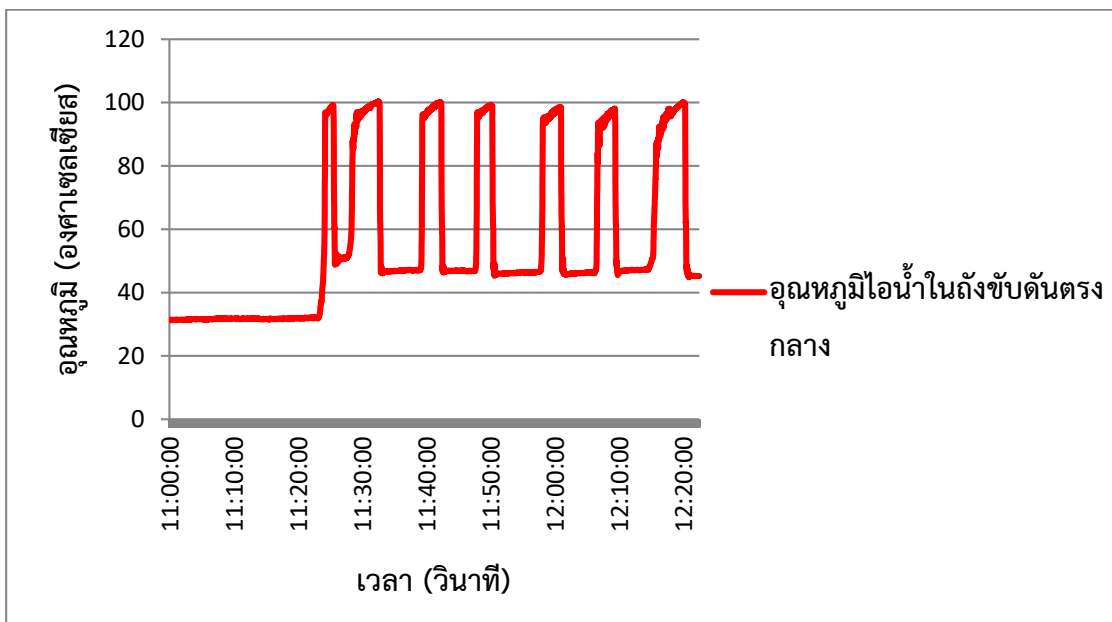


ภาพที่ 4.7 อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 2

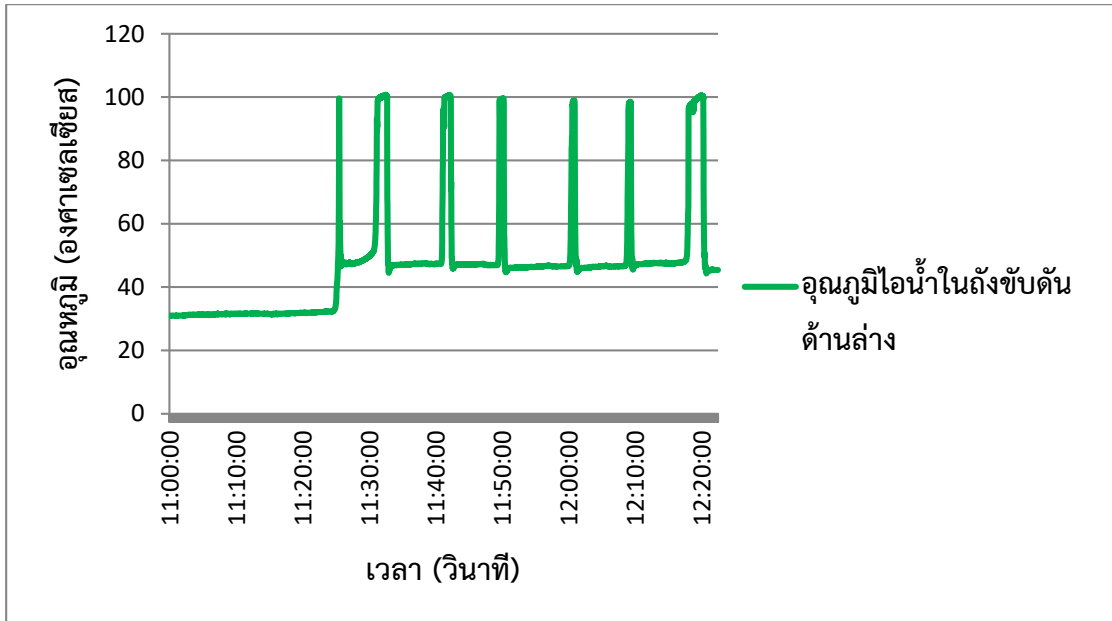
จากภาพที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบน อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนตรงกลาง อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านล่างตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบนมีอุณหภูมิเฉลี่ย ประมาณ 90-100 องศาเซลเซียส ก็สามารถขับเคลื่อนน้ำภายในถังขับเคลื่อนได้ อุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนน้ำ ด้านบนจะอยู่ที่ 61-100 องศาเซลเซียส ตรงกลางอุณหภูมิอยู่ที่ 46-100 องศาเซลเซียส และด้านล่าง อุณหภูมิอยู่ที่ 46-100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จนน้ำในถังขับเคลื่อนหมดอุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนมีค่า ขึ้นลงสลับกัน เนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบการทำงาน โดยเครื่องสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้ต่อ รอบ 9-10 ลิตรต่อรอบ



ภาพที่ 4.8 อุณหภูมิจึงไอน้ำในถังขับดันด้านบนที่ความสูงด้านดูดน้ําเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 2

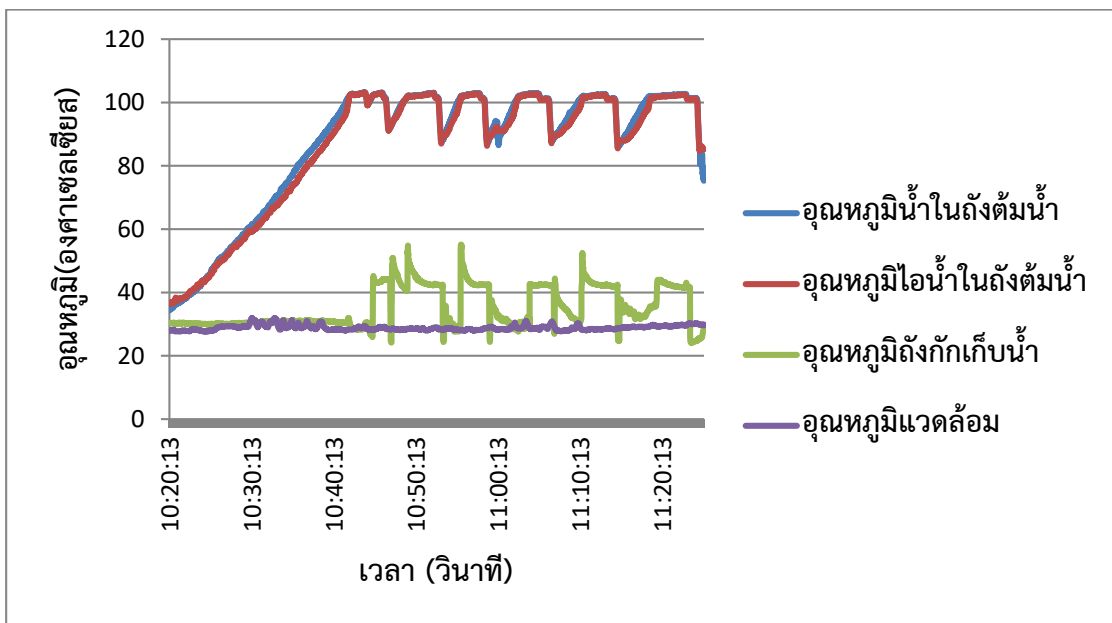


ภาพที่ 4.9 อุณหภูมิจึงไอน้ำในถังขับดันตรงกลางที่ความสูงด้านดูดน้ําเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 2



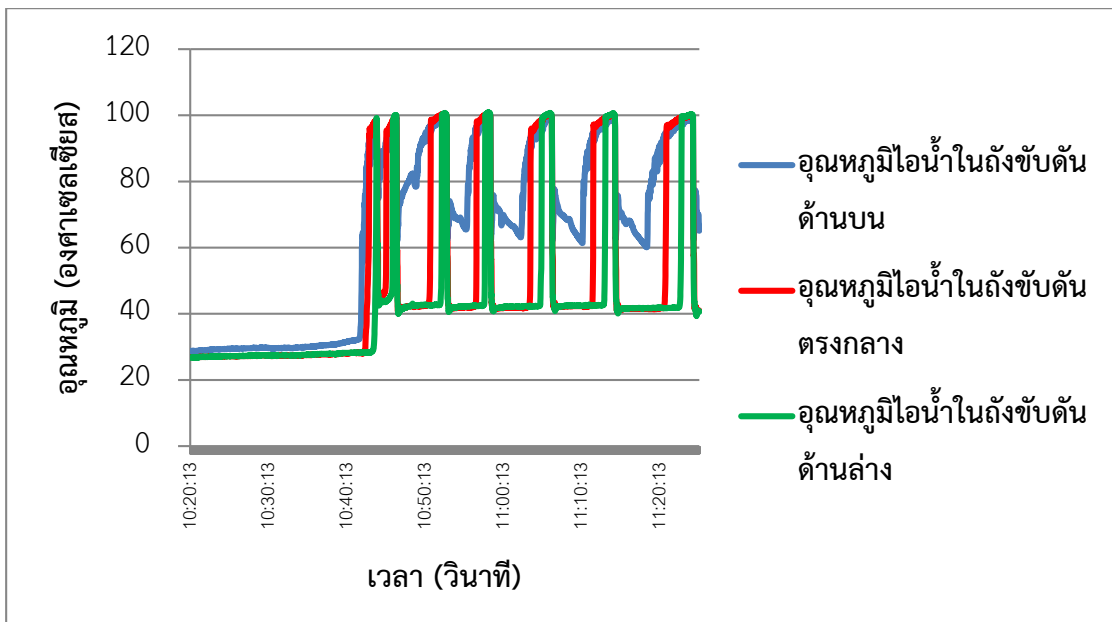
ภาพที่ 4.10 อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านล่างที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 2

4.1.3 การแสดงอุณหภูมิกายในถังต้มน้ำ และถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 3 แสดงดังในภาพที่ 4.11 และ 4.12



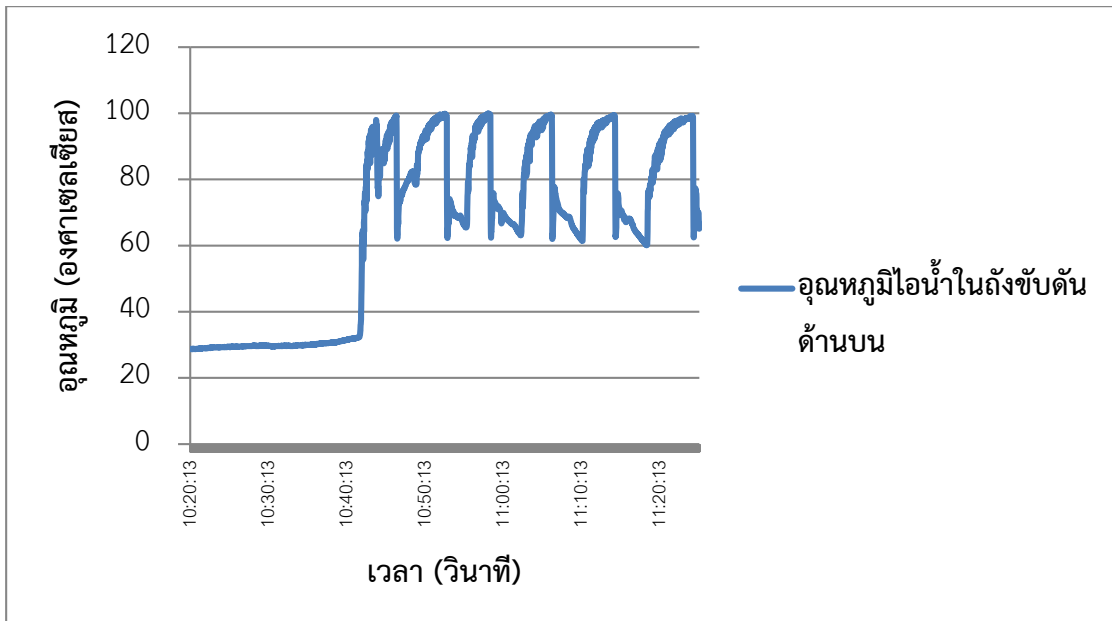
ภาพที่ 4.11 อุณหภูมิกายในถังต้มน้ำที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 3

จากภาพที่ 4.11 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิไอน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิถึงกักเก็บน้ำพบว่า ในการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลนั้นจะได้ อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยอยู่ที่ 30-34 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของถังกักเก็บน้ำที่สูบน้ำมาได้จะอยู่ที่ ประมาณ 48-50 องศาเซลเซียสต่อรอบ เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังต้มน้ำอยู่ที่ 102 องศาเซลเซียส ก็สามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไปขับเคลื่อนน้ำในถังขับเคลื่อน สาเหตุที่อุณหภูมิเฉลี่ยมี ค่าขึ้นลงสลับกันเนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบ

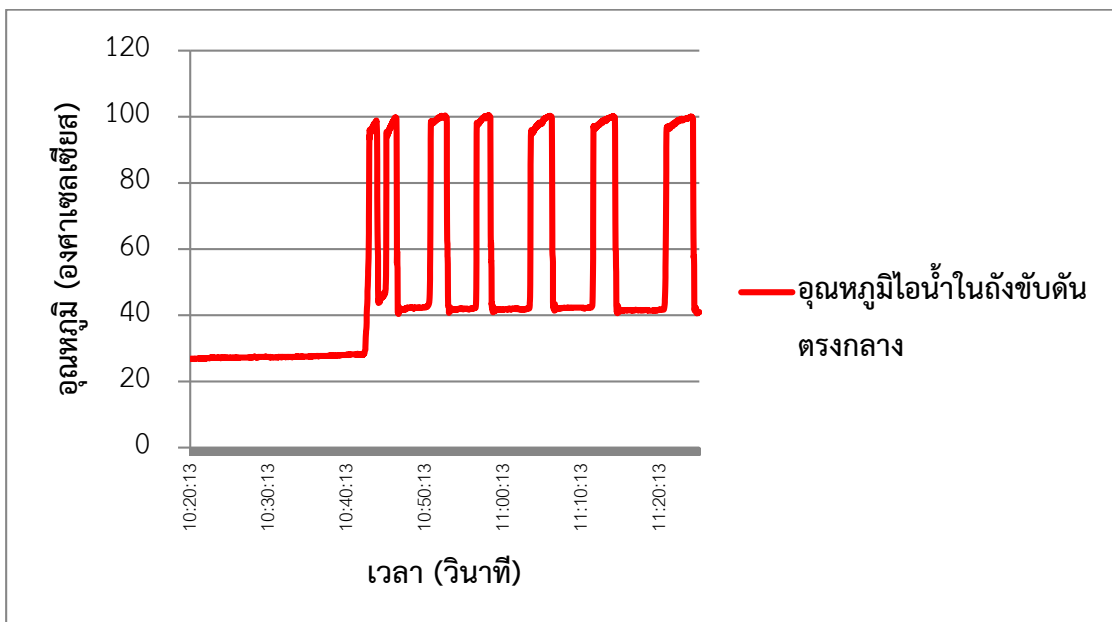


ภาพที่ 4.12 อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดูตุน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 3

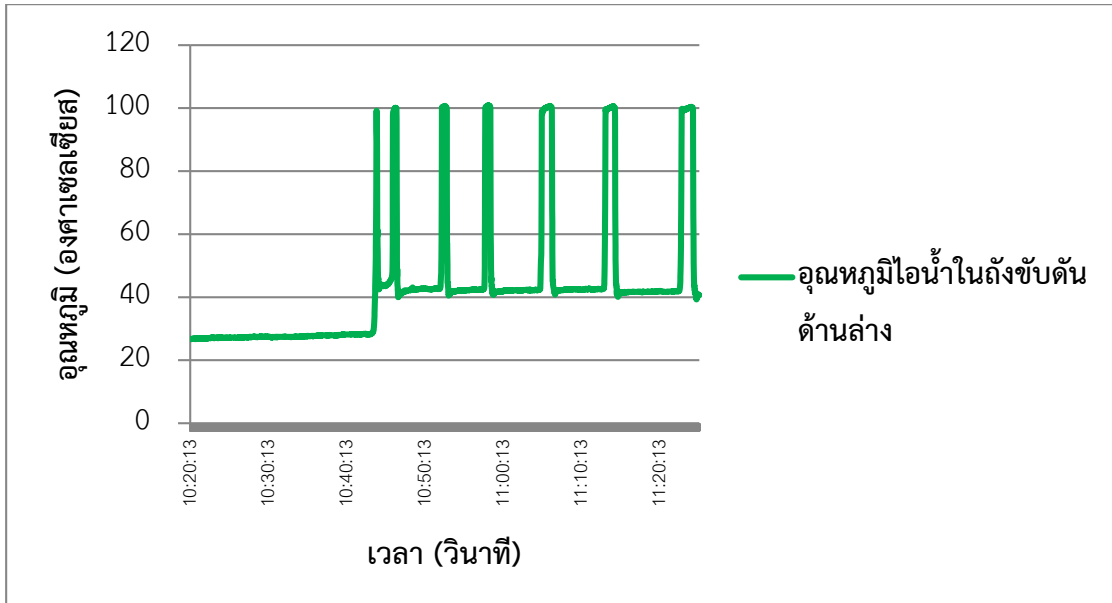
จากภาพที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบน อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนตรงกลาง อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านล่างตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 90-100 องศาเซลเซียส ก็สามารถขับเคลื่อนน้ำภายในถังขับเคลื่อนได้ อุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนน้ำด้านบนจะอยู่ที่ 65-100 องศาเซลเซียส ตรงกลางอุณหภูมิอยู่ที่ 42-100 องศาเซลเซียส และด้านล่างอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 40-100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จนน้ำในถังขับเคลื่อนหมดอุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนมีค่าขึ้นลงสลับกัน เนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบการทำงาน โดยเครื่องสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้ปริมาณน้ำต่อรอบ 9-10 ลิตรต่อรอบ



ภาพที่ 4.13 อุณหภูมิไอน้ำในถังขั้วตันด้านบนที่ความสูงด้านดูน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 3



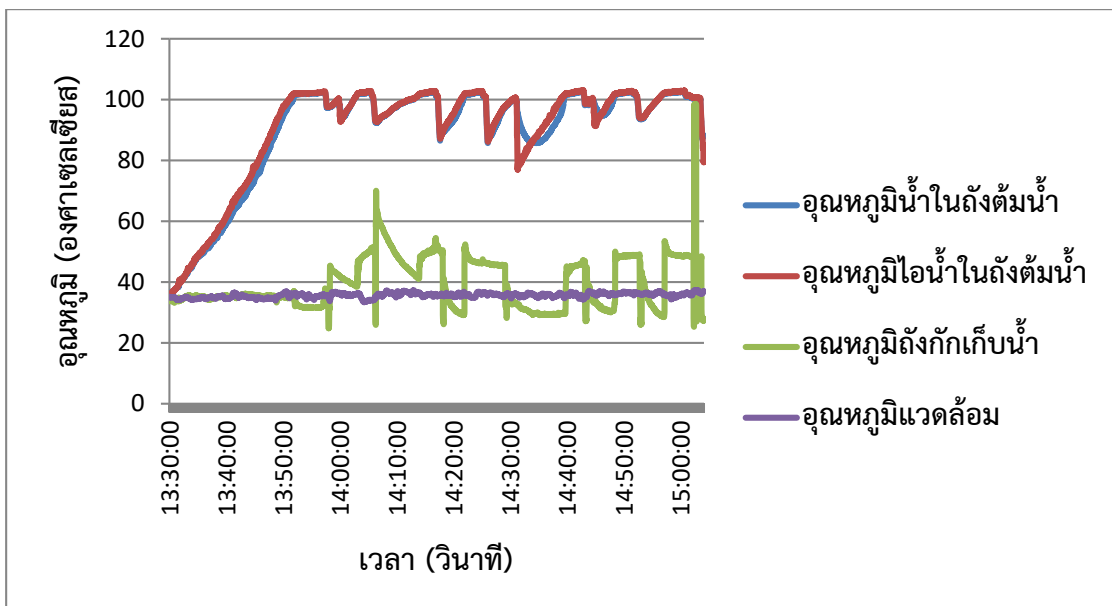
ภาพที่ 4.14 อุณหภูมิไอน้ำในถังขั้วตันตรงกลางที่ความสูงด้านดูน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.15 อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านล่างที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 2 เมตร ครั้งที่ 3

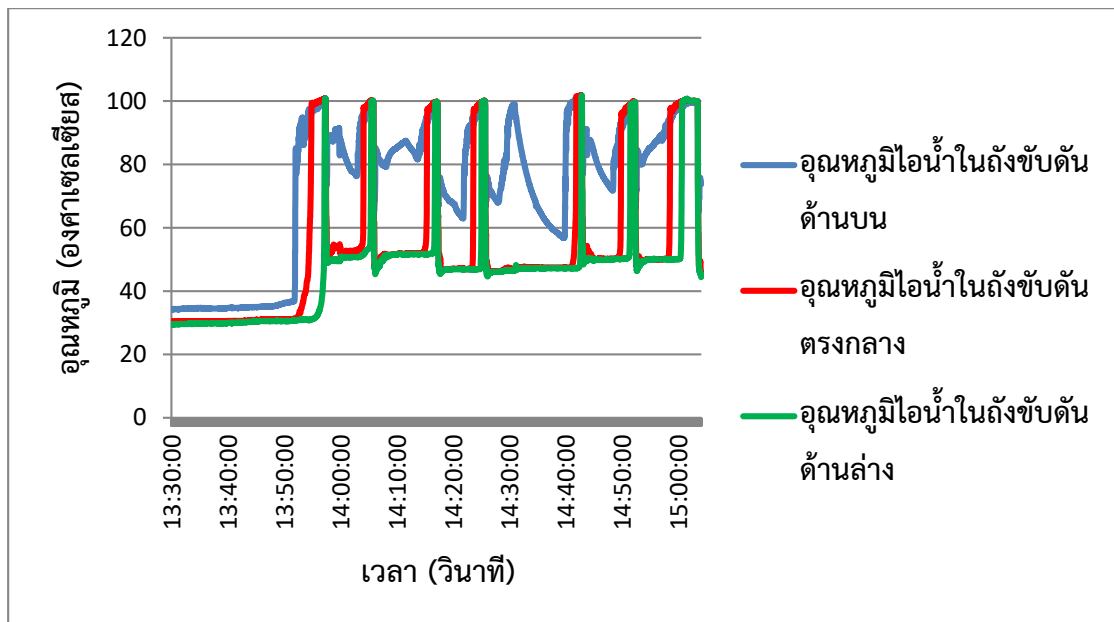
4.2 ผลการทดลองอุณภูมิภายในถังต้มน้ำและถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 3 เมตร

4.2.1 การแสดงอุณภูมิภายในถังผลิตไอและถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 1 แสดงดังในภาพที่ 4.16 และ 4.17



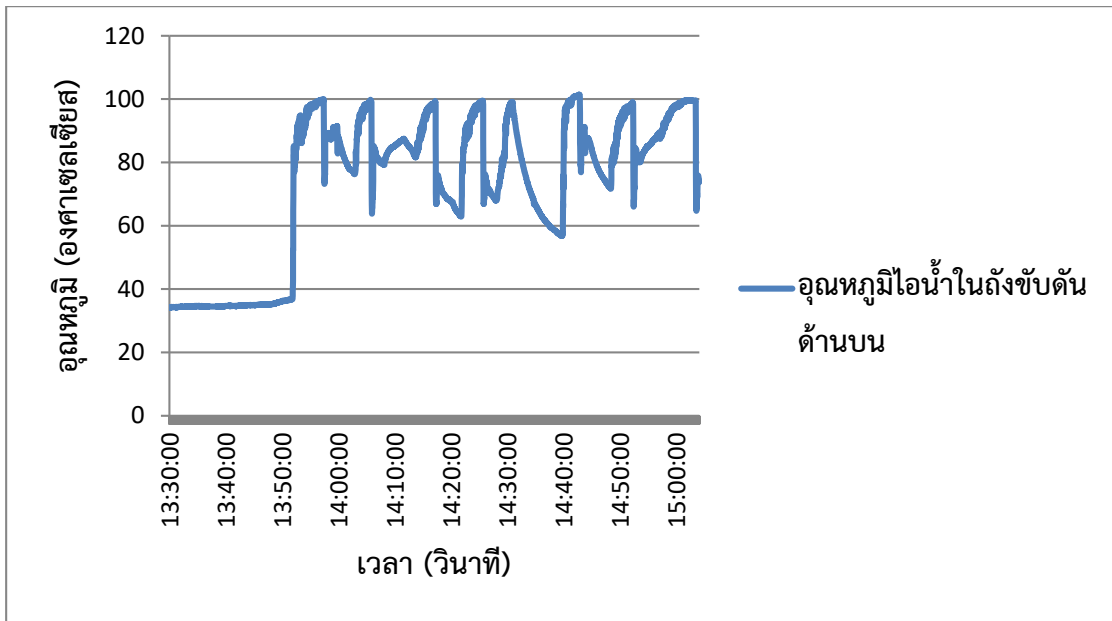
ภาพที่ 4.16 อุณหภูมิภายในถังต้มน้ำที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 1

จากภาพที่ 4.16 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิไอน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิถังกักเก็บน้ำพบว่าในการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลนั้นจะได้ อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 33-36 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของถังกักเก็บน้ำที่สูบน้ำได้จะอยู่ที่ประมาณ 48-53 องศาเซลเซียสต่อรอบ เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังต้มน้ำอยู่ที่ 102 องศาเซลเซียส ก็สามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไปขับเคลื่อนน้ำในถังขับเคลื่อน สาเหตุที่อุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าขึ้นลงสลับกัน เนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

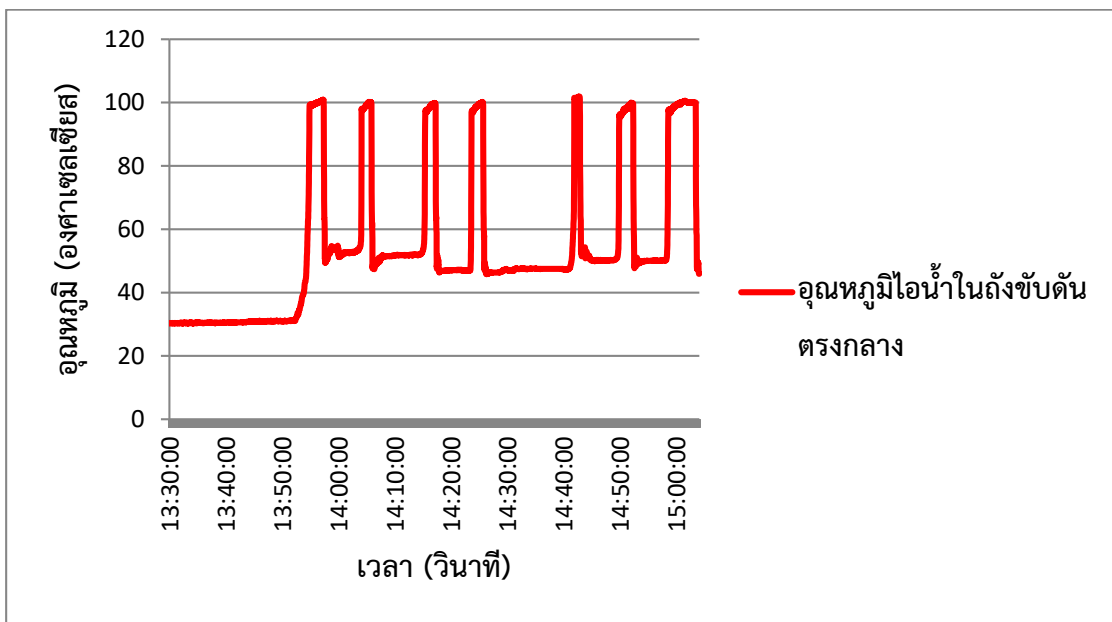


ภาพที่ 4.17 อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดูตุน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 1

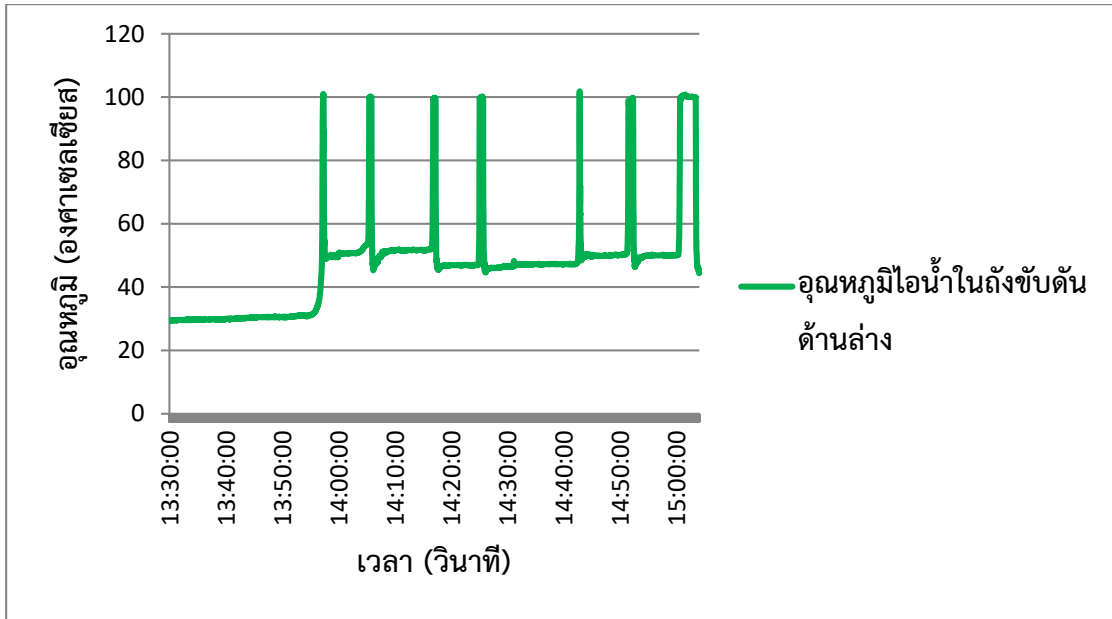
จากภาพที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบน อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนตรงกลาง อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านล่างตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบนมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 90-100 องศาเซลเซียส ก็สามารถขับเคลื่อนน้ำภายในถังขับเคลื่อนได้ ถังขับเคลื่อนน้ำด้านบนอุณหภูมิจะอยู่ที่ 63-100 องศาเซลเซียส ตรงกลางอุณหภูมิอยู่ที่ 47-100 องศาเซลเซียส และด้านล่างอุณหภูมิอยู่ที่ 47-100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จนน้ำในถังขับเคลื่อนหมดอุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนมีค่าขึ้นลงสลับกัน เนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบการทำงาน โดยเครื่องสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้ปริมาณ 9-10 ลิตรต่อรอบ



ภาพที่ 4.18 อุณทภูมิไอน้ำในถังขัณฑ์ด้านบนที่ความสูงด้านดูดน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 1

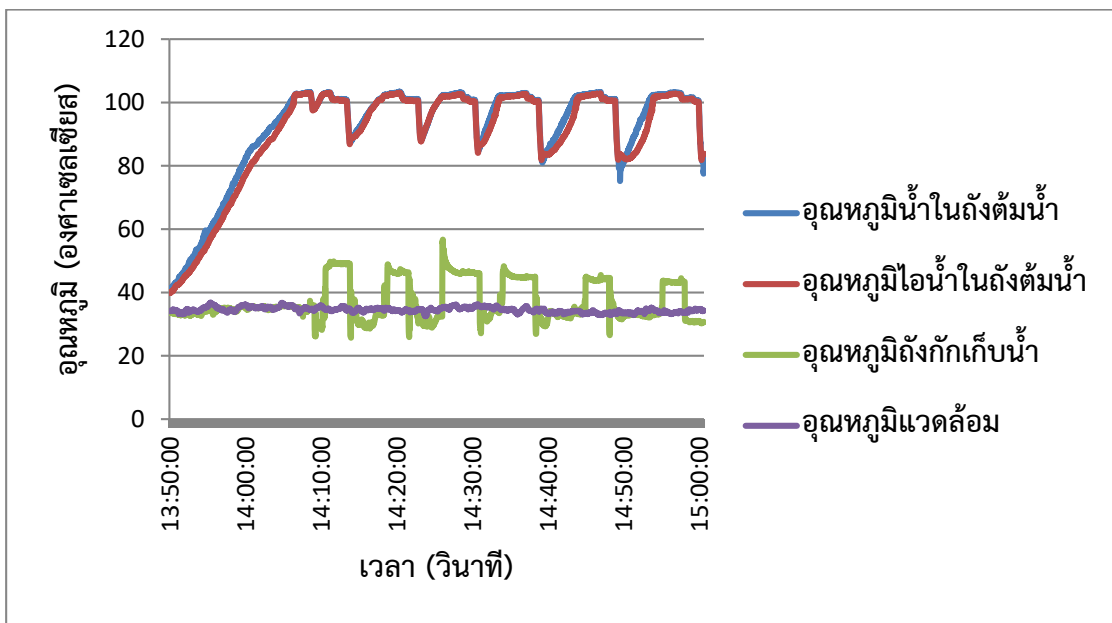


ภาพที่ 4.19 อุณทภูมิไอน้ำในถังขัณฑ์ตรงกลางที่ความสูงด้านดูดน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 1



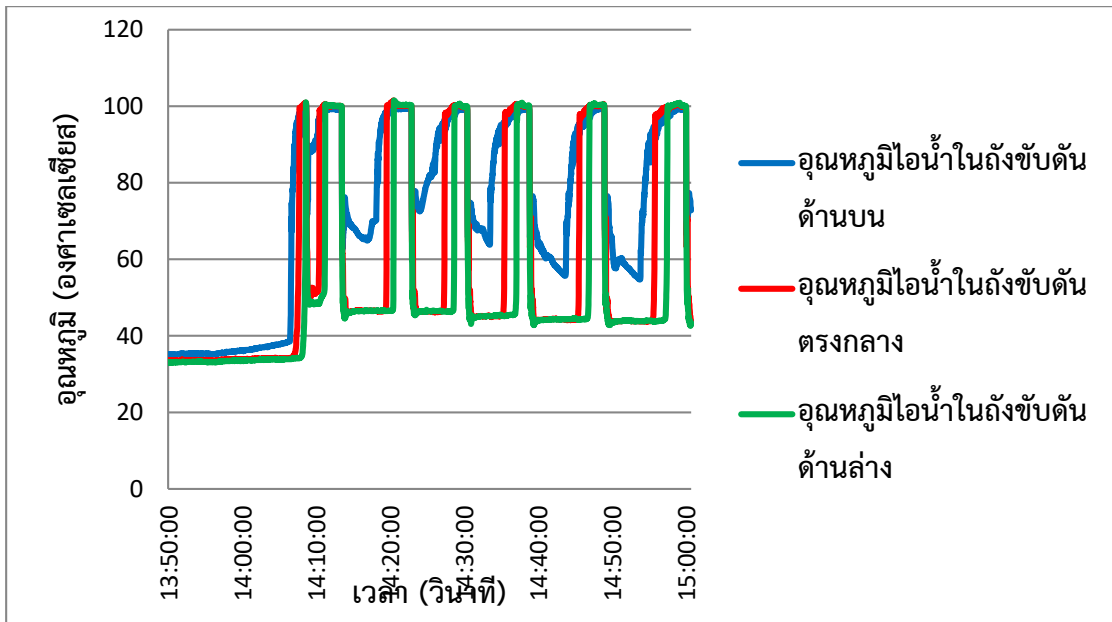
ภาพที่ 4.20 อุณทภูมิไอน้ำในถังขัณฑ์ด้านล่างที่ความสูงด้านคูน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 1

4.2.2 การแสดงอุณทภูมิภายในถังตม้น้ำ และถังขัณฑ์ที่ความสูงด้านคูน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2 แสดงตั้งในภาพที่ 4.21 และ 4.22



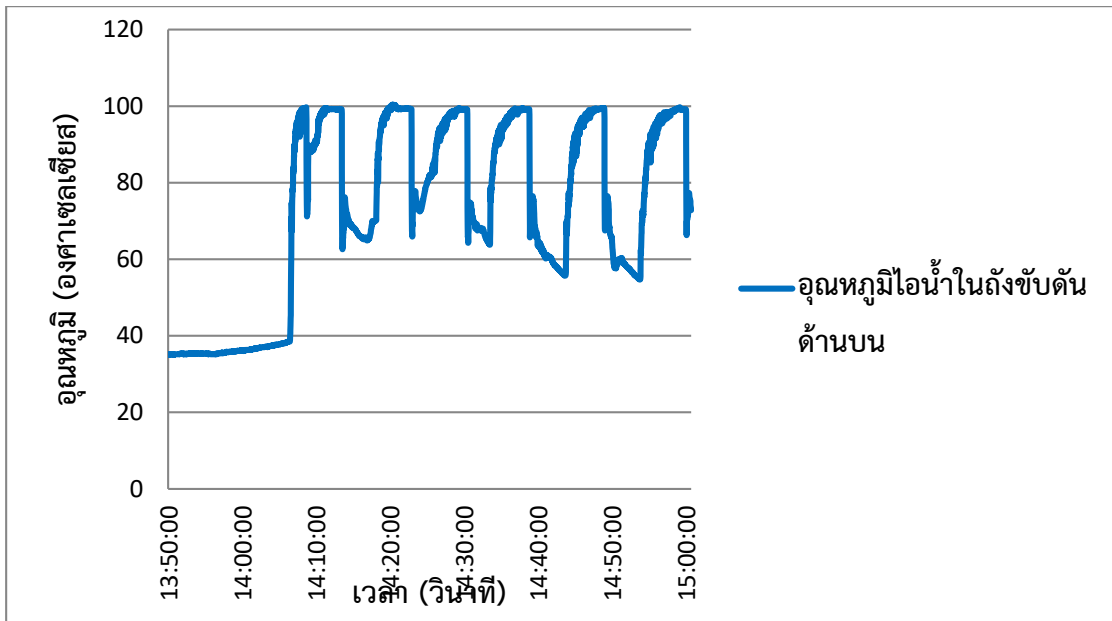
ภาพที่ 4.21 อุณทภูมิภายในถังตม้น้ำที่ความสูงด้านคูน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2

จากภาพที่ 4.21 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิไอน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิถังเก็บน้ำพบว่าในการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลนั้นจะได้ อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 35-36 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของถังเก็บน้ำที่สูบน้ำมาได้จะอยู่ที่ประมาณ 49-54 องศาเซลเซียสต่อรอบ เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังต้มน้ำอยู่ที่ 102 องศาเซลเซียส ก็สามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไปขับเคลื่อนน้ำในถังขับเคลื่อนสาเหตุที่อุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าขึ้นลงสลับกันเนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

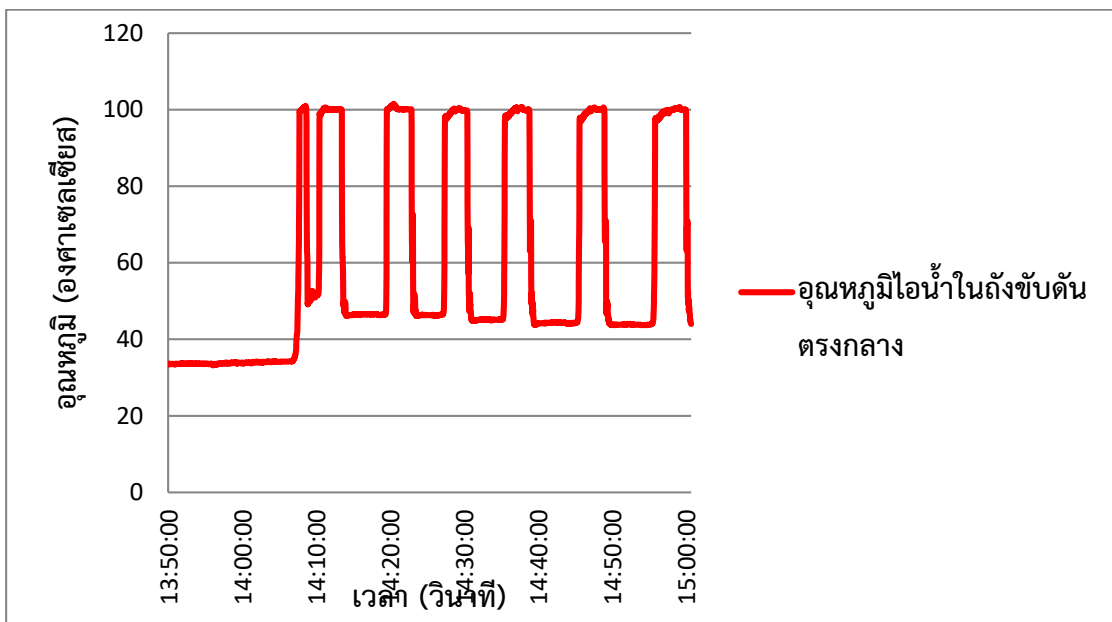


ภาพที่ 4.22 อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดูตน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2

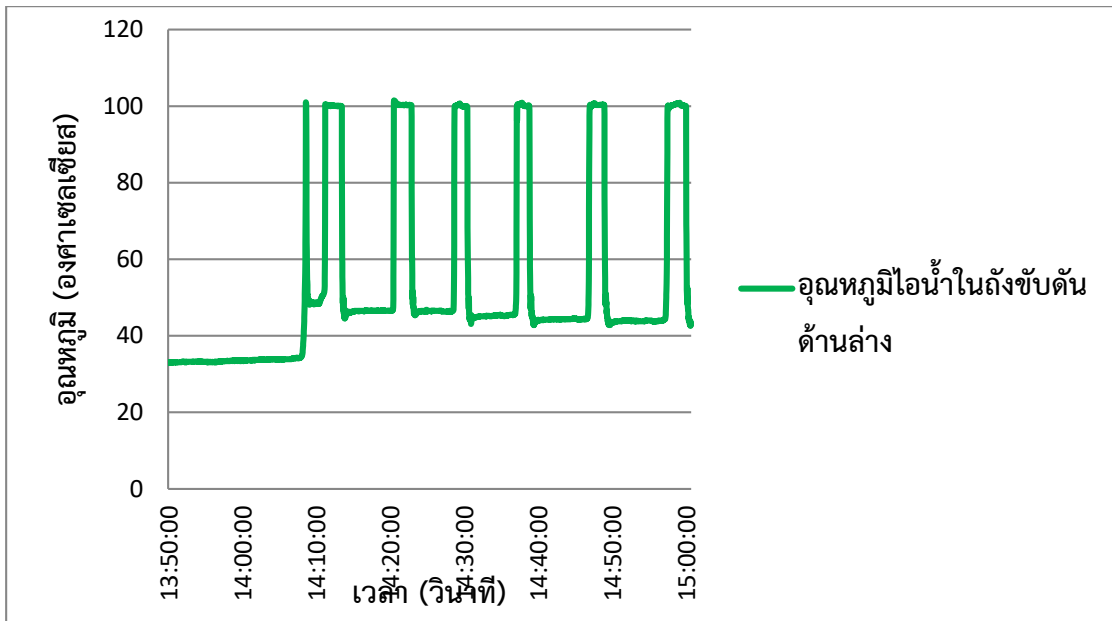
จากภาพที่ 4.22 แสดงอุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบน อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนตรงกลาง อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านล่างตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 90-100 องศาเซลเซียส ก็สามารถขับเคลื่อนน้ำภายในถังขับเคลื่อนได้ ถังขับเคลื่อนน้ำด้านบนอุณหภูมิจะอยู่ที่ประมาณ 67-100 องศาเซลเซียส ตรงกลางอุณหภูมิอยู่ที่ 47-100 องศาเซลเซียส ด้านล่างอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 46-100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จนน้ำในถังขับเคลื่อนหมดอุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนมีค่าขึ้นลงสลับกัน เนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบการทำงาน โดยเครื่องสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้ปริมาณ 9-10 ลิตรต่อรอบ



ภาพที่ 4.23 อุณหภูมิจึงในถึงขันด้านบนที่ความสูงด้านดูน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2

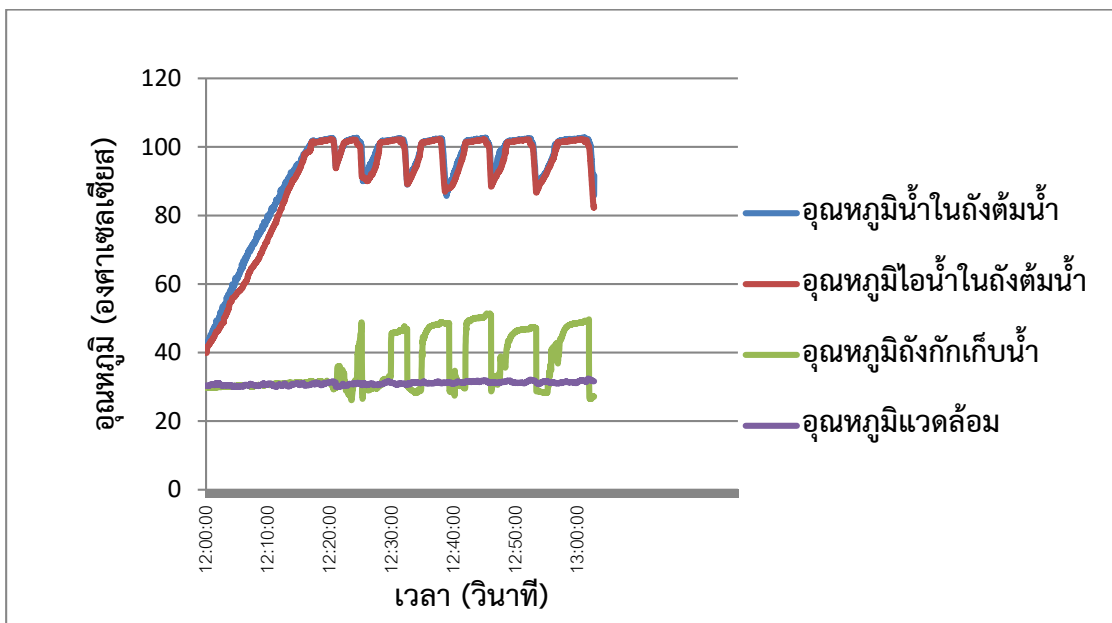


ภาพที่ 4.24 อุณหภูมิจึงในถึงขันตรงกลางที่ความสูงด้านดูน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2



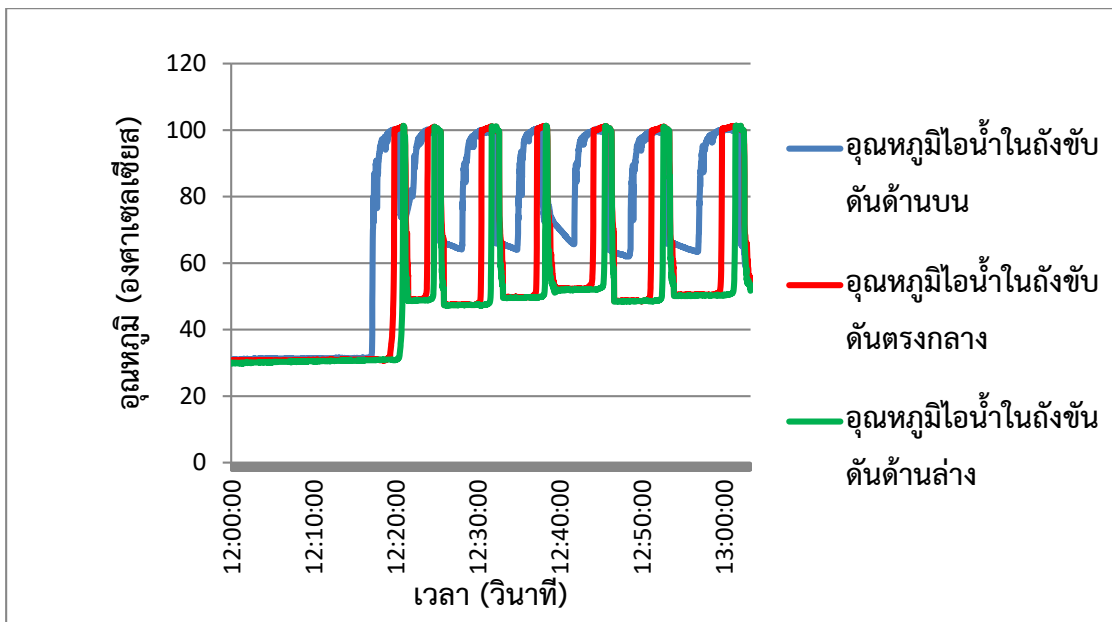
ภาพที่ 4.25 อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านล่างที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 2

4.2.3 การแสดงอุณหภูมิภายในถังต้มน้ำและถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3 แสดงดังในภาพที่ 4.26 และ 4.27



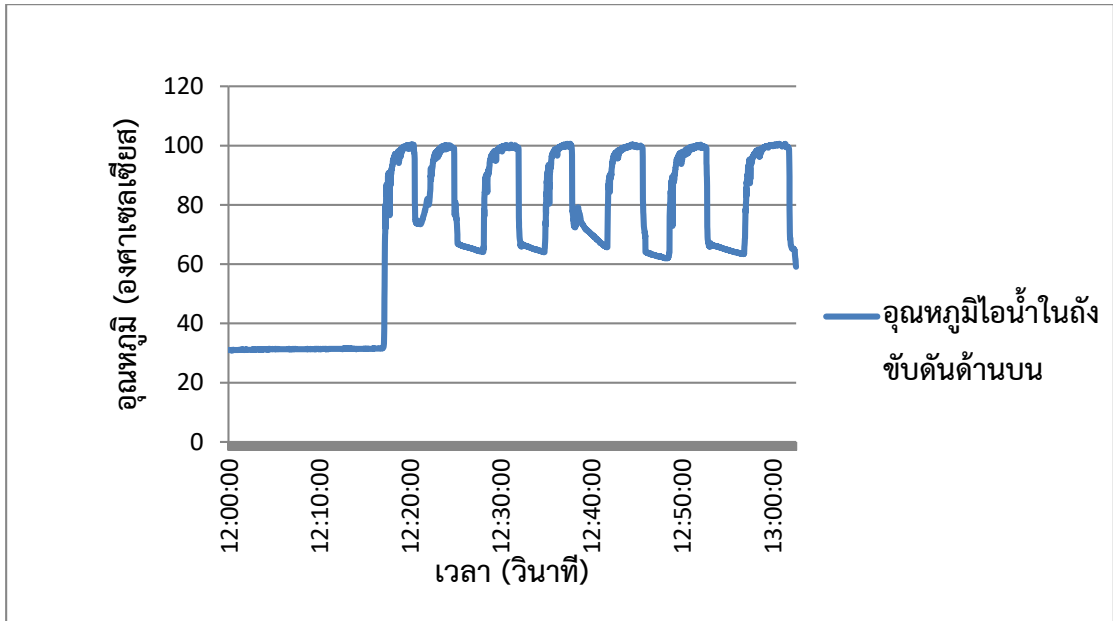
ภาพที่ 4.26 อุณหภูมิภายในถังต้มน้ำที่ความสูงด้านดุน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3

จากภาพที่ 4.26 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิไอน้ำในถังต้มน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิถังกักเก็บน้ำพบว่าในการทำงานของเครื่องสูบน้ำจากพลังงานความร้อนจากชีวมวลนั้นจะได้ อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยอยู่ที่ 30-34 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของถังกักเก็บน้ำที่สูบน้ำมาได้จะอยู่ที่ ประมาณ 48-53 องศาเซลเซียสต่อรอบ เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังต้มน้ำอยู่ที่ 102 องศาเซลเซียส ก็สามารถผลิตไอน้ำอยู่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไปขับเคลื่อนน้ำในถังขับเคลื่อนสาเหตุที่อุณหภูมิเฉลี่ยมี ค่าขึ้นลงสลับกันเนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

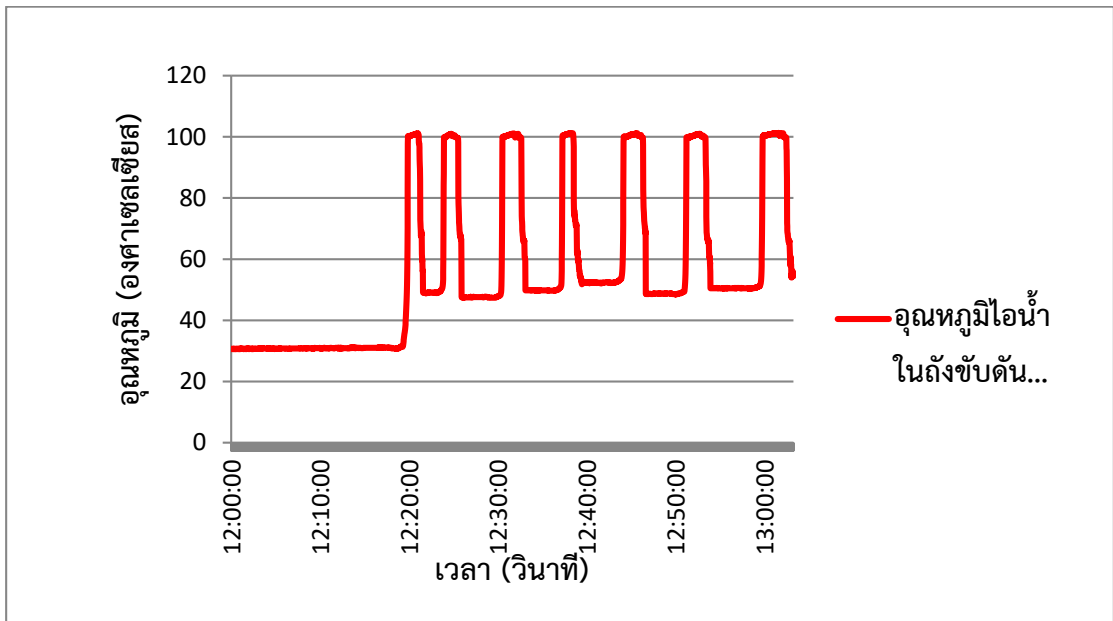


ภาพที่ 4.27 อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนที่ความสูงด้านดูตุน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3

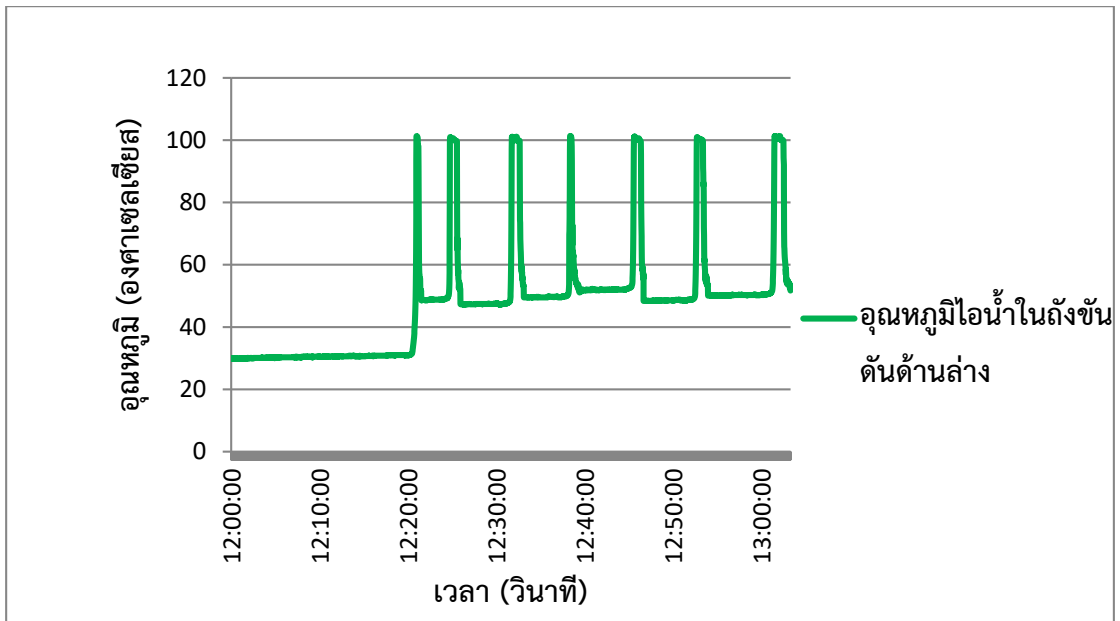
จากภาพที่ 4.27 แสดงอุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบน อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนตรงกลาง อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านล่างตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 90-100 องศาเซลเซียส ก็สามารถขับเคลื่อนน้ำภายในถังขับเคลื่อนได้ อุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนด้านบนจะอยู่ที่ 65-100 องศาเซลเซียส ตรงกลางอุณหภูมิอยู่ที่ 46-100 องศาเซลเซียส และด้านล่างอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 45-100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จนน้ำในถังขับเคลื่อนหมดอุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนมีค่าขึ้นลงสลับกัน เนื่องมาจากการทำงานครบ 1 รอบการทำงาน โดยเครื่องสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้ 9-10 ลิตรต่อรอบ



ภาพที่ 4.28 อุณหภูมิจองน้ำในถังระดับด้านบนที่ความสูงด้านดูน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3

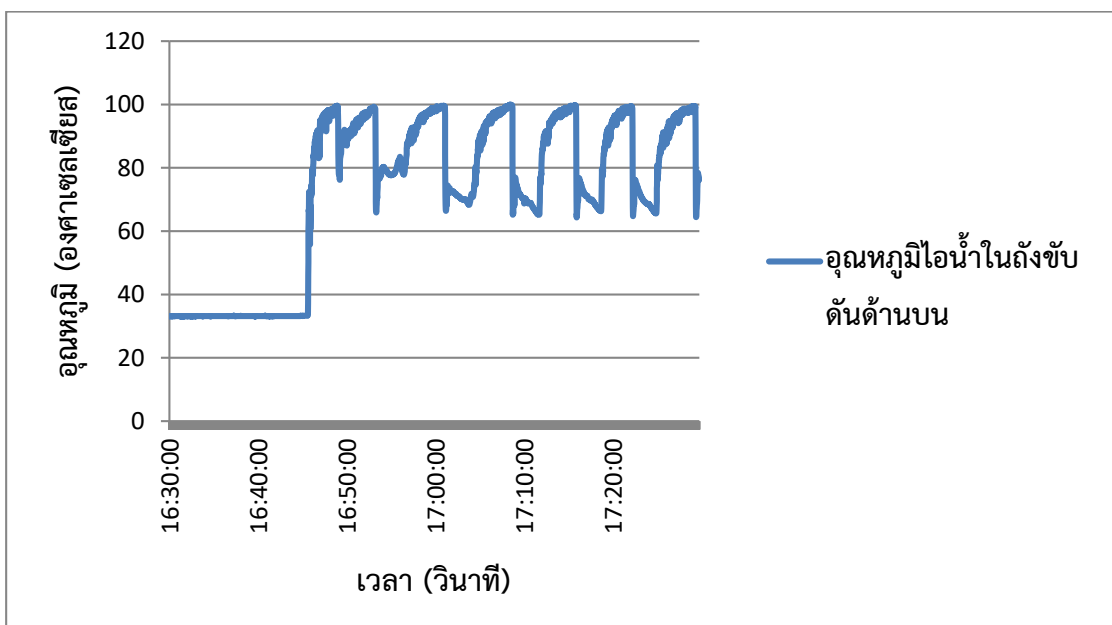


ภาพที่ 4.29 อุณหภูมิจองน้ำในถังตรงกลางที่ความสูงด้านดูน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3



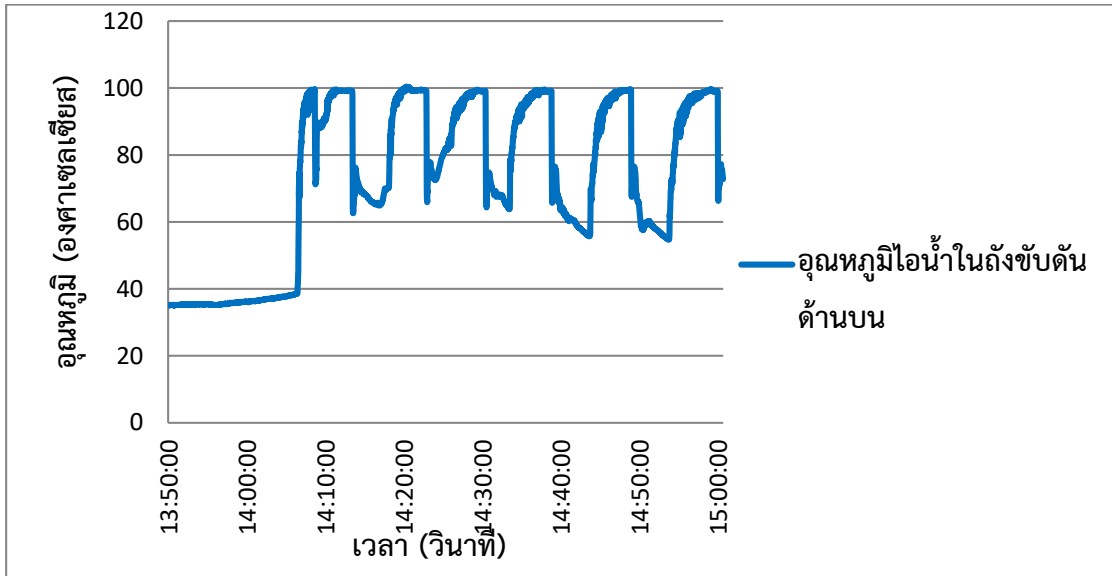
ภาพที่ 4.30 อุณหภูมิต่ำในถังชั้นต้นด้านล่างที่ความสูงด้านคูدنน้ำเท่ากับ 3 เมตร ครั้งที่ 3

4.3 อุณหภูมิต่ำในถังชั้นต้นด้านบนที่ความสูงด้านคูدنน้ำเท่ากับ 2 เมตร และที่ความสูงด้านคูدنน้ำเท่ากับ 3 เมตร แสดงในดังภาพที่ 4.31 และ 4.32



ภาพที่ 4.31 อุณหภูมิต่ำในถังชั้นต้นด้านบนที่ความสูงด้านคูدنน้ำเท่ากับ 2 เมตร

จากภาพที่ 4.31 สรุปได้ว่าน้ำในถังต้มน้ำจะกลายเป็นไอน้ำโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 15 นาที เพื่อนำไอน้ำที่ได้มาขับเคลื่อนน้ำภายในถังขับเคลื่อน และอุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนด้านบนซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการขับเคลื่อนน้ำจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 70-100 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.32 อุณหภูมิไอน้ำในถังขับเคลื่อนด้านบนที่ความสูงด้านตูดน้ำเท่ากับ 3 เมตร

จากภาพที่ 4.32 สรุปได้ว่าน้ำในถังต้มน้ำจะกลายเป็นไอน้ำโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 15 นาที เพื่อนำไอน้ำที่ได้มาขับเคลื่อนน้ำภายในถังขับเคลื่อน และอุณหภูมิภายในถังขับเคลื่อนด้านบนซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการขับเคลื่อนน้ำจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 60-100 องศาเซลเซียส

ในการบันทึกข้อมูลเฉลี่ยดังตารางที่ 4.1 ที่ระดับความสูง 2 เมตร จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสูงสุดที่บันทึกได้ของอุณหภูมิดังเก็บน้ำ 44.4 องศาเซลเซียส ได้ค่าประสิทธิภาพความร้อนอยู่ที่ 0.00631 เห็นได้ว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิของถังเก็บน้ำและค่าประสิทธิภาพความร้อนนั้นมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิแวดล้อมอยู่ที่ 35.30 องศาเซลเซียส การบันทึกข้อมูลเฉลี่ยดังตารางที่ 4.2 ที่ระดับความสูง 3 เมตร จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสูงสุดของถังเก็บน้ำอยู่ที่ 46.42 องศาเซลเซียส จะได้ค่าประสิทธิภาพความร้อนอยู่ที่ 0.00731 จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกับอุณหภูมิของถังเก็บ

น้ำและค่าประสิทธิภาพความร้อนนั้นเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิแวดล้อมอยู่ที่ 35.6 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่าอุณหภูมิแวดล้อมมีผลต่ออุณหภูมิในถังกักเก็บน้ำ และประสิทธิภาพความร้อนของระบบ

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ในช่วงการปรับวาล์วแต่ละรอบ

อัตรารอบปรับ เกจวาล์ว (รอบ)	พลังงานสะสม ในถังเก็บน้ำร้อน (MJ)	พลังงาน รังสีอาทิตย์ (MJ)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (%)	อุณหภูมิน้ำร้อน สูงสุด (°C)
1:10	25.26	109.5681	23.06	40.9
2:10	28.33	102.7315	27.58	41.9
3:10	38.10	123.0874	30.95	43.6
4:10	33.08	123.4114	26.80	42.8
5:10	44.66	141.7463	31.51	45.9
6:10	19.82	84.4812	23.46	39.2
7:10	35.03	111.4791	31.42	45.3
8:10	32.52	108.9379	29.85	40.8
9:10	50.10	153.8986	32.56	40.5
10:10	28.05	116.7570	24.03	43.2
ประสิทธิภาพสูงสุด			32.56	45.9

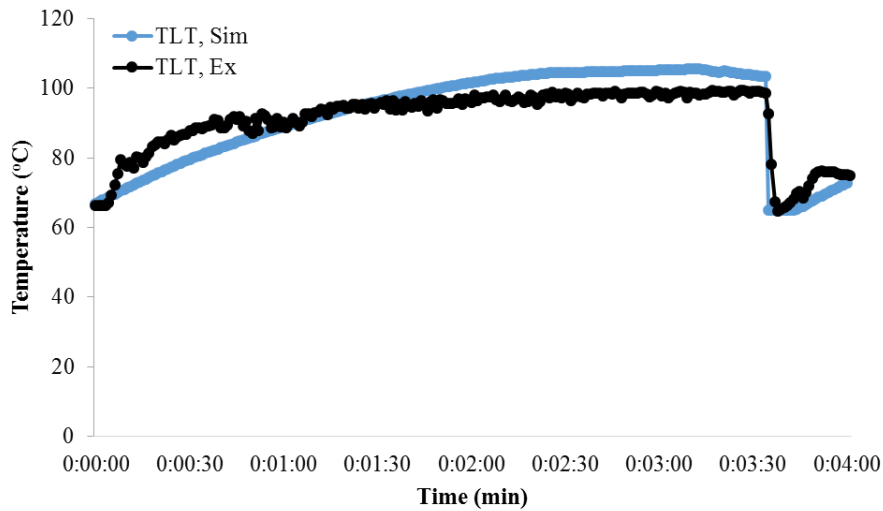
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยการปรับอุณหภูมิน้ำทางออก

วันที่ทดลอง	พลังงานสะสม ในถังเก็บน้ำร้อน (MJ)	พลังงานรังสี อาทิตย์ (MJ)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (%)	อุณหภูมิน้ำร้อน สูงสุด (°C)
7/10/2559	27.22	97.5029	27.91	42.4
8/10/2559	21.21	105.2618	20.15	41.3
10/10/2559	42.29	120.2226	35.18	43.0
14/10/2559	49.83	126.5676	39.37	46.2
15/10/2559	53.73	140.1174	38.35	47.3
19/10/2559	31.12	121.2032	25.68	45.4
20/10/2559	50.52	144.4841	34.97	48.5
23/10/2559	49.13	128.9606	38.09	46.1

26/10/2559	3.91	37.1210	10.53	36.7
30/10/2559	32.66	82.0452	39.81	39.7
ประสิทธิภาพสูงสุด			39.81	48.5

4.4 แบบจำลองคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับอุณหภูมิไอน้ำภายในถังขั้บตันน้ำ โดยศึกษา 1 รอบการทำงาน ใช้ระดับความสูงในการส่งน้ำ 1 m ขนาดท่อสูบน้ำ 18 mm (1/2 in) เปรียบเทียบกับผลการทดลองได้ดังนี้



ภาพที่ 4.34 อุณหภูมิภายในถังขั้บตันไอน้ำระหว่างผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลของการทดลองที่ระดับความสูงในการสูบน้ำ 1 เมตร

จากผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.33 สังเกตได้ว่าผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การทำงานมีค่าเท่ากัน ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิไอน้ำภายในถังผลิตไอน้ำเท่ากับ 0.22% แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีผลที่สอดคล้องกับการทดลอง มีทิศทางแนวโน้มไปในทางเดียวกัน

4.5 ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

4.5.1 ผลกระทบของขนาดท่อส่งน้ำและท่อดูดน้ำ

ความดันสูญเสียภายในท่อขึ้นอยู่กับความยาวภายในท่อ สามารถหาได้จากสมการของ Darcy-Weisbach เมื่อขยายขนาดท่อส่งน้ำ ส่งผลให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น ลดระยะเวลาในการขุดต้นน้ำและยังช่วยลดความดันสูญเสียภายในท่อ (เพิ่มประสิทธิภาพของปั๊ม) แต่ขนาดท่อใหญ่เกินไปอาจทำให้น้ำออกไม่หมด และไอน้ำไหลผ่านน้ำที่ตกค้างอยู่ในท่อ ระหว่างขั้นตอนขุดต้นไอน้ำ ซึ่งทำให้ขั้นตอนขุดต้นไอน้ำไม่สมบูรณ์เพราะว่ามีน้ำคอยกกันไม่ให้ไอน้ำออกได้สะดวก การหาขนาดท่อที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ

4.5.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพปั๊ม

ในขั้นตอนการเติมน้ำเข้าสู่ระบบ น้ำถูกดูดจากถัง WT เข้าสู่ถัง LT ซึ่งน้ำในถัง WT มีอุณหภูมิต่ำ เมื่อมากระทบกับถัง LT ทำให้อุณหภูมิถัง LT ต่ำตามไปด้วย หากสามารถนำน้ำร้อนที่ได้จากถัง ST มาอุ่นถัง LT และ HST ไม่ให้อุณหภูมิลดลงขณะที่ดูดน้ำจากถัง WT ซึ่งส่งผลให้การผลิตแรงดันไอน้ำภายในถัง LT เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ระยะเวลาต่อรอบการปัมน้ำเร็วขึ้น มากกว่านั้น

4.5.3 ผลกระทบของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นแปรผันตามอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิผสม (Tmix) ลดลงเมื่ออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นลดลง จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำเปลี่ยนไป 1 oC ทำให้ความดันด้านดูดเปลี่ยนแปลง

4.5.4 ผลกระทบจากความสูงของถัง OT

ระดับความสูงของถัง OT มีผลกระทบต่อความดันของน้ำหล่อเย็น ฉะนั้นความสูงของถัง OT ควรสูงเพียงพอที่สามารถทำให้น้ำไหลเข้าสู่ถัง LT ได้เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนขุดต้นไอน้ำ ยิ่งกว่านั้นแหล่งพลังงานความร้อนร่วมที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้ ทำให้ความดันภายในถัง LT สามารถทำงานได้ปกติ ถ้าระดับความสูงของถัง OT มากเกินไป ทำให้น้ำหล่อเย็นไหลเข้าสู่ถัง LT ได้ในช่วงขั้นตอนการให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำเต็มถัง LT ในสถานการณ์นี้ปั๊มไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

4.5.5 กระบวนการใช้น้ำหล่อเย็น

เมื่อความดันไอน้ำในถัง LT เท่ากับความดันบรรยากาศ น้ำหล่อเย็นอุณหภูมิ 32 oC ไหลเข้าสู่ถัง LT เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกและความดันเนื่องจากความสูงของน้ำหล่อเย็น (Pressure head) เมื่อน้ำหล่อเย็นผสมกับไอน้ำ ทำให้อุณหภูมิลดลงประมาณ 57.5 oC เนื่องจากการเปลี่ยนเฟส อุณหภูมิผสมเท่ากับ 42.5 oC

4.5.6 การดูดอากาศเข้าไปในถังซับตัน

การดูดน้ำเข้าถังซับตันจนเต็ม 100% จะทำให้ขั้นตอนการซับตันน้ำใช้เวลานานเนื่องจากไม่มีอากาศขยายตัวช่วยในการซับตันน้ำ การลดเวลาซับตันน้ำให้เร็วขึ้นด้วยการเติมอากาศเข้าไปเวลาสูบน้ำจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เพื่อให้เกิดความชัดเจนยิ่งขึ้นในขั้นตอนการเติมอากาศเข้าสู่ระบบ เมื่อวาล์วกันกลับถูกติดตั้งไว้ในถัง WT โดยให้ตำแหน่งวาล์วสามารถดูดน้ำได้ 90% และดูดอากาศเข้าไปอีก 10%

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลมีวัตถุประสงค์คือการศึกษาการทำงานของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงที่สิ้นเปลือง ซึ่งสามารถอธิบายหลักการได้คือ

1) ขั้นตอนการผลิตไอน้ำช่วงเริ่มต้นของขั้นตอนนี้คือทำให้ความร้อนแก๊สผลิตไอน้ำโดยใช้ถ่านที่ได้จากไม้โกงกางโดยการเผาให้ความร้อนเมื่อถึงต้มน้ำได้รับความร้อนอุณหภูมิภายในถังก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเดือดจนกลายเป็นไอน้ำขึ้นภายในถังต้มน้ำทำให้ความดันภายในถังต้มน้ำมีค่าสูงขึ้นความดันในระบบจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีค่ามากกว่าเสดความสูงของการหมุนเวียนน้ำระบบจะเข้าสู่การทำงานในขั้นตอนต่อไป

2) ขั้นตอนการขับเคลื่อนน้ำไปยังถังเก็บน้ำความดันในถังต้มน้ำจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะขับเคลื่อนน้ำในถังขับเคลื่อนไหลเข้าสู่ท่อไปยังถังเก็บน้ำโดยมีวาล์วกันกลับ (Check valve) ป้องกันไม่ให้น้ำไหลกลับเข้าสู่ถังขับเคลื่อน โดยไอน้ำที่มาจากถังต้มน้ำจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ภายในถังขับเคลื่อนทำให้น้ำภายในถังเก็บน้ำมีอุณหภูมิสูงตามถังขับเคลื่อน

3) ขั้นตอนการหล่อเย็นเมื่อไอน้ำขับเคลื่อนน้ำภายในถังขับเคลื่อนจนหมดไอน้ำก็จะเคลื่อนที่ออกผ่านทางช่องระบายไอ (Air vent) ไอน้ำจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความดันไอน้ำภายในถังขับเคลื่อนมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอกน้ำหล่อเย็นที่อยู่ในถังด้านบนก็จะไหลลงสู่ถังขับเคลื่อนผ่านวาล์วกันกลับโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกโดยทำการควบคุมปริมาณน้ำหล่อเย็นโดยใช้ลูกปิงปองเป็นตัวควบคุมในการปิดท่อน้ำ

4) ขั้นตอนสูบน้ำขึ้นมาจากบ่อน้ำเมื่อไอน้ำในถังขับเคลื่อนที่อุณหภูมิสูงได้สัมผัสกับน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิต่ำ (ที่อุณหภูมิแวดล้อม) ไอน้ำจะควบแน่นทำให้เกิดแรงดูดสุญญากาศเกิดการสูบน้ำจากถัง

ด้านล่างเข้ามาเก็บน้ำภายในถังซับตันเมื่อขั้นตอนการสูบน้ำเสร็จสิ้นก็จะครบ 1 รอบของระบบการทำงาน

5.2 อภิปรายผล

ในการทดลองเครื่องสูบน้ำจากพลังงานชีวมวลโดยใช้ถ่านชีวมวลจากไม้โกงกางเป็นแหล่งพลังงานความร้อน 2 กิโลกรัม มีค่าความร้อนเฉลี่ย 29.281 เมกะจูลต่อกิโลกรัม โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลอง ที่ระดับความสูง 2 เมตร ทั้งหมด 3 ครั้ง ที่ระดับความสูง 3 เมตร 3 ครั้ง ซึ่งการจากศึกษาพบว่าที่ระดับความสูง 2 เมตร น้ำจะเริ่มซับตันที่อุณหภูมิเฉลี่ย 102.0 องศาเซลเซียส ภายในเวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมงของการทดลองสามารถสูบน้ำเฉลี่ย 70 ลิตร ใช้เวลาทำให้น้ำเดือดโดยเฉลี่ยประมาณ 15-20 นาที โดยใน 1 รอบของการทำงานใช้เวลา 5-6 นาที ในการสูบน้ำ 1 รอบ เติมเชื้อเพลิงชีวมวล 500 กรัมทุก 15 นาที มีประสิทธิภาพการปั้มน้ำเฉลี่ยของระบบ (η_p) เท่ากับ 0.00340% และที่ระดับความสูง 3 เมตร น้ำจะเริ่มซับตันที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในต้มน้ำที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส ภายในเวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมงของการทดลองสามารถสูบน้ำเฉลี่ย 70 ลิตร ใช้เวลาทำให้น้ำเดือดเวลาเฉลี่ยโดยประมาณ 15-20 นาที โดยภายใน 1 รอบของการทำงานใช้เวลาประมาณ 5-6 นาที ในการสูบน้ำที่ 1 รอบ ทำการเติมเชื้อเพลิงชีวมวล 500 กรัม ในเวลาทุก 15 นาที มีประสิทธิภาพการปั้มน้ำเฉลี่ยของระบบ (η_p) เท่ากับ 0.00480% ซึ่งประสิทธิภาพของระดับความสูง 2 เมตร และ 3 เมตร มีค่าแตกต่างกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสูงมีผลต่อประสิทธิภาพของการสูบน้ำเพราะในขณะที่ระดับความสูง 2 เมตร สูบน้ำได้จำนวน 70 ลิตร ที่ 3 เมตร ก็สูบน้ำได้ 70 ลิตร เช่นกันทั้งที่ความสูงต่างกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำคือความสูงในการหมุนเวียนน้ำ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความร้อนที่ป้อนให้ เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากชีวมวลสามารถใช้งานได้จริงแต่ระบบยังมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก หากสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้ โดยการออกแบบหม้อต้มน้ำร้อนให้พอดีกับขนาดเตาและหุ้มฉนวนทนความร้อน จะทำให้เครื่องสูบน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นที่นิยมใช้ของเกษตรกรได้

ในการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างการใช้ฮีตเตอร์ และชีวมวลจากไม้โกงกาง โดยฮีตเตอร์ใช้ขดลวดความร้อน 700 วัตต์ 3 ตัว สูบน้ำ 1 ชั่วโมง ใช้ไฟฟ้า 2.1 หน่วย หน่วยละ 4 บาท คิดเป็นเงินได้ 8.4 บาท สูบน้ำได้ 99 ลิตร แต่ชีวมวลจากไม้โกงกางหนัก 2 กิโลกรัม สูบน้ำ 1 ชั่วโมง คิดเป็นเงินได้ 20 บาท สูบน้ำได้ 70 ลิตร

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1 ควรเติมปริมาณอากาศในระบบเพื่อหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของเครื่องสูบน้ำ
- 2 ควรทดลองปรับความลึกในระดับต่างๆเพื่อหาความลึกสูงสุดในการสูบน้ำ
- 3 ควรทดลองใช้เชื้อเพลิงชีวมวลต่างๆ เพื่อหาค่าความร้อนที่ดีที่สุดในการเผาไหม้
- 4 ควรออกแบบถังต้มน้ำให้เกิดความเหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียความร้อน

บรรณานุกรม

- กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์, พิชัย นามประกาย และสมเกียรติ บุญนสะ. (2551). การศึกษาเชิงตัวแปรของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใหม่. การประชุมเสนอผลงานการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6, 118-124.
- กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์. (2551). พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์. (2557). การออกแบบและวิเคราะห์ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานความร้อน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จิรวัดน์ สิตรานนท์, พิชัย นามประกาย, ทวีวัฒน์ สุภารส, ณัฐพล รุ่งประแสง และนริศ ประทินทอง. (2553). การเพิ่มสมรรถนะระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำและอากาศ ที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6, 114-130.
- จิรวัดน์ สิตรานนท์. (2553). เครื่องสูบน้ำด้วยความร้อนจากกำลังไอน้ำแบบอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ซังเซ็ง เลียงจินดาถาวร. (2544). การศึกษาการสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยเทคนิคปั๊มฟอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- ณัฐพล รุ่งประแสง. (2551). ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยกำลังไอน้ำ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เทพฤทธิ์ หนูน้อย. (2552). การศึกษาความเป็นไปได้ของเครื่องสูบน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อนที่ใช้ฮีตเตอร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี, 2555, May 29, 2559 from <http://www.dede.go.th>
- พินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์. (2548). การวิจัยและการพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1, RE01-6.
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม(มพส.), 2557, November 27, 2558 from <http://www.efe.or.th>
- ศราวุธ อรุณแย้ม, พิชัย นามประกาย, นริส ประทินทอง, และศรายุทธ อรุณแย้ม. (2555). การศึกษาเครื่องสูบน้ำกำลังไอน้ำและอากาศเพื่อใช้กับน้ำใต้ดิน. งานประชุมวิชาการและแสดงผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 3, 435-447.
- อุษาวดี ตันติวรานุกษ์. (2543). พลังงานเบื้องต้น, 148-151.

ประวัติหัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - สกุล นางสาวกังสดาล สกุลพงษ์มาลี

Miss Kangsadan Sagulpongmalee

2. วัน เดือน ปีเกิด 19 กุมภาพันธ์ 2519 (เพื่อเก็บในฐานข้อมูลนักวิจัย)

3. รหัสประจำตัวนักวิจัย (ถ้ามี)

4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน ข้าราชการ พนักงาน บุคคลภายนอก

อาจารย์

() ชำนาญการ

() ผู้ช่วยศาสตราจารย์

() เชี่ยวชาญ

() รองศาสตราจารย์

() เชี่ยวชาญพิเศษ

() ศาสตราจารย์

() อื่นๆ (โปรดระบุ).....

5. สถานที่ทำงาน

หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

โทรศัพท์ 086-6361698 โทรสาร 032-414455

e-mail address: kangsadan_d@hotmail.com

ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 11/1 ตำบลสระพัง อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

โทร.086-6361698

6. ประวัติการศึกษา

- ปริญญาเอก

กำลังศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด)

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- ปริญญาโท

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม)

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2542 -2545
วิทยานิพนธ์เรื่อง นโยบายด้านงานวิจัยพลังงานทดแทน

- ปริญญาตรี

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.บ)

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พ.ศ. 2537 - 2541

วิทยานิพนธ์เรื่อง เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เงินเรเตอร์เป็น
สารดูดความชื้น

- มัธยมต้นและปลาย

โรงเรียนเบญจมเทพอุทิศ จ.เพชรบุรี พ.ศ.2531-2536

ประวัติผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ - สกุล นายปองพล รักการงาน

Mr. Pongphol Rakkanrane

2. วัน เดือน ปีเกิด 27 ธันวาคม 2520 (เพื่อเก็บในฐานข้อมูลนักวิจัย)

3. รหัสประจำตัวนักวิจัย (ถ้ามี)

4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน ข้าราชการ พนักงาน บุคคลภายนอก

อาจารย์

() ชำนาญการ

() ผู้ช่วยศาสตราจารย์

() เชี่ยวชาญ

() รองศาสตราจารย์

() เชี่ยวชาญพิเศษ

() ศาสตราจารย์

() อื่นๆ (โปรดระบุ).....

5. สถานที่ทำงาน

หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

โทรศัพท์ 089-2341387 โทรสาร 032-414455

e-mail address: ballkmutt8@hotmail.com

ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 53/91 หมู่3 ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี

โทร.089-2341387

6. ประวัติการศึกษา

- ปริญญาเอก

กำลังศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด)

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- ปริญญาโท

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม)

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2547 -2549

- ปริญญาตรี

ครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต (คอ.บ) เกียรตินิยมอันดับ 2

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2542 - 2544

- มัธยมต้นและปลาย

ปวช. สาขาวิชาช่างยนต์ โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ ช่างกล ขส.ทบ.

พ.ศ. 2536-2538

ปวส. สาขาวิชาช่างยนต์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ

พ.ศ. 2539-2540

7. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

- การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบความร้อน เทคโนโลยีโรงเรือน และการระบายอากาศ

และการถ่ายเทความร้อน

บทความวิชาการ ตีพิมพ์ในวารสารและนำเสนอในการประชุมวิชาการ:

“ ศิริชัย เทพา , ณรงค์ศักดิ์ สังขพิทักษ์ และ ปองพล รักการงาน , 2548, "การพัฒนาอุโมงค์เพื่อทดสอบผิวระเหย" การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวง ประจำปี 2548, 4 พฤศจิกายน 2548, โรงแรมเชียงใหม่ฮิลล์ อำเภอเมือง, เชียงใหม่,

ปองพล รักการงาน , ศิริชัย เทพา และ ณัฐ กาศยปนนันท์ , 2549, "การทดลองและวิเคราะห์สมบัติการส่งผ่านของวัสดุคลุมโรงเรือน" การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6, 13-14 ตุลาคม 2549, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 280.

“ปองพล รักการงาน, ศิริชัย เทพา, ณัฐ กาศยปนนันท์ และ เก้ากัญยา สุดประเสริฐ, 2549, "การวิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศผ่านวัสดุคลุมโรงเรือนโดยคำนวณพลศาสตร์ของไหล" การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวง ประจำปี 2549, 16-17 พฤศจิกายน 2549, กรีน เลค รีสอร์ท อำเภอเมือง, เชียงใหม่,

ปองพล รักการงาน, ศิริชัย เทพา, ณัฐ กาศยปนนันท์ และเก้ากัญยา สุดประเสริฐ, 2551, "การพัฒนาการวัดการส่งผ่านของแสงอาทิตย์สำหรับวัสดุคลุมโรงเรือน", การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9, 31 มกราคม -1 กุมภาพันธ์, โรงแรมอิมพีเรียล แม่ปิง, จ.เชียงใหม่

Pongphol Rakkanrane^{1,*}, Sirichai Thepa¹and Nat Kasayapanand., 2012, " Mathematical analysis of the air flow characteristics of greenhouse Screening materials ", The 13th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering , The International Conference on Agricultural Engineering “ Agro-Techno fusion for Global Sustainability ” April 4-5, 2012, The Imperial Mae Ping Hotel, Chiang Mai, Thailand,

Pongphol Rakkanrane^{1,*}, Sirichai Thepa¹and Nat Kasayapanand., 2012, " Study of flow Pattern and Temperature Distribution in Greenhouse temperature by Computanation fluid Dynamics Method ", The 13th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering , The International Conference on Agricultural Engineering “ Agro-Techno fusion for Global Sustainability ” April 4-5, 2012, The Imperial Mae Ping Hotel, Chiang Mai, Thailand,

ประวัติผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2

1. ชื่อ - สกุล นางสาวจutipพร อินทะนิน
Miss. Jutiporn Intanin
2. วัน เดือน ปีเกิด 28 กรกฎาคม 2527 (เพื่อเก็บในฐานข้อมูลนักวิจัย)
3. รหัสประจำตัวนักวิจัย (ถ้ามี)
4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน ข้าราชการ พนักงาน บุคคลภายนอก
 อาจารย์ () ชำนาญการ
 () ผู้ช่วยศาสตราจารย์ () เชี่ยวชาญ
 () รองศาสตราจารย์ () เชี่ยวชาญพิเศษ
 () ศาสตราจารย์ () อื่นๆ (โปรดระบุ).....
5. สถานที่ทำงาน
 หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 โทรศัพท์ 086-3974013 โทรสาร 032-414455
 e-mail address: gibsy_kmutt@hotmail.com
 ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 89/3 หมู่ 2 ต.จางชัย อ.เมือง จ.เพชรบุรี โทร.083-0352535
6. ประวัติการศึกษา
 - ปริญญาเอก กำลังศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด)
 สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
 วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 - ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม)
 สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2551 - 2552
 - ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ)
 สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2546 - 2549

ประวัติผู้ร่วมวิจัยคนที่ 3

1. ชื่อ - สกุล นายภาณุศักดิ์ มูลศรี

Mr. Panusak Moonsri

2. วัน เดือน ปีเกิด 13 พฤษภาคม 2526 (เพื่อเก็บในฐานะข้อมูลนักวิจัย)

3. รหัสประจำตัวนักวิจัย (ถ้ามี)

4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน ข้าราชการ พนักงาน บุคคลภายนอก

อาจารย์

() ชำนาญการ

() ผู้ช่วยศาสตราจารย์

() เชี่ยวชาญ

() รองศาสตราจารย์

() เชี่ยวชาญพิเศษ

() ศาสตราจารย์

() อื่นๆ (โปรดระบุ).....

5. สถานที่ทำงาน

หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

โทรศัพท์ 086-3974013 โทรสาร 032-414455

e-mail address: Panusak_13@hotmail.com

ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 175 บ้านโคกพรม ต.โนนไทย อ.โนนไทย จ.นครราชสีมา 30220

โทร.086-3974013

6. ประวัติการศึกษา

- ปริญญาเอก

กำลังศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด)

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- ปริญญาโท

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม)

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2549 - 2551

- ปริญญาตรี

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ)

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการทำความเย็นและปรับอากาศ คณะวิทยาลัย

เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2545 - 2548

- มัธยมต้นและปลาย

ปวช. สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ พ.ศ. 2542 - 2545

7. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

- การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบความร้อน การทำความเย็นและปรับอากาศ และการถ่ายเทความร้อน

บทความวิชาการ ตีพิมพ์ในวารสารและนำเสนอในการประชุมวิชาการ:

Panusak Moonsri^{1,*}, Pichai Namprakai and Janthana Kunchornrat, " The air volume affecting the number of pumping cycle of solar water pump system", The 13th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering , The International Conference on Agricultural Engineering “ Agro-Techno fusion for Global Sustainability ” April 4-5, 2012, The Imperial Mae Ping Hotel, Chiang Mai, Thailand.

Panusak Moonsri^{1,*}, Pichai Namprakai and Janthana Kunchornrat, " The solar water pump with auxiliary electric heater", The 13th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering , The International Conference on Agricultural Engineering “ Agro-Techno fusion for Global Sustainability ” April 4-5, 2012, The Imperial Mae Ping Hotel, Chiang Mai, Thailand.

Panusak Moonsri^{1,*}, Pichai Namprakai and Janthana Kunchornrat, “Development of a solar thermal water pump with air- water vapour”, The 26th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Proceedings of ECOS 2013, July 16-19, 2013, Guilin, China.

ประวัติที่ปรึกษาโครงการ

- 1.1 ชื่อ (ภาษาไทย) นายเจิมธง พรารณารักษ์
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Chermthong Prattanarak
- 1.2 หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3660100240100
- 1.3 ตำแหน่งบริหาร -
ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์
- 1.4 หน่วยงานที่สังกัด สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ที่อยู่ติดต่อได้สะดวก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ
เพชรบุรี 38 หมู่ 8 ถนนสายหาดเจ้าสำราญ-เพชรบุรี ต.นาบัว อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000 โทรศัพท์/โทรสาร 032-
414455 โทรศัพท์มือถือ 086-3263248
(e-mail) resonic9@hotmail.com
- 1.5 ประวัติการศึกษา
B.Eng. degree in Agricultural Engineering,
Suranaree University of Technology, 2001
M.Eng. degree in Mechanical Engineering,
Suranaree University of Technology, 2006
- 1.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Dynamic Control Systems
Applied Mechanics
Measuring and Experimental System
- 1.7 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ออกเผยแพร่ (บางส่วน)
Srisertpol J., Khajorntraidet C., and Prattanarak C. (2012). "Alternative Technique for DC Servo
Motor Control using Adaptive Load Torque Compensator." In International Conference on
Mechanics and Control Engineering, Hongkong.

WINAI TUMTHONG, PRASERTSIRI VARUNCHITTAPONGSA, JIRAPHON SRISERTPOL and CHERMDHONG PRATTANARAK. (2012). "Vibration Analysis of Pocket Slot Using Finite Element Method." In International Conference on System Modeling and Optimization (ICSMO 2012), Singapore, Vol. 23, P.38-43.

Srisertpol, J., Prattanaruk, Ch. (2008) "Adaptive Algorithms for Suppress Beam Vibration of Dual Cantilever mass Absorber (Lyapunov Stability)." In Advanced Problems in Mechanics-2008, July 6-10, 2008, Russian Academy of Sciences, Russia.

Prattanaruk, Ch., and Srisertpol, J. (2006) "Stiffness Adjustment of Dual Mass Cantilever Absorber for Suppress Vibration.", In The 20th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand, October 18-20, 2006, Nakhon Ratchasima, P.621-628.

Prattanaruk, Ch., and Srisertpol, J. (2005) "Active Vibration Absorber with Stiffness Adjustment", In The 5th National Symposium on Graduate Research, Thailand October 10-11, 2005, Bangkok.

Prattanaruk, C., and Srisertpol, J. (2004). "Synthesis algorithm of adaptive dynamics vibration absorber to suppress beam vibration." In Proceedings of the 8th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering. Nakhon Ratchasima.

เจิมธง พรารณารักษ์ และจิระพล ศรีเสริฐผล (2556). "การระบุเอกลักษณ์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยจีนเนติกอัลกอริทึม", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27, 16-18 ตุลาคม, จ.ชลบุรี.

ณัฐพล แผงตุ่น, เจิมธง พรารณารักษ์ (2556). "การออกแบบฉนวนการสั่นโดยวิธีความลาดชันปรับตัวได้", งานประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีวิจัยเพื่อแผ่นดินไทยที่ยั่งยืน ครั้งที่ 3, 3 สิงหาคม, จ.เพชรบุรี, หน้า 191-197.

ณิรวรรณ รัตนพันธ์, ชัยณรงค์ บุญขำ, เจิมธง พรารณารักษ์ (2556). "การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำด้วยระบบสปริงอากาศ", งานประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีวิจัยเพื่อแผ่นดินไทยที่ยั่งยืน ครั้งที่ 3, 3 สิงหาคม, จ.เพชรบุรี, หน้า 212-216.

โยธิน อู่อ่อน, กิตติ แก้วมณี, เจิมธง พรารณารักษ์ (2556). “ต้นแบบกลไกหมุนใบสำหรับกังหันลมแกนตั้งแบบใบหมุน”, งานประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีวิจัยเพื่อแผ่นดินไทยที่ยั่งยืน ครั้งที่ 3, 3 สิงหาคม, จ.เพชรบุรี, หน้า 259-263.

วัชรพันธ์ ศรีประภา, อธิธินันท์ ซ่อนกลิ่น, เจิมธง พรารณารักษ์ (2556). “ฟุนผลิตกระแสไฟฟ้าจากคลื่นทะเล”, งานประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีวิจัยเพื่อแผ่นดินไทยที่ยั่งยืน ครั้งที่ 3, 3 สิงหาคม, จ.เพชรบุรี, หน้า 268-272.

เจิมธง พรารณารักษ์, อุทัย ผ่องรัศมี, ณัฐพล แผงต่วน. (2556). “การระบุเอกลักษณ์ของระบบเชิงกลโดยวิธีความลาดชันปรับตัว.”, การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยราชภัฏเพชรบุรีวิชาการ “สืบสานภูมิปัญญา พัฒนาสู่อาเซียน”, 14-16 กุมภาพันธ์, จ.เพชรบุรี, หน้า 182-191.

ชามา สารพร, เจิมธง พรารณารักษ์, จิระพล ศรีเสริฐผล. (2555). “การชดเชยตัวแปรและลดสัญญาณรบกวนของโจโรสโคปราคาถูก”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 26, 24-27 ตุลาคม, จ. เชียงราย.

เจิมธง พรารณารักษ์ และ จิระพล ศรีเสริฐผล. (2549). “การปรับค่าความแข็งสปริงของตัวดูดซับการสั่นแบบคานมวลคู่เพื่อลดการสั่นของคาน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม, จ.นครราชสีมา.

เจิมธง พรารณารักษ์ และ จิระพล ศรีเสริฐผล. (2548). “การปรับแต่งค่าความแข็งสปริงของตัวดูดซับการสั่นแบบคานมวลคู่โดยวิธีการควบคุมแบบปรับตัว”, การประชุมเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร.

ก) การหาประสิทธิภาพปั๊มและประสิทธิภาพความร้อนที่ความสูง 2 เมตร 3 ครั้ง

การหาประสิทธิภาพปั๊มที่ 2 เมตร ครั้งที่ 1 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม ค่าความร้อน 30.01 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สูบน้ำได้ที่ 7 รอบการทำงานได้น้ำจำนวน 10 ลิตรต่อรอบ คำนวณหาประสิทธิภาพได้จากสมการที่ (2.2) และ (2.3) ดังนี้

$$\eta_p = \frac{NW_h}{H_{tot}} \times 100$$

$$w_h = v_c \times \rho_w \times g \times h$$

$$w_h = \frac{10}{1,000} \times 1,000 \times 9.81 \times 3$$

$$= 294.3 \text{ จูลต่อรอบ}$$

$$\eta_p = \frac{7 \times 294.3}{30.01 \times 2 \times 10^6} \times 100$$

$$= 0.00343\%$$

การหาประสิทธิภาพความร้อนที่ 2 เมตร ครั้งที่ 1 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม.และค่าความร้อน 30.01 เมกะจูลต่อรอบ สูบน้ำได้ที่ 7 รอบการทำงาน ได้น้ำทั้งหมด 70 ลิตร อุณหภูมิถึงเก็บน้ำ 43.21 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบ่อน้ำ 31.0 องศาเซลเซียส คำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนได้จากสมการ (2.4)

$$\eta_t = \frac{Q}{H_{tot}} \times 100$$

$$= 0.00596\%$$

การหาประสิทธิภาพปั๊มที่ 2 เมตร ครั้งที่ 2 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม ค่าความร้อน 30.18 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สูบน้ำได้ 7 รอบการทำงานได้น้ำจำนวน 10 ลิตรต่อรอบ คำนวณหาประสิทธิภาพได้จากสมการที่ (2.2) และ (2.3) ดังนี้

$$\eta_p = \frac{NW_h}{H_{tot}} \times 100$$

$$w_h = v_c \times \rho_w \times g \times h$$

$$= 294.3 \text{ จูลต่อรอบ}$$

$$w_h = \frac{10}{1,000} \times 1,000 \times 9.81 \times 3$$

$$\eta_p = \frac{7 \times 294.3}{30.18 \times 2 \times 10^6} \times 100$$

$$= 0.00341\%$$

การหาประสิทธิภาพความร้อนที่ 2 เมตร ครั้งที่ 2 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม และค่าความร้อน 30.18 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สูบน้ำได้ที่ 7 รอบการทำงาน ได้น้ำทั้งหมด 70 ลิตร อุณหภูมิถังเก็บน้ำ 44.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบ่อน้ำ 31.4 องศาเซลเซียส คำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนได้จากสมการ (2.4)

$$\eta_t = \frac{Q}{H_{tot}} \times 100$$

$$= 0.00631\%$$

การหาประสิทธิภาพปั๊มที่ 2 เมตร ครั้งที่ 3 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม และค่าความร้อน 30.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สูบน้ำได้ 7 รอบการทำงานได้น้ำจำนวน 10 ลิตรต่อรอบ คำนวณหาประสิทธิภาพได้จากสมการที่ (2.2) และ (2.3) ดังนี้

$$\eta_p = \frac{NW_h}{H_{tot}} \times 100$$

$$w_h = v_c \times \rho_w \times g \times h$$

$$w_h = \frac{10}{1,000} \times 1,000 \times 9.81 \times 3$$

$$= 294.3 \text{ จูลต่อรอบ}$$

$$\eta_p = \frac{7 \times 294.3}{30.5 \times 2 \times 10^6} \times 100$$

$$= 0.00337\%$$

การหาประสิทธิภาพความร้อนที่ 2 เมตร ครั้งที่ 3 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม และค่าความร้อน 30.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สูบน้ำได้ที่ 7 รอบการทำงาน ได้น้ำทั้งหมด 70 ลิตร อุณหภูมิถังเก็บน้ำ 40.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบ่อน้ำ 28.5 องศาเซลเซียส คำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนได้จากสมการ (2.4)

$$\eta_t = \frac{Q}{H_{tot}} \times 100$$

$$= 0.00590\%$$

ข) การหาประสิทธิภาพปั๊มและประสิทธิภาพความร้อนที่ความสูง 3 เมตร

การหาประสิทธิภาพปั๊มที่ 3 เมตร ครั้งที่ 1 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม. ค่าความร้อน 28.7 เมกะจูลต่อรอบ สูบน้ำได้ 7 รอบการทำงาน ได้น้ำจำนวน 10 ลิตรต่อรอบ คำนวณหาประสิทธิภาพได้ได้จากสมการที่(2.2) และ (2.3) ดังนี้

$$\eta_p = \frac{NW_h}{H_{tot}} \times 100$$

$$w_h = v_c \times \rho_w \times g \times h$$

$$w_h = \frac{10}{1,000} \times 1,000 \times 9.81 \times 4$$

$$\eta_p = \frac{\frac{392.4 \text{ จูลต่อรอบ}}{7 \times 392.4}}{28.7 \times 2 \times 10^6} \times 100$$

$$= 0.00478\%$$

การหาประสิทธิภาพความร้อนที่ 3 เมตรครั้งที่ 1 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม.และค่าความร้อน 28.7 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สูบน้ำได้ที่ 7 รอบการทำงาน ได้น้ำทั้งหมด 70 ลิตร อุณหภูมิถังเก็บน้ำ 46.42 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบ่อน้ำ 32.1 องศาเซลเซียส คำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนได้จากสมการ (2.4)

$$\eta_t = \frac{Q}{H_{tot}} \times 100$$

$$= 0.00731\%$$

การหาประสิทธิภาพปั๊มที่ 3 เมตรครั้งที่ 2 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม ค่าความร้อน 28.5 เมกะจูลต่อ กิโลกรัม สูบน้ำได้ 7 รอบการทำงานได้น้ำจำนวน 10 ลิตรต่อรอบ คำนวณหาประสิทธิภาพได้จาก สมการที่ (2.2) และ (2.3) ดังนี้

$$\eta_p = \frac{NW_h}{H_{tot}} \times 100$$

$$w_h = v_c \times \rho_w \times g \times h$$

$$w_h = \frac{10}{1,000} \times 1,000 \times 9.81 \times 4$$

$$= 392.4 \text{ จูลต่อรอบ}$$

$$\eta_p = \frac{7 \times 392.4}{28.5 \times 2 \times 10^6} \times 100$$

$$= 0.00481\%$$

การหาประสิทธิภาพความร้อนที่ 3 เมตรครั้งที่ 2 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม และค่าความร้อน 28.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สูบน้ำได้ที่ 7 รอบการทำงาน ได้น้ำทั้งหมด 70 ลิตร อุณหภูมิถังเก็บน้ำ 44.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบ่อน้ำ 31.0 องศาเซลเซียส คำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนได้จากสมการ (2.4)

$$\eta_t = \frac{Q}{H_{tot}} \times 100$$

$$= 0.00678\%$$

การหาประสิทธิภาพปั๊มที่ 3 เมตรครั้งที่ 3 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม ค่าความร้อน 27.8 เมกะจูลต่อ กิโลกรัม สูบน้ำได้ 7 รอบการทำงาน ได้น้ำจำนวน 10 ลิตรต่อรอบ คำนวณหาประสิทธิภาพได้จาก สมการที่ (2.2) และ (2.3) ดังนี้

$$\eta_p = \frac{NW_h}{H_{tot}} \times 100$$

$$w_h = v_c \times \rho_w \times g \times h$$

$$w_h = \frac{10}{1,000} \times 1,000 \times 9.81 \times 4$$

$$= 392.4 \text{ จูลต่อรอบ}$$

$$\eta_p = \frac{7 \times 392.4}{27.8 \times 2 \times 10^6} \times 100$$

$$= 0.0049\%$$

การหาประสิทธิภาพความร้อนที่ 3 เมตรครั้งที่ 3 น้ำหนักถ่าน 2 กิโลกรัม และค่าความร้อน 27.8 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สูบน้ำได้ที่ 7 รอบการทำงาน ได้น้ำทั้งหมด 70 ลิตร อุณหภูมิถังเก็บน้ำ 40.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบ่อน้ำ 31.2 องศาเซลเซียส คำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนได้จากสมการ (2.4)

$$\eta_t = \frac{Q}{H_{tot}} \times 100$$

$$= 0.00506\%$$