



## รายงานการวิจัย

การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าแบบบังคับการไหลเพื่อ  
ใช้ทำความสะอาดโรงเรือนปศุสัตว์ทดแทนสารเคมี  
(Solar - electric hot water production by flow controlling for  
chemical replacement in livestock house cleaning)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าแบบบังคับการไหลเพื่อ  
ใช้ทำความสะอาดโรงเรือนปศุสัตว์ทดแทนสารเคมี  
(Solar - electric hot water production by flow controlling for  
chemical replacement in livestock house cleaning)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เทวรัตน์ ตรีอำนาจ

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

อ. ดร.กระวี ตรีอำนาจ นายเกียรติศักดิ์ ใจโต

นางสาวคนธรรส ถินสูงเนิน นายเฉลิมชาติ เสาวรัง

นายกฤษดา สายแสง นายศักรินทร์ ปาปะเก

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2558 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร พาร์มมหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยและพัฒนาและสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2560



## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์แบบอัตโนมัติ เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 80°C ปริมาณ 150 ลิตร ต่อวัน สำหรับใช้ในโรงเรือนปศุสัตว์ ซึ่งได้สร้างระบบ ต้นแบบและทำการทดสอบที่โรงเรือนนมโค ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประกอบ ไปด้วยการศึกษา 2 ส่วน คือ ระบบต้นแบบขนาดเล็กและระบบต้นแบบจริง ผลการศึกษาพบว่า ระบบ ต้นแบบขนาดเล็กที่ใช้การควบคุมอัตโนมัติ ประกอบด้วยแผงรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์แบบราง พาราโบลา ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1,000 W ในถังน้ำ และปั้มน้ำ ทดสอบระบบด้วยการผลิตน้ำร้อน อุณหภูมิ 70°C ในช่วงเวลา 13.00 น. – 15.00 น. 3 แบบ คือ แบบใช้แสงอาทิตย์อย่างเดียว แบบ ทำงานร่วมกันอัตโนมัติ และแบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว พบว่าอุณหภูมิน้ำที่ได้จากระบบทำ ความร้อน และน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเฉลี่ยเป็น 68.2°C กับ 48.1°C, 70.3°C กับ 66.6°C และ 22.8°C กับ 67.5°C ตามลำดับ โดยที่การทำงานแบบทำงานร่วมกันอัตโนมัติ และแบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า เพียงอย่างเดียวใช้พลังงานไฟฟ้า 2,160 kJ และ 2,520 kJ ในเวลา 2 ชั่วโมงตามลำดับ ในส่วนของ ระบบต้นแบบ ติดตั้งรางพาราโบลา พื้นที่รับรังสี 24 m<sup>2</sup> ทำการทดสอบผลิตน้ำร้อนปริมาณ 150 ลิตร ในช่วงเวลา 8.30 - 16.30 น. ด้วยอัตราการไหล 6 9 และ 12 ลิตร/นาที พบว่า การบังคับให้น้ำไหลวน จากแผงกลับถัง มีค่าอัตราการทำความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.19 1.02 และ 0.91 kW ตามลำดับ และ ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.67 4.30 และ 4.01 ตามลำดับ การทดสอบโดยให้น้ำรับความร้อน เพียงรอบเดียว มีค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ 3.14 3.45 และ 6.70 kW และประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 13.46 14.50 และ 28.47 โดยที่ระบบแบบบังคับการไหลวนกลับของน้ำที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที สามารถทำอุณหภูมิได้สูงและเร็วที่สุด ภายหลังการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนร่วมระหว่างฮีตเตอร์ไฟฟ้า และแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่อัตราการไหลน้ำแบบไหลวน 6 ลิตร/นาที พบว่าลดการใช้พลังงานไฟฟ้า จาก 31,663 kJ ได้น้อยที่สุดเหลือ 13,794 kJ และเมื่อความร้อนของแผงรับแสงมีค่ามากพอซึ่งสามารถ ทำให้น้ำในถังเก็บมีอุณหภูมิสูงได้ถึง 58°C ที่เวลาประมาณ 14.30 น. คิดเป็นค่าประสิทธิภาพการลด การใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้สูงสุดร้อยละ 57.24

## Abstract

This research was the development of automatic hot water production by the solar-electric heater combination system. The 80°C and 150 liters of hot water produced from the prototype system use in the livestock house, university farm, Suranaree University of Technology. The research study consist of a small model system and the prototype system. The study found that the small model system with the parabolic solar trough collector, a 1,000 W of electric heater immersed in tank and water pump can automatically produces the hot water. Testing of 70°C hot water production at 13.00 PM – 15.00 PM of the day with the small model system in 3 cases, only solar energy, combination system and only electric heater energy found the average of water temperature in the collector and tank are 68.2°C and 48.1°C, 70.3°C and 66.6°C, 22.8°C and 67.5°C respectively. The combination system and only electric heater system consumed the energy at 2,160 kJ and 2,520 kJ in 2 hours respectively.

For the prototype system, the testing of a 24 m<sup>2</sup> of parabolic solar trough aperture area in 150 liters of hot water production at 8.30 AM – 16.30 PM with 6, 9 and 12 liter/min of water flow rate found that the forced circulating water from tank to collector give a power and efficiency in system at 1.19 kW, 1.02 kW and 0.91 kW and 6.67%, 4.30% and 4.01% respectively. The one pass of water flow through the collector with 6, 9 and 12 liter/min of water flow rate give a power and efficiency in system at 3.14 kW, 3.45 kW and 6.70 kW and 13.46%, 14.50% and 28.47% respectively. The highest and fastest increasing of water in tank temperature occur at water flow rate of 6 liter/min and the assisting of solar energy can reduces the electric energy of the system from 31,663 kJ to 13,794 kJ. The maximum water in tank temperature heated by solar collector is 58°C at 14.30 PM of the day and maximum percentage of energy reduction is 57.24%.

## สารบัญ

## หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 ตัวรับรังสีแบบไม่รวมรังสี (Non-Concentrating Collector).....	3
2.2 ตัวรับรังสีแบบรวมรังสี (Concentrating Collector).....	5
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การออกแบบระบบต้นแบบ .....	14
3.2 การทดสอบระบบต้นแบบ .....	22
3.3 สถานที่ทดสอบ.....	24
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	
4.1 ผลการทดสอบระบบต้นแบบขนาดเล็ก.....	25
4.2 ผลการทดสอบระบบต้นแบบจริง.....	33
4.3 การผลิตน้ำร้อนร่วมของระบบไฟฟ้าและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์.....	39
บทที่ 5 สรุปผลข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลวิจัย .....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	41
เอกสารอ้างอิง.....	42
ภาคผนวก	
เอกสารเผยแพร่งานวิจัย.....	44
ประวัติผู้วิจัย.....	51

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของระบบต้นแบบขนาดเล็ก .....	26
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย และความร้อนสะสมในระบบทำความร้อนด้วย ฮีตเตอร์ไฟฟ้าและแสงอาทิตย์ .....	32

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ .....	4
ภาพที่ 2.2 ตัวรับรังสีแบบ Hybrid PVT .....	4
ภาพที่ 2.3 ตัวรับรังสีแบบ Heliostat Field Collector .....	5
ภาพที่ 2.4 ตัวรับรังสีแบบจานพาราโบลา .....	6
ภาพที่ 2.5 ตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลา .....	6
ภาพที่ 3.1 ระบบการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าแบบบังคับการไหลเพื่อใช้ทำ ความสะอาดโรงเรือนปศุสัตว์ทดแทนสารเคมี .....	15
ภาพที่ 3.2 Flow Chart การทำงานของชุดควบคุมระบบต้นแบบ .....	17
ภาพที่ 3.3 ระบบขนาดเล็กที่ทดลองสร้างขึ้นเพื่อใช้ศึกษาข้อมูลขั้นต้นก่อน .....	18
ภาพที่ 3.4 ขนาดของระบบขนาดเล็กที่จะสร้างขึ้นมีความกว้างรวม 1.5 m ยาว 2.0 m .....	18
ภาพที่ 3.5 ชุดทดสอบขนาดเล็กที่สร้างขึ้น .....	19
ภาพที่ 3.6 แสดงแนวโฟกัสของท่อรับแสงสะท้อนจากแผ่นสะท้อนพาราโบลา .....	19
ภาพที่ 3.7 ขนาด Cord Focus และความยาวส่วนโค้ง (Arc length) ของพาราโบลาที่เลือกใช้ .....	20
ภาพที่ 3.8 รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์รับแสงทรงพาราโบลา .....	21
ภาพที่ 3.9 แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ของระบบต้นแบบ .....	21
ภาพที่ 3.10 ถังเก็บน้ำร้อนจากแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ .....	22
ภาพที่ 3.11 การวางระบบท่อ บั๊ม และการควบคุมระดับน้ำด้วยลูกลอย .....	22
ภาพที่ 3.12 เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย .....	23
ภาพที่ 3.13 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์และระบบผลิตน้ำร้อน .....	24
ภาพที่ 4.1 ระบบต้นแบบขนาดเล็กที่พัฒนาขึ้น .....	25
ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิและกำลังของระบบเมื่อใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวที่เวลาต่างๆ ของวัน .....	27
ภาพที่ 4.3 ความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ขณะเวลาต่างๆ กัน .....	28

ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิของน้ำในระบบและในถังเก็บน้ำเปรียบเทียบกับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ช่วงเวลาต่างๆ กัน .....	29
ภาพที่ 4.5 ความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ช่วงเวลา ต่างๆ กัน .....	29
ภาพที่ 4.6 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทให้กับน้ำ เปรียบเทียบกับความร้อนที่ส่งลงมาบน แผงรับรังสีดวงอาทิตย์.....	30
ภาพที่ 4.7 อุณหภูมิของน้ำในระบบและในถังเก็บน้ำเปรียบเทียบกับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ และการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลาต่างๆ กัน .....	31
ภาพที่ 4.8 พลังงานสะสมของการทำความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าและแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับ ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ .....	31
ภาพที่ 4.9 การใช้พลังงาน ช่วงเวลาต่างๆ ของระบบทำความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าและแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์.....	32
ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของ แสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที่ .....	33
ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของ แสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 9 ลิตร/นาที่.....	34
ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของ แสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 12 ลิตร/นาที่.....	34
ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์ ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที่ .....	35
ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์ ที่อัตราการไหล 9 ลิตร/นาที่ .....	35
ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์ ที่อัตราการไหล 12 ลิตร/นาที่.....	36
ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของ แสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที่ .....	36
ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของ แสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 9 ลิตร/นาที่.....	37
ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของ แสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 12 ลิตร/นาที่.....	37
ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์ ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที่.....	38



ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์  
ที่อัตราการไหล 9 ลิตร/นาที่..... 38

ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์  
ที่อัตราการไหล 12 ลิตร/นาที่..... 39

ภาพที่ 4.22 พลังงานไฟฟ้าที่ต้องจ่ายเพิ่มให้กับระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์..... 39

ภาพที่ 4.23 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของระบบ ..... 40



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การเลี้ยงปศุสัตว์ถือเป็นอาชีพที่มีความสำคัญกับประเทศไทยอย่างมาก เนื่องจากประเทศไทยมีการส่งออกปศุสัตว์ที่สำคัญรายหนึ่งของโลก มีมูลค่ามากกว่าหมื่นล้านบาทต่อปี และยังมีอัตราการขยายตัวของตลาดอย่างต่อเนื่อง มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์สามล้านหนึ่งแสนครัวเรือน (กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมปศุสัตว์, 2558) การเลี้ยงปศุสัตว์ในปัจจุบันนิยมทำในโรงเรือนปิดเพื่อควบคุมอุณหภูมิและโรคต่างๆ ของสัตว์ ซึ่งหากเกิดการแพร่ระบาดของโรคขึ้นจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่สัตว์และเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ จึงจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดโรงเรือนอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันการแพร่เชื้อในกลุ่มสัตว์ เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำผสมกับสารเคมีสำหรับฆ่าเชื้อโรคในการทำทำความสะอาดโรงปศุสัตว์ ทำให้มีสารเคมีที่ตกค้างในสัตว์และเข้าแพร่เข้าสู่มนุษย์โดยการบริโภคหรือสัมผัสสัตว์ได้ สารเคมีบางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตก่อให้เกิดโรคร้ายแรง ดังนั้นจึงหาวิธีการลดการใช้สารเคมีในการปศุสัตว์โดยการใช้ความร้อนทดแทน

การทำน้ำร้อนนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น การใช้ไฟฟ้า การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น การใช้ไฟฟ้าจัดว่าเป็นวิธีที่เกษตรกรสามารถใช้งานได้ง่ายที่สุด จากสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคเกษตรกรรมพบว่ามีการใช้ไฟฟ้าและน้ำมันสำเร็จภาพมากกว่า 3,900 ktoe ต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556) การผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง คิดเป็นร้อยละ 67.3 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2559) ซึ่งเป็นพลังงานสิ้นเปลืองที่มีการผันผวนของราคาไปตามภาวะเศรษฐกิจของโลกและอาจขาดแคลนในอนาคต อีกทั้งยังปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ดังนั้นพลังงานทดแทนจึงเป็นแหล่งพลังงานสำคัญเนื่องจากใช้แล้วไม่มีวันหมดหรือหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น แสงอาทิตย์ น้ำ ลม ชีวมวล และไฮโดรเจน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีข้อดีคือไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตั้งอยู่ในจังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์สูงเฉลี่ย 18.1 MJ/m<sup>2</sup>-day เหมาะสำหรับระบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถค้นพบได้ในระยะเวลาอันสั้นถึงแม้ว่ามีการลงทุนที่สูงกว่าระบบไฟฟ้า ข้อจำกัดของระบบนี้คือความสม่ำเสมอของแสงอาทิตย์ทำให้ระบบสามารถทำงานได้เฉพาะ

ในเวลาที่มีแสงเท่านั้นและประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงทำให้มีการแปรผันตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบคือมีการติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าให้ทำงานควบคู่ไปด้วยกัน แต่ยังคงแนวคิดเดิมคือใช้ระบบแสงอาทิตย์เป็นหลักและใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นหน่วยเสริมเท่านั้น ระบบนี้จะสามารถผลิตน้ำร้อนให้เพียงพอกับความต้องการใช้งานในโรงปศุสัตว์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าสำหรับโรงปศุสัตว์

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่สร้างเมื่อนำไปใช้กับโรงปศุสัตว์

## 1.3 ขอบเขตการดำเนินการวิจัย

1.3.1 ผลิตน้ำร้อนสำหรับใช้งานในโรงรีดนมภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.2 ออกแบบและติดตั้งระบบให้สามารถทำน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

1.3.3 มีการผลิตและเก็บน้ำร้อนปริมาตร 200 ลิตร ต่อวัน

1.3.4 ระบบทำน้ำร้อนใช้แผงรับแสงแบบรางพาราโบลาในช่วงเวลาที่มีแสงเพียงพอ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถลดการใช้ไฟฟ้าและภาระค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าเพื่อทำน้ำร้อนสำหรับใช้ในโรงรีดนม ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

Y. Tian a และ C.Y. Zhao (2013) ได้กล่าวถึงหลักการและประเภทของตัวรับรังสีอาทิตย์ว่า ตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนโดยถ่ายเทความร้อนให้แก่สารรับความร้อน (อาจเป็นอากาศ น้ำ น้ำมัน) ความร้อนที่สารรับความร้อนได้รับนั้นสามารถนำไปใช้ทำน้ำร้อนหรือทำความร้อนในครัวเรือน หรืออาจเก็บไว้ใช้ในภายหลังก็ได้เช่นกัน ตัวรับรังสีอาทิตย์สามารถแบ่งตามลักษณะการรวมแสงเป็น 2 ประเภทได้แก่

#### 2.1 ตัวรับรังสีแบบไม่รวมรังสี (Non-Concentrating Collector)

มีพื้นที่รับรังสีกับพื้นที่ดูดกลืนรังสีเป็นพื้นที่เดียวกัน ขณะที่แสงอาทิตย์ส่องลงมาตัวรับรังสีอาทิตย์จะสะท้อนและดูดกลืนรังสีเพื่อเพิ่มปริมาณความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (heat flux) และยังเป็น การช่วยเพิ่มประสิทธิภาพวัฏจักรคาร์โนอีกด้วย แบ่งออกได้ 3 ชนิด

##### 2.1.1 ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ

ตัวรับรังสีแบบนี้มีการติดตั้งที่ตำแหน่งตายตัว โดยทั่วไปประกอบด้วยแผ่นกระจกปิด ด้านบน แผ่นดูดกลืนรังสี ชั้นฉนวนกันความร้อน ท่อสำหรับสารรับความร้อนไหล และอื่นๆ กระจกสามารถใช้กระจกชั้นเดียวหรือหลายชั้น หรืออาจใช้วัสดุอื่นที่มีความสามารถในการส่งผ่านรังสีคลื่นสั้น ได้ดีและไม่ส่งผ่านรังสีคลื่นยาว การปิดแผ่นกระจกไม่เพียงลดการสูญเสียที่เกิดจากการพาความร้อน จากแผ่นดูดกลืนรังสีเท่านั้นแต่ยังช่วยลดการสูญเสียที่เกิดจากสภาวะเรือนกระจกอีกด้วย โดยกระจก ที่มีคุณสมบัติของเหล็กต่ำถือเป็นวัสดุที่ดีสามารถยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านได้ได้สูง ประมาณร้อยละ 0.85 ถึง 0.87 และไม่ยอมให้รังสีคลื่นยาวผ่าน แสดงดังภาพที่ 2.1

##### 2.1.2 ตัวรับรังสีแบบ Hybrid PVT

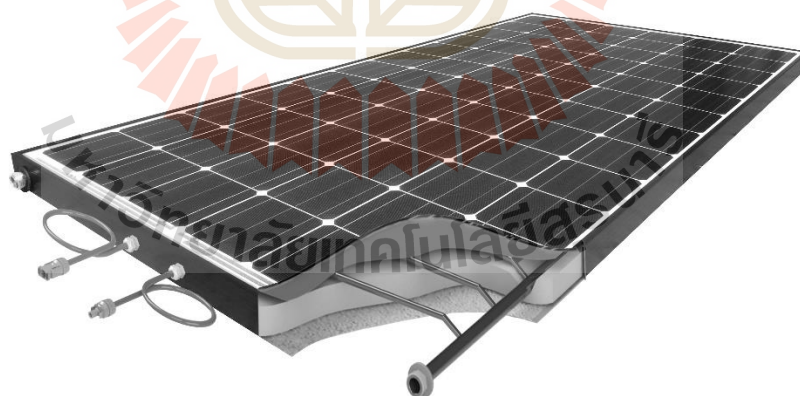
ตัวรับรังสีชนิดนี้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ได้ในเวลาเดียวกัน ประกอบด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ (Photo Voltaic, PV) ที่มีประสิทธิภาพร้อยละ 5 ถึง 20 และแผ่นดูดกลืนรังสีซึ่งวางอยู่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ช่วยลดความร้อนของ PV เพื่อให้คงสมรรถนะสูงในการผลิตไฟฟ้า และในขณะเดียวกันก็นำความร้อนที่ได้รับซึ่งเป็นความร้อน อุณหภูมิต่ำไปใช้ประโยชน์ เช่น ทำน้ำร้อนในครัวเรือน แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ  
ที่มา: Y. Tian a และ C.Y. Zhao (2013)

### 2.1.3 ตัวรับรังสีแบบ Enhanced hybrid PVT (or Bifacial PVT)

น้ำถือเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดสำหรับเป็นสารรับความร้อน ถือเป็นการเลือกที่ดีเนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติเชิงแสงที่ดีและมีค่าความจุความร้อนสูง ระบบนี้ใช้น้ำรับรังสีคลื่นยาวสำหรับนำมาผลิตเป็นความร้อน และใช้PVในการแปลงเป็นไฟฟ้า โดยระบบนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบ hybrid PVT ตัวรับรังสีชนิดนี้มีลักษณะคล้ายกับตัวรับรังสีแบบ Hybrid PVT

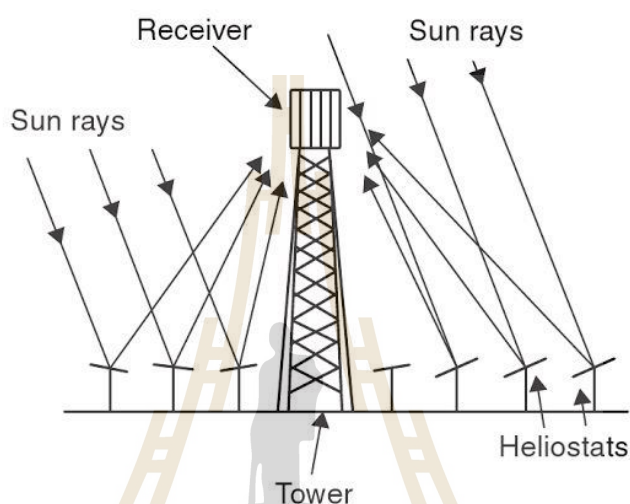


ภาพที่ 2.2 ตัวรับรังสีแบบ Hybrid PVT  
ที่มา: Y. Tian a และ C.Y. Zhao (2013)

## 2.2 ตัวรับรังสีแบบรวมรังสี (Concentrating Collector)

### 2.2.1 Heliostat Field Collector

ตัวรับรังสีประเภทนี้มีค่าอัตราส่วนการรวมรังสีสูงกว่าแบบไม่รวมแสง สามารถทำอุณหภูมิได้สูงกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพสูงตามไปด้วย ตัวรับรังสีชนิดนี้อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “Central Receiver Collector” ประกอบไปด้วยกระจกจำนวนมากที่สะท้อนแสงไปยังหอรับแสงอย่างแม่นยำโดยมีการปรับมุมตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์และมีประสิทธิภาพเชิงแสงสูง แสดงดังภาพที่ 2.3

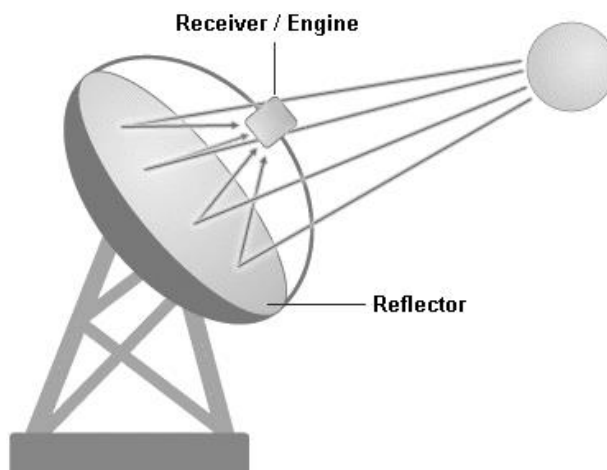


ภาพที่ 2.3 ตัวรับรังสีแบบ Heliostat Field Collector

ที่มา: Y. Tian a และ C.Y. Zhao (2013)

### 2.2.2 ตัวรับรังสีแบบจานพาราโบลา

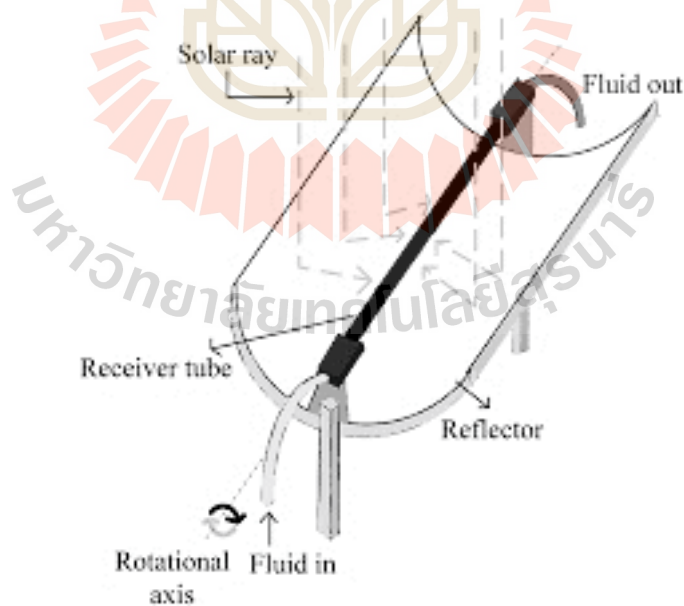
ใช้กระจกจำนวนมากประกอบเข้าด้วยกันให้เป็นภาพทรงจานสะท้อนแบบพาราโบลา (ลักษณะคล้ายดาวเทียม) ใช้หลักการรวมแสงไปยังจุดโฟกัสและถ่ายเทความร้อนให้กับสารรับความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและความดัน สามารถใช้ผลิตไอน้ำความดันสูงสำหรับผลิตไฟฟ้า ผลิตไอน้ำความดันปานกลางสำหรับการรีดและอัดผ้าในโรงงาน และไอน้ำความดันต่ำสำหรับระบบปรับอากาศของโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้า ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ตัวรับรังสีแบบจานพาราโบลา  
ที่มา: Y. Tian a และ C.Y. Zhao (2013)

### 2.2.3 ตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลา

สามารถรวมแสงอาทิตย์เป็นเส้นและทำอุณหภูมิได้สูงในช่วง 350 ถึง 400 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบสำคัญคือชุดสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรางพาราโบลา สะท้อนรังสีอาทิตย์ไปยังจุดรวมแสงที่มีลักษณะเป็นเส้น ทำจากท่อเหล็กสีดำสำหรับดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (มีท่อแก้วครอบอยู่เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน) ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลา  
ที่มา: Y. Tian a และ C.Y. Zhao (2013)



A. Fernández-García และคณะ (2010) ได้กล่าวถึงการผลิตน้ำร้อนด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรางพาราโบลา สำหรับการผลิตน้ำร้อนใช้ในครัวเรือนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส สามารถเลือกใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบซึ่งมีประสิทธิภาพเหมาะสมได้ อย่างไรก็ตามหากมีความต้องการใช้น้ำร้อนปริมาณมากก็จะต้องมีการใช้พื้นที่ติดตั้งตัวรับรังสีมาก ในกรณีข้างต้นตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลาจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจเพราะสามารถให้อุณหภูมิที่สูงกว่าและเพียงพอต่อการทำน้ำร้อนปริมาณมาก และหากต้องการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำสามารถนำไปผสมกับน้ำเย็นเพื่อปรับอุณหภูมิก่อนนำไปใช้งานได้ ตัวอย่างเช่น ทำน้ำร้อนสำหรับสระว่ายน้ำขนาดใหญ่สำหรับทำความร้อนภายในอาคารขนาดใหญ่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล อาคารเรียน อาคารผู้โดยสาร เป็นต้น

ข้อดีของระบบนี้คือมีการสูญเสียความร้อนต่ำ ประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อทำงานที่อุณหภูมิสูง ใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบน้อยเมื่อเทียบจากปริมาณความร้อนที่ได้รับกับระบบที่ใช้ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ และไม่มีความเสี่ยงต่อการเข้าสู่สถานะอุณหภูมิหยุดนิ่ง (Stagnation Temperature) เนื่องจากระบบควบคุมจะส่งสัญญาณไปยังตัวรับรังสีให้เปลี่ยนตำแหน่งการโฟกัส แต่มีข้อเสียคือ มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาสูงกว่าระบบอื่น ต้องทำความสะอาดอยู่เป็นประจำ ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ในการติดตั้ง ได้แก่ ความเร็วลม ลักษณะภูมิประเทศ

จากการรวบรวมข้อมูลทางสถิติพบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมเฉลี่ยของระบบมีค่าประมาณร้อยละ 40 ประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุดของระบบมีค่าประมาณร้อยละ 60 มีการคืนทุนในระยะเวลา 8 ปี และมีอายุการใช้งานถึง 30 ปี

Y. Tian a และ C.Y. Zhao (2013) กล่าวว่าระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำคัญ ได้แก่ ชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อน เครื่องสูบลม ระบบท่อน้ำ และชุดควบคุม โดยหากระบบมีขนาดใหญ่อาจมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น วาล์วป้องกันความดัน เครื่องทำน้ำร้อนเสริม (Heater) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermometer) มีการคำนวณสมดุลพลังงานความร้อนได้แก่

พลังงานที่แผงรับรังสีอาทิตย์ คำนวณได้ดังสมการที่ 2.1

$$Q_u = \dot{m}C_p (T_{co} - T_{ci}) \quad (2.1)$$

เมื่อ  $Q_u$  คือ ความร้อนนำไปใช้ประโยชน์ (kW)  
 $\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำในท่อ (kg/s)



- $C_p$  คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ  $4.18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$   
 $T_{CO}$  คือ อุณหภูมิของน้ำขาออกจากแผงรับรังสี (K)  
 $T_{CI}$  คือ อุณหภูมิของน้ำขาเข้าสู่แผงรับรังสี (K)

พลังงานที่ถึงเก็บน้ำร้อน คำนวณได้ดังสมการที่ 2.2

$$Q_u - L - (UA)_s (T_s - T_A) = (mC_p)_s \frac{dT_s}{dt} \quad (2.2)$$

- เมื่อ  $L$  คือ ความร้อนที่สูญเสีย (kW)  
 $U$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนรวม ( $\text{kW/m}^2\cdot\text{K}$ )  
 $A$  คือ พื้นที่ผิวรวมของถังเก็บน้ำร้อน ( $\text{m}^2$ )  
 $T_s$  คือ อุณหภูมิของถังเก็บน้ำร้อน (K)  
 $T_A$  คือ อุณหภูมิของพื้นผิวด้านนอก (K)  
 $m$  คือ มวลของน้ำในถังเก็บ (kg)  
 $t$  คือ เวลา (s)

พลังงานที่เครื่องทำน้ำร้อนเสริม (Heater) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$Q_{ELEC} = \dot{m}C_p (T_{LS} - T_s) \quad (2.3)$$

- เมื่อ  $Q_{ELEC}$  คือ ความร้อนของ Heater (kW)  
 $T_{LS}$  คือ อุณหภูมิของน้ำหลังทำความร้อน (K)  
 $T_s$  คือ อุณหภูมิของน้ำก่อนทำความร้อน (K)

และค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนของแผ่นดูดกลืนรังสี(กรณีวางเอียงทำมุม  $14^\circ$ ) มีค่าเท่ากับ 0.75

Govindaraj Kumaresan และคณะ (2012) ทำการศึกษาศักยภาพของระบบแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรางพาราโบลาที่ใช้ผลิตความร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการทำความร้อน โดยทำการออกแบบและทดสอบระบบที่ใช้แผงรับแบบรางพาราโบลาขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 2.5 เมตร จำนวน 6 แผง มีพื้นที่รับแสงรวม 7.5 ตารางเมตร ประกอบเข้ากับท่อดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทำจาก Stainless steel ทาด้วยสีดำเพื่อเพิ่มปริมาณการดูดกลืนรังสี ครอบด้วยท่อแก้วเพื่อป้องกันการสูญเสียจากการ

แผงรังสีความร้อนและการพาความร้อนโดยอากาศภายนอก ทำการทดสอบที่ Anna University ซึ่งตั้งอยู่ทางตอนใต้ของประเทศอินเดีย (ลองจิจูด 80.21 ละติจูด 13.01) วางแผงรับรังสีขนานกับทิศเหนือ-ใต้ เพื่อรับรังสีทางทิศตะวันออก-ตะวันตก สามารถปรับมุมของตัวรับรังสีได้โดยใช้มอเตอร์กระแสสลับขนาด 1.5 kW ความเร็วรอบ 960 rpm มีการคำนวณและออกแบบให้ปรับมุมด้วยอัตรา 25 องศา/นาที ถึงเก็บทรงกระบอกแนวตั้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 550 มิลลิเมตร สูง 1,100 มิลลิเมตร หุ้มฉนวนกันความร้อนหนา 15 มิลลิเมตร ที่ทำจากใยแก้วและปิดทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมอีกชั้นหนึ่ง ภายในถังใช้เก็บ Therminol 55 ซึ่งเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อนปริมาณ 230 L นอกจากนี้ยังมีการหุ้มฉนวนหนา 10 มิลลิเมตรที่ท่อส่งภายในระบบและการทดสอบรอยรั่วตามรอยต่อต่างๆด้วย

การทดสอบสมรรถนะของระบบ มีการคำนวณหลายตัวแปรด้วยกันได้แก่ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนโดยรวมของระบบ ปริมาณความร้อนที่แผงรับรังสีอาทิตย์ ปริมาณความร้อนในถังเก็บ (Charging Efficiency) และประสิทธิภาพของตัวรับรังสี (Overall Efficiency) ดังสมการที่ 2.4 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

$$E_c = \dot{m} [C_p (T_o - T_i)_{j+1} + C_p (T_o - T_i)] \times 3600 \quad (2.4)$$

เมื่อ  $E_c$  คือ ปริมาณความร้อนที่แผงรับรังสีอาทิตย์ (kW)  
 $\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำในท่อ (kg/s)  
 $T_o$  คือ อุณหภูมิของน้ำขาออกจากแผงรับรังสี (K)  
 $T_i$  คือ อุณหภูมิของน้ำขาเข้าสู่แผงรับรังสี (K)

$$E_s = m C_{p,HTF} (T_{st,j+1} - T_{st}) \quad (2.5)$$

เมื่อ  $E_s$  คือ ความร้อนในถังเก็บน้ำร้อน (kJ)  
 $m$  คือ มวลของน้ำในถังเก็บ (kg)  
 $C_{p,HTF}$  คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำในหน่วย kJ/kg·K  
 $T_{st,j+1}$  คือ อุณหภูมิของน้ำช่วงเวลาถัดไป (K)  
 $T_{st}$  คือ อุณหภูมิของน้ำช่วงเวลาปัจจุบัน (K)

$$\eta_{\text{coll}} = \frac{Q_u}{A_a \times I} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $\eta_{\text{coll}}$  คือ ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์  
 $A_a$  คือ พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ ( $\text{m}^2$ )  
 $I$  คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ ( $\text{w}/\text{m}^2$ )

ทำการทดสอบและประเมินสมรรถนะของระบบในวันที่มีแดดจ้า สรุปผลได้ว่าประสิทธิภาพของระบบที่ใช้แผงรับรังสีแบบรางพาราโบลาคือขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่ส่องมายังแผงรับรังสีอาทิตย์และปริมาณความร้อน ทั้งสองตัวแปรถือเป็นตัวแปรสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ โดยประสิทธิภาพสูงสุดของระบบมีค่าเท่ากับร้อยละ 62.5 เกิดขึ้น ณ เวลา 12.00 น. และหลังจากเวลา 14.00 น. ไม่แนะนำให้ใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยแผงรับรังสีเนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนสูงกว่าปริมาณความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยในถังเก็บมีค่าลดลง

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Irving Eleazar Perez Montes และคณะ (2014) ทำการออกแบบระบบทำความร้อนด้วยตัวรับรังสีแบบรางพาราโบล่าให้สามารถติดตั้งได้ง่ายและมีราคาถูก โดยออกแบบระบบสำหรับทำงานในประเทศเม็กซิโก วันที่แดดจ้า ตัวแปรที่ใช้ออกแบบได้แก่ ปริมาณน้ำที่ต้องการ อัตราการไหลของน้ำ ขนาดของตัวรับรังสี ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำตัวรับและสะท้อนรังสีซึ่งมีขนาดกว้าง 1.6 เมตร ยาว 2.44 เมตร มีพื้นที่รับรังสี 3.79 ตารางเมตร ทำจากอลูมิเนียมเพื่อลดน้ำหนักและเพิ่มความแข็งแรง นอกจากนี้ยังถูกกักความร้อนได้ยากและดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้น้อยกว่าวัสดุชนิดอื่น ท่อดูดกลืนรังสีเป็นท่ออลูมิเนียมครอบด้วยท่อแก้วอีกชั้นหนึ่งเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากการพาให้กับบรรยากาศรอบข้าง มีการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยสำหรับปรับมุมของตัวรับรังสี ประกอบด้วยชุดเฟือง มู่เล่และสายพาน ล้อชุดกำลัง ซึ่งใช้พลังงานต่ำ ประมาณ 0.3 W สามารถปรับมุมได้ละเอียด 0.01 องศา ระบบนี้เหมาะกับวันที่มีปริมาณรังสีอาทิตย์สูงกว่า  $19 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  อัตราการไหลของน้ำเป็น 0.5 ลิตรต่อวินาที ปริมาณน้ำ 0.3 ลูกบาศก์เมตร พบว่าสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 80 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 60

คนธรส ถินสูงเนิน และคณะ (2015) ทำการศึกษาพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ออกแบบให้ระบบทำน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้ตัวรับรังสีแบบรางพาราโบล่าที่มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 3 ตารางเมตร ท่อดูดกลืนรังสีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2/8 นิ้ว มีน้ำเป็นสารรับความร้อนในระบบ อัตราการไหล 120 ลิตร/นาที่ พร้อม

ทั้งติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าสำหรับเป็นหน่วยเสริมในการทำความร้อน ติดตั้งและทดสอบระบบที่โรงรีดนม ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี จ.นครราชสีมา ระบบสามารถทำน้ำร้อนโดยใช้ระบบพลังงาน แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวได้อุณหภูมิเฉลี่ย 68.2 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการ ออกแบบตัวรับรังสีอาทิตย์ที่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงพัฒนาต่อไป

จีรพงศ์ ศรีวิชัย และ คมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ (2556) นำเสนอการพัฒนาเครื่องทำน้ำอุ่น พลังงานร่วมรังสีอาทิตย์-ไฟฟ้า โดยเลือกใช้ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 1.5 ตาราง เมตร ด้านบนปิดด้วยกระจกนิรภัย แผ่นดูดรังสีทำจากแผ่นอลูมิเนียมพ่นด้วยสีดำ ท่อดูดกลืนรังสีทำ ด้วยสีดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 23.5 มิลลิเมตร ใช้น้ำเป็นสื่อถ่ายเทความร้อน 3.5 ลิตรต่อนาทีสำหรับ ความร้อน และหุ้มฉนวนความร้อนไมโครไฟเบอร์แบบติดอลูมิเนียมพอยล์ สามารถทนอุณหภูมิได้ 120 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการคือ 70 องศาเซลเซียส ทดสอบที่จังหวัดสกลนคร ได้ผล ว่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 – 16.00 น. ซึ่งมีความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  น้ำร้อนมี อุณหภูมิเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส

F. Sahnoune และคณะ (2014) ทำการศึกษาระบบทำความร้อนและน้ำร้อนในครัวเรือน โดยเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบทำที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และระบบที่กันทั่วไป ใช้บ้านต้นแบบในเมือง Tizi-Ouzou อยู่ทางตอนใต้ของประเทศแอลจีเรีย มี ลักษณะภูมิอากาศหนาวและร้อนรุนแรง ภายในบ้านมีพื้นที่ 60.80 ตารางเมตร มีความต้องการใช้ พลังงานในการปรับอากาศและทำน้ำร้อนระหว่างฤดูหนาว 7,912 kWh ส่วนใหญ่ใช้สำหรับการปรับ อากาศ นำมาใช้ทำน้ำร้อนเพียงร้อยละ 7 เท่านั้น พบว่าประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ครึ่งหนึ่ง จากเดิมเมื่อหันมาใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และยังลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 2.09 ตันต่อสัปดาห์

อย่างไรก็ตามบทความที่ได้นำเสนอข้างต้นยังมีข้อจำกัดในด้านต่างๆที่แตกต่างกัน คือ สภาพ ภูมิประเทศของแต่ละพื้นที่ ซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวแปรที่สำคัญนั่นก็คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ สภาพ ภูมิอากาศของแต่ละประเทศที่มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิแวดล้อมอันส่งผลต่อศักยภาพในการ ผลิตและสูญเสียความร้อน นอกจากความสามารถในการผลิตน้ำร้อนของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วยังมีการสรุปอีกด้วยว่า สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นมลพิษต่อโลก และยังทำการ สืบค้นข้อมูลในการทำความสะอาดอุปกรณ์รีดนมและการทำลายเชื้อโรค ดังนี้

เวชกรรมป้องกัน (พ.ศ.2552) ได้กล่าวถึงวิธีการทำลายเชื้อโรคไว้ว่า สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือการทำลายเชื้อโรคทางฟิสิกส์ (Physical Disinfectant) และการทำลายเชื้อโรคโดยใช้ สารเคมี (Chemical Disinfectant)

การทำลายเชื้อโรคทางฟิสิกส์ หมายถึงการทำมาสะอาด เช่น การกวาด การถู การทำให้แห้ง การผึ่งแดด โดยแสงอาทิตย์มีรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งมีคุณสมบัติเป็นยาฆ่าเชื้อโรค และการใช้ความร้อนจากแหล่งอื่นๆ เป็นต้น การใช้ความร้อนที่สูงมากยิ่งทำลายเชื้อโรคได้ดี แบ่งเป็นชนิดความร้อนแห้งและความร้อนชื้น ซึ่งความร้อนชื้นได้รับความนิยมมากกว่าเนื่องจากสามารถทำลายเชื้อโรคได้ดีกว่า เช่น การต้มเครื่องมือ สามารถทำลาย Vegetative form ของแบคทีเรีย หากต้องการทำลายสปอร์ของแบคทีเรียสามารถทำได้โดยต้มให้เดือดเป็นเวลานาน การพาสเจอร์โรซันน้ำนม ใช้ความร้อน 71 – 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรควัณโรคและบรูเซลโลซิสได้ เป็นต้น

การทำลายเชื้อโรคโดยใช้สารเคมี คือการให้ยาฆ่าเชื้อโรคสัมผัสกับเชื้อโรคส่งผลให้เชื้อโรคนั้นตาย สารเคมีที่นิยมใช้กันมาก เช่น ครีโซล(Cresol) ไลโซล(Lysol) ฮาโลเจน(Halogen) แอมโมเนีย คอมพาวด์ โซเดียมคาร์บอเนต สารแอมโมเนียคอมพาวด์นิยมทำเป็นสารละลายเจือจางใช้สำหรับล้างเต้านมและหัวนมของแม่โคก่อนการรีดนม อุปกรณ์และเครื่องมือในฟาร์มโคนม โซเดียมคาร์บอเนตนิยมทำเป็นสารละลายเจือจาง 4% ในน้ำร้อน ใช้สำหรับล้างโรงเรือน อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ให้ผลดีมากในการทำลายเชื้อไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคปากและเท้าเปื่อย โรคอหิวาต์สุกร และโรคพอว์ทโทสท์

อรัญ จันทร์ลุน (พ.ศ.2554) ได้กล่าวว่า การล้างอุปกรณ์รีดนมที่ถูกต้องจะช่วยลดการสะสมของแบคทีเรียโดยเฉพาะอุปกรณ์ที่สัมผัสกับน้ำนม หากล้างทำความสะอาดและบำรุงรักษาไม่เหมาะสมจะเป็นแหล่งกักเก็บและเพิ่มจำนวนของเชื้อแบคทีเรียส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำนมที่ผลิตได้ ทำให้มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียในน้ำนมสูง มีภาพแบบการทำมาสะอาดที่ถูกต้อง ดังนี้

การล้างคราบไขมันและโปรตีน จะต้องทำทันทีหลังจากการรีดนม สารเคมีที่ใช้ในการทำมาสะอาดจะต้องมีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น น้ำยาล้างจาน สารละลายโซดาไฟ เป็นต้น และหากใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 60 ถึง 80 องศาเซลเซียส ร่วมด้วยจะทำให้ประสิทธิภาพในการล้างทำมาสะอาดเพิ่มขึ้น

การล้างคราบหินปูนและตะกอนน้ำนม เป็นการล้างคราบที่เกิดจากการสะสมของแร่ธาตุที่อยู่ในน้ำนมและน้ำที่ใช้ล้างอุปกรณ์ การล้างทำมาสะอาดสารเหล่านี้ต้องใช้สารที่มีฤทธิ์เป็นกรด และต้องทำมาสะอาดอย่างสม่ำเสมอตามระยะเวลาที่กำหนด ทั้งนี้การกำหนดระยะเวลาขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ จำนวนแม่โค และปัจจัยอื่นๆของแต่ละฟาร์ม

การเชื่อมอุปกรณ์ในสารละลายโซดาไฟ เป็นการล้างทำความสะอาดคราบน้ำมันที่เป็นไขมันและโปรตีนที่สะสมอยู่ตามรอยแตกของยางรีดนมและข้อต่อต่างๆ ข้อควรระวัง ห้ามนำอุปกรณ์ที่เป็นพลาสติกลงในโซดาไฟเพราะจะทำให้อายุการใช้งานลดลง ใช้ผ้าสะอาดเช็ดก็เพียงพอ

การใช้คลอรีนล้างทำความสะอาดอุปกรณ์รีดนม ถือเป็นทางเลือกเชื้อโรคทางหนึ่งโดยต้องใช้ความเข้มข้นของคลอรีนที่เหมาะสม ระดับความเข้มข้นต่ำสุดของคลอรีนที่มีฤทธิ์สามารถฆ่าเชื้อโรคได้คือ 50 ppm

การล้างท่อสุญญากาศ ควรล้างทำความสะอาดอย่างน้อยทุก 6 เดือน หรือทันทีที่มีน้ำมันไหลเข้าไปภายในท่ออันเนื่องมาจากนมล้นถึงรีดนมหรือถึงลัมในขณะรีดนม น้ำมันที่ไหลเข้าไปจะก่อให้เกิดความสกปรกและขัดขวางการไหลภายในท่อ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องรีดนมลดลง การเลือกใช้สารเคมีขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำ เช่น ถ้าต้องการล้างคราบไขมันที่ยังไม่แห้งสนิทสามารถล้างด้วยน้ำสะอาด แต่หากต้องการล้างคราบไขมันและโปรตีนที่อยู่ในน้ำมันควรใช้สารที่เป็นด่าง เช่น สารละลายโซดาไฟ เป็นต้น โดยน้ำที่ใช้ล้างต้องมีอุณหภูมิ 60 ถึง 80 องศาเซลเซียส





## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 การออกแบบระบบต้นแบบ

ผลจากการศึกษาข้อมูลที่เป็นต้องใช้ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ช่วยในการออกแบบดังนี้

#### 3.1.1 ส่วนประกอบของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

3.1.1.1 ชุดแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar collector) เป็นอุปกรณ์ที่รับรังสีจากดวงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนรังสีดังกล่าวให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อน มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่

- อุปกรณ์รับและรวมแสง (Concentrator) ทำหน้าที่ในการรับและรวมแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ความเข้มแสงสูงกว่าความเข้มแสงในบรรยากาศรอบข้างปกติ

- อุปกรณ์รับพลังงาน (Receiver) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากรังสีอาทิตย์ซึ่งได้รับจากการรวมรังสีให้เป็นพลังงานความร้อน

3.1.1.2 ถังเก็บน้ำร้อน (Hot water tank) ทำขึ้นด้วยสแตนเลสเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและออกแบบเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนออกไปจากระบบ ควรติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิภายในถัง และบริเวณก้นถังควรมีการติดตั้งวาล์วสำหรับระบายน้ำทิ้งเพื่อใช้ในการทำความสะอาดถังเก็บน้ำร้อน สำหรับปริมาณการใช้น้ำร้อนของอาคารรีดนม ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลการศึกษาพบว่าต้องการน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 80°C ปริมาณ 60 ลิตรต่อวัน สำหรับกิจกรรมขงนมเลี้ยงลูกวัว และการฉีดล้างทำความสะอาดเครื่องมือและพื้นโรงเรือน ซึ่งคาบเวลาการใช้น้ำเป็นช่วงเช้าก่อน 12.00 น. และช่วงบ่ายในบางครั้ง ดังนั้นจึงต้องออกแบบถังเก็บน้ำร้อนออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 สำหรับการผลิตน้ำร้อนด้วยความสามารถของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งติดตั้งอยู่ภายนอกอาคารใกล้กับชุดรวมแสง และ ชุดที่ 2 สำหรับรับน้ำร้อนจากถังชุดแรกมาเก็บและเพิ่มอุณหภูมิของน้ำด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้า ในกรณีความสามารถของแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ไม่สามารถทำอุณหภูมิของน้ำได้ตามความต้องการใช้งาน

3.1.1.3 เครื่องสูบล (Pump) ทำหน้าที่สร้างแรงดันภายในระบบให้สูงขึ้น จำนวน 2 ตัว คือ ตัวที่ 1 สำหรับการส่งน้ำจากถังเก็บไปยังแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์เพื่อรับพลังงานความร้อนและไหลกลับถัง และตัวที่ 2 สำหรับการส่งน้ำร้อนจากถังที่ 1 ไปยังถังที่ 2 เพื่อการเพิ่มความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าและจ่ายออกสู่การใช้งานในโรงเรือนต่อไป

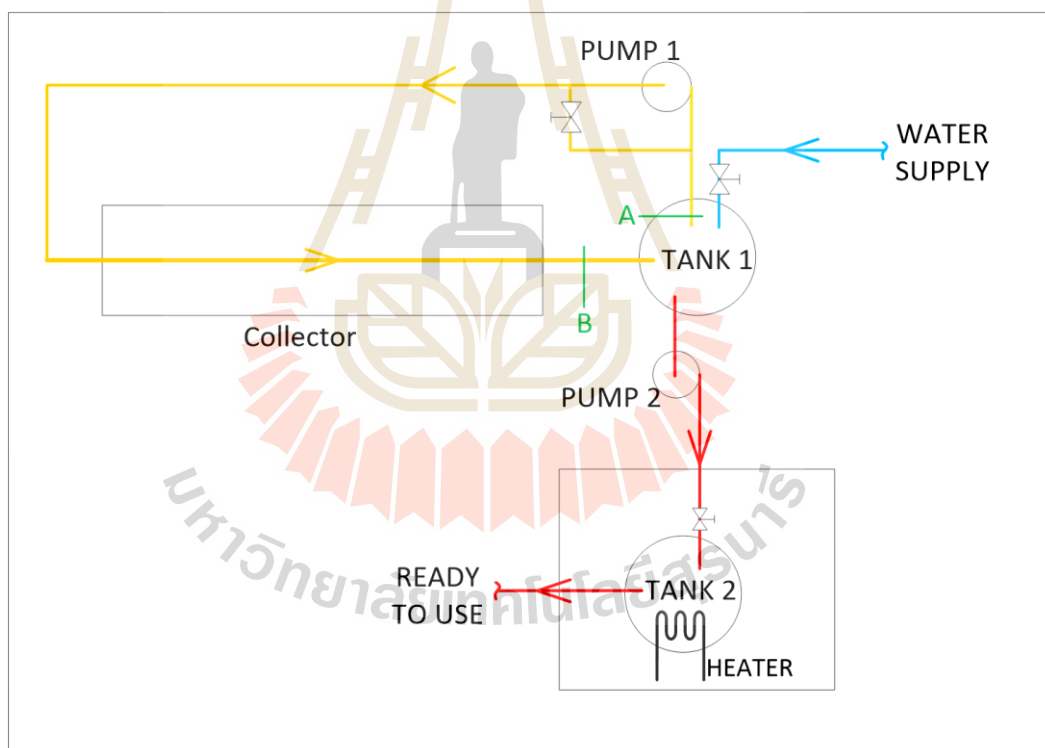
3.1.1.4 ระบบท่อน้ำร้อน ท่อที่ใช้กับระบบน้ำร้อนเป็นท่อเหล็กกล้าไวไนซ์ เนื่องจากสามารถทนทานต่อแรงดันในระบบที่สูงได้และยังทนทานต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์ได้ดีด้วย ออกแบบให้ระบบท่อน้ำร้อนมีการหุ้มฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนตลอดแนว

3.1.1.5 ชุดควบคุม (Controller) ทำหน้าที่ในการควบคุมระบบการทำงานของแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ ปั๊มน้ำตัวที่ 1 และถังเก็บน้ำร้อนชุดที่ 1 ให้สัมพันธ์กับการทำงานของปั๊มน้ำตัวที่ 2 ถังเก็บน้ำร้อนชุดที่ 2 และฮีตเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้ค่าอุณหภูมิของแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ น้ำในถังชุดที่ 1 และถังชุดที่ 2 เป็นสัญญาณในการควบคุม

3.1.1.6 เครื่องทำน้ำร้อนเสริม (Heater) ใช้ผลิตน้ำร้อนเสริมในระบบเมื่อระบบทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตน้ำร้อนได้ตามที่ต้องการ อุปกรณ์นี้มีหลายชนิดสามารถเลือกใช้งานได้ตามลักษณะการใช้งาน

### 3.1.2 การออกแบบระบบต้นแบบ

ระบบการทำงานของต้นแบบระบบการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าแบบบังคับการไหลเพื่อใช้ทำความสะอาดโรงเรือนปศุสัตว์ทดแทนสารเคมี มีรายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ระบบการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าแบบบังคับการไหลเพื่อใช้ทำความสะอาดโรงเรือนปศุสัตว์ทดแทนสารเคมี

ระบบประกอบไปด้วย ถังเก็บน้ำจำนวน 2 ใบ คือ Tank 1 และ Tank 2 ปั๊มน้ำจำนวน 2 ตัว คือ Pump 1 และ Pump 2 และแผงรับรังสีอาทิตย์ คือ Collector การทำงานของระบบเริ่มต้นจาก



น้ำประปา (Water Supply) ถูกปั๊มเข้าสู่ถัง Tank 1 ซึ่งมีขนาดความจุ 150 ลิตร โดยใช้ วาล์วกลุกลอยในการควบคุมระดับน้ำในถังให้คงที่ จากนั้นชุดควบคุมทำการเปรียบเทียบค่าจากเซนเซอร์ที่วัดค่าอุณหภูมิของน้ำในถังและเซนเซอร์ที่วัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งรวมแสงของแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ เพื่อทำการตรวจสอบและตัดสินใจในกรณีดังต่อไปนี้

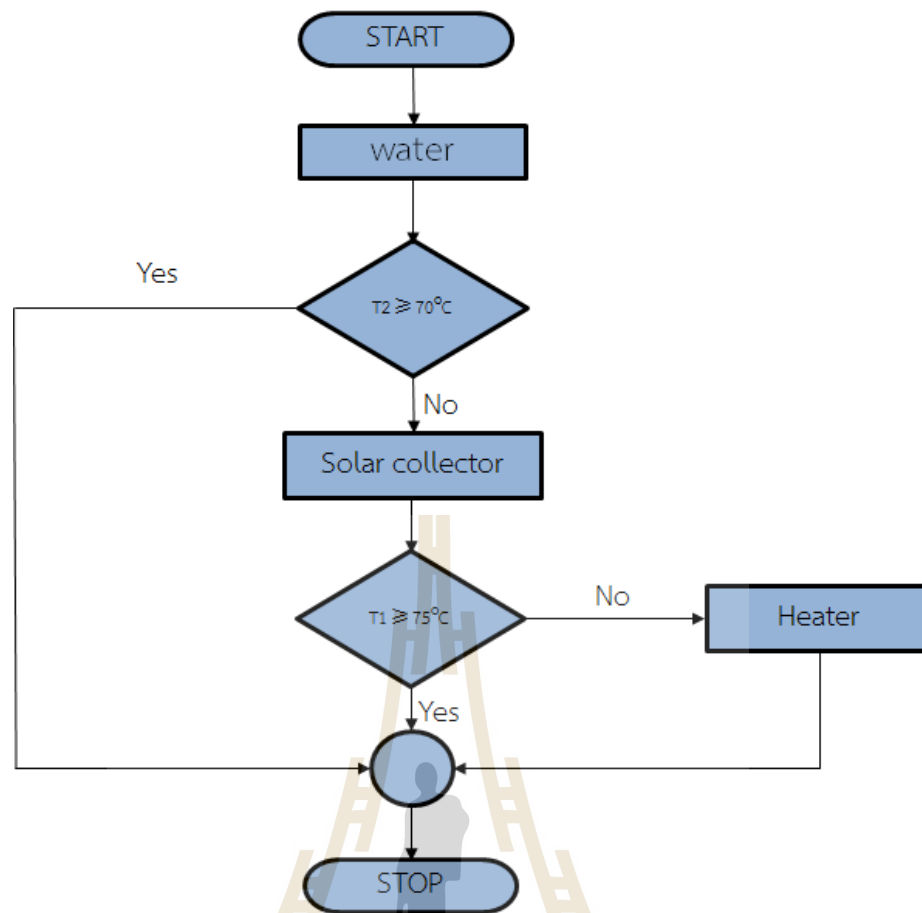
**กรณีที่ 1** อุณหภูมิของน้ำสูงกว่า  $70^{\circ}\text{C}$  และ อุณหภูมิของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์สูงกว่า  $75^{\circ}\text{C}$  ระบบควบคุมจะเก็บน้ำไว้ในถัง Tank 1 เพื่อรอการจ่ายไปยังถัง Tank 2 โดยที่ ฮีตเตอร์จะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำให้ถึง  $90^{\circ}\text{C}$  อัตโนมัติ สำหรับการใช้งาน

**กรณีที่ 2** อุณหภูมิของน้ำสูงกว่า  $70^{\circ}\text{C}$  และ อุณหภูมิของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ต่ำกว่า  $75^{\circ}\text{C}$  ระบบควบคุมจะเก็บน้ำไว้ในถัง Tank 1 เพื่อรอการจ่ายไปยังถัง Tank 2 โดยที่ ฮีตเตอร์จะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำให้ถึง  $90^{\circ}\text{C}$  อัตโนมัติ สำหรับการใช้งาน

**กรณีที่ 3** อุณหภูมิของน้ำต่ำกว่า  $70^{\circ}\text{C}$  และ อุณหภูมิของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์สูงกว่า  $75^{\circ}\text{C}$  ระบบควบคุมจะส่งน้ำจากถัง Tank 1 ไปยังแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจากนั้นน้ำจะไหลวนกลับเข้าสู่ Tank 1 ไปเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  ระบบจึงหยุดทำงาน และรอการจ่ายไปยังถัง Tank 2 โดยที่ ฮีตเตอร์จะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำให้ถึง  $90^{\circ}\text{C}$  อัตโนมัติ สำหรับการใช้งาน

**กรณีที่ 4** อุณหภูมิของน้ำต่ำกว่า  $70^{\circ}\text{C}$  และ อุณหภูมิของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ต่ำกว่า  $75^{\circ}\text{C}$  ระบบควบคุมจะเก็บน้ำไว้ในถัง Tank 1 เพื่อรอการจ่ายไปยังถัง Tank 2 โดยที่ ฮีตเตอร์จะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำให้ถึง  $90^{\circ}\text{C}$  อัตโนมัติ สำหรับการใช้งาน

การตัดสินใจในกรณีทั้ง 4 แสดงได้ด้วย Flow Chart ในภาพที่ 3.2 ซึ่งจะใช้ Temperature Control จำนวน 3 ชุดต่อเป็นวงจรแมกเนติกส์รีเลย์เพื่อควบคุมการทำงาน

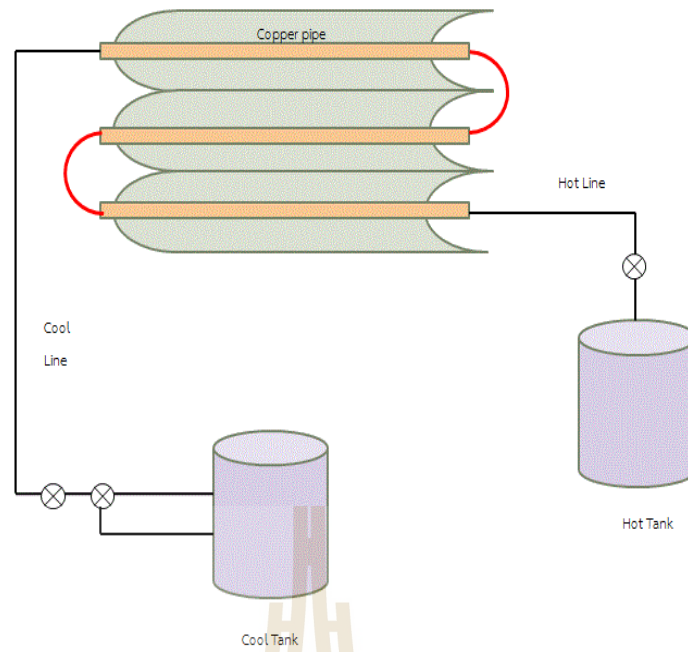


ภาพที่ 3.2 Flow Chart การทำงานของชุดควบคุมระบบต้นแบบ

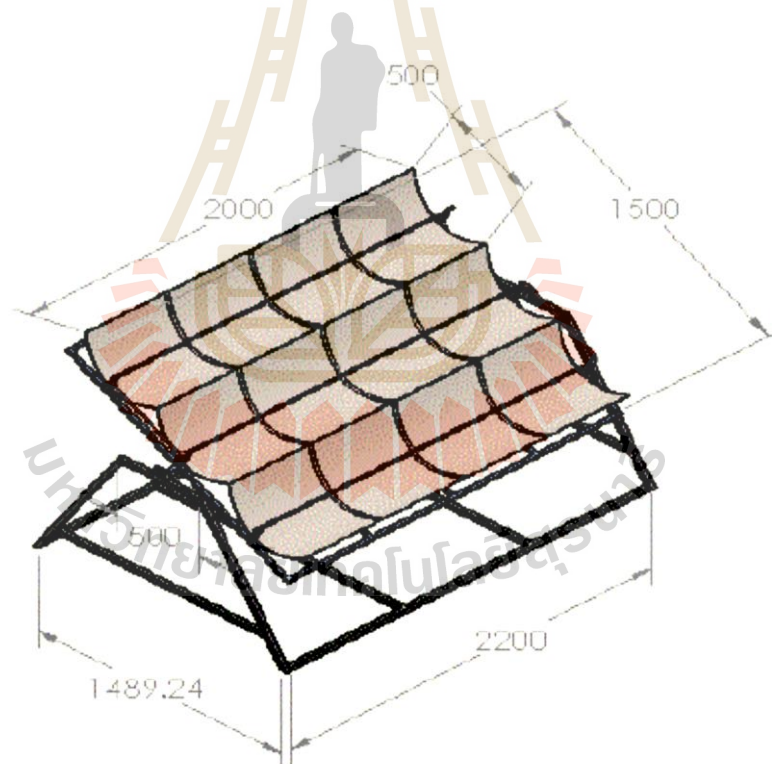
และเพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นของงานวิจัยก่อนที่จะทำการสร้างชุดรับแสงจริงซึ่งมีขนาดใหญ่ เพื่อลดความผิดพลาดของการสร้าง คณะผู้วิจัยจึงได้สร้างชุดรับแสงทรงพาราโบลาขนาดเล็กเพื่อทดสอบการทำงานกับสภาพแสงในพื้นที่ทำงานจริงขึ้น ดังมีรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

### 3.1.3 การสร้างระบบต้นแบบขนาดเล็กและทดสอบการทำงานเบื้องต้น

ทำการออกแบบและสร้างชุดรับแสงด้วยรูปร่างและตำแหน่งโฟกัสเหมือนกับขนาดที่จะสร้าง โดยทำในขนาดที่เล็กกว่าเพื่อศึกษาข้อมูลการรับแสงในพื้นที่จริงที่จะใช้ในโครงการวิจัย โดยระบบเป็นดังภาพที่ 3.3 เมื่อทำการป้อนน้ำเย็นจาก Cool tank ด้วยปั๊มน้ำขนาดเล็กให้ไหลผ่านชุดรับแสงจำนวน 3 ตัว ก่อนที่จะไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อน Hot tank และขนาดของระบบขนาดเล็กมีความกว้างรวม 1.5 m ยาว 2.0 m มีรูปร่างดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 ระบบขนาดเล็กที่ทดลองสร้างขึ้นเพื่อใช้ศึกษาข้อมูลขั้นต้นก่อน



ภาพที่ 3.4 ขนาดของระบบขนาดเล็กที่จะสร้างขึ้นมีความกว้างรวม 1.5 m ยาว 2.0 m

จากนั้นทำการสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กขึ้นดังภาพที่ 3.5 และ 3.6



ภาพที่ 3.5 ชุดทดสอบขนาดเล็กที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 3.6 แสดงแนวโฟกัสของท่อรับแสงสะท้อนจากแผ่นสะท้อนพลาโบลา

ใช้แผ่นสแตนเลสขนาดความหนา 0.5 mm เป็นวัสดุสะท้อนแสง และใช้ท่อทองแดงทาสีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2/8 นิ้ว เป็นท่อรับแสงสะท้อน โดยติดตั้งให้อยู่บนแนวโฟกัสดังภาพที่ 3.6 ทำการทดสอบรับแสงอาทิตย์โดยวางตัวรับแสงให้สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุดในแนวตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ให้มากที่สุด เริ่มการทดสอบตั้งแต่วันที่ 12.00 - 14.00 น. โดยจะทำการปรับมุมให้เข้ากับ



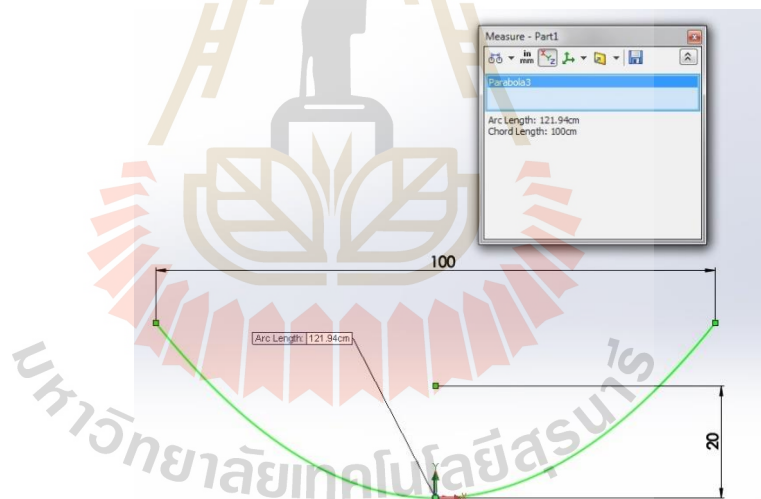
แสงอาทิตย์ทุกๆ 15 นาที โดยปรับองศาครั้งละ 4 องศา จากนั้นป้อนน้ำด้วยค่าอัตราการไหล 3 ค่า ได้แก่ 1) 0.279 ลิตร/วินาที 2) 0.131 ลิตร/วินาที 3) 0.087 ลิตร/วินาที โดยทำการทดลอง 3 วัน วันละหนึ่งอัตราการไหล ใช้ถังเก็บน้ำขนาด 20 ลิตรในการบรรจุน้ำร้อนที่ผลิตได้

ตลอดการทดสอบมีการวัดและเก็บค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าแผงพาราโบลา อุณหภูมิของน้ำออกจากแผงพาราโบลา อุณหภูมิของผิวที่ท่อทองแดงทาสีดำ และความเข้มแสงขณะการทดสอบในหน่วย  $W/m^2$  จะทำการเก็บค่าทุกๆ 5 นาที ทำจนครบ 2 ชั่วโมง ในช่วงที่มีแสงแดดเข้มสูงสุด จากนั้นนำผลมาแสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ เวลากับอุณหภูมิ เวลากับความเข้มแสง และคำนวณหาประสิทธิภาพในการรับพลังงานต่อไป

ผลและข้อสังเกตจากการทดสอบระบบต้นแบบขนาดเล็กได้ถูกรวบรวมและสร้างเป็นอุปกรณ์ระบบต้นแบบจริงดังหัวข้อถัดไป

### 3.1.4 การสร้างระบบต้นแบบ

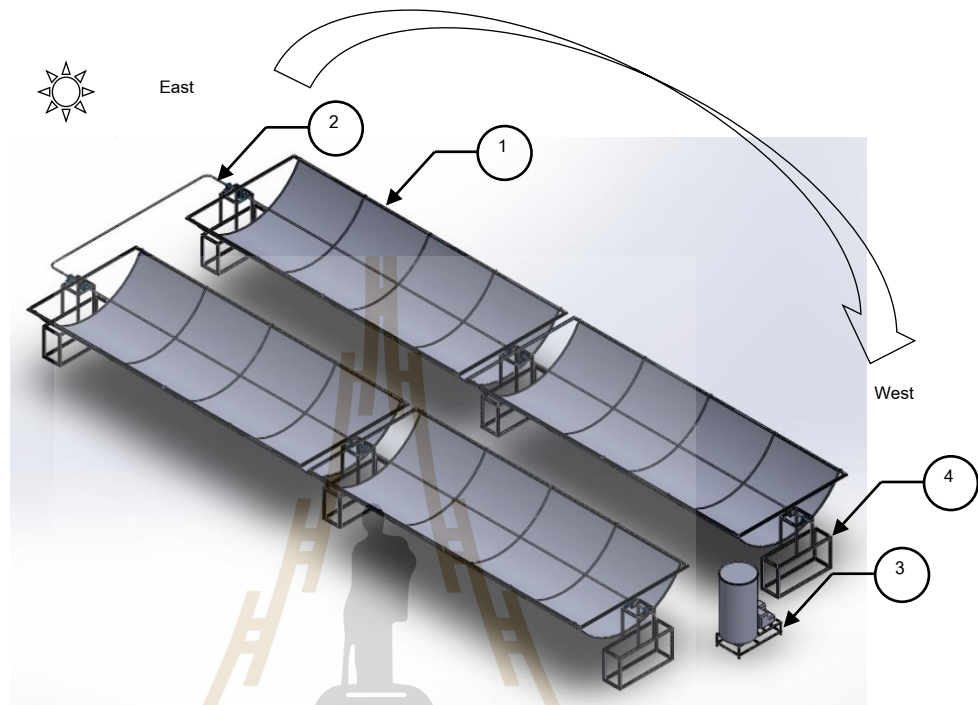
ออกแบบชุดรับแสงทรงพาราโบลา ขนาด cord = 1,000 mm และมีตำแหน่งโฟกัสที่ 50 mm นับจากยอดของรูปทรงดังภาพที่ 3.7 จะได้ความยาวของส่วนโค้ง (Arc length) = 121.94 cm หรือประมาณ 120 cm ซึ่งพอดีกับขนาดของวัสดุแผ่นที่มีขายในท้องตลาด



ภาพที่ 3.7 ขนาด Cord Focus และความยาวส่วนโค้ง (Arc length) ของพาราโบลาที่เลือกใช้

กำหนดความกว้างและความยาวของอุปกรณ์รับแสง 1 ตัว เป็น 120 cm x 600 cm และทำการสร้างชุดรับแสง 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์รับแสงจำนวน 4 ตัว พื้นที่รับแสงรวม 24  $m^2$  และกำหนดรูปแบบการจัดวางตามพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตจากฟาร์มมหาวิทยาลัย สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังภาพที่ 3.9 หมายเลข 1 คือ ตัวอุปกรณ์รับแสงที่สร้างขึ้น โดยการติดตั้งจะวางอุปกรณ์รับแสงทั้ง 4 ตัว ในแนวยาวขนานไปกับทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกและปรับให้ cord ของตัวรับหันตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของดวง

อาทิตย์เสมอ หมายเลข 2 คือท่อส่งน้ำร้อน หมายเลข 3 คือถังเก็บน้ำร้อน และหมายเลข 4 คือชุดฐาน สำหรับติดตั้งแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ และได้ทำการติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาดกำลัง 3,600 W ในถังเก็บน้ำร้อนสำหรับการทำให้น้ำร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีมีอุณหภูมิสูงถึง 80°C ตามต้องการ



ภาพที่ 3.8 รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์รับแสงทรงพาราโบลา

และตัวอย่างภาพของระบบต้นแบบที่สร้างขึ้นแสดงดังภาพที่ 3.9 – 3.11



ภาพที่ 3.9 แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ของระบบต้นแบบ



ภาพที่ 3.10 ถังเก็บน้ำร้อนจากแผงรังรังสีจากดวงอาทิตย์



(ก) ระบบท่อและปั๊มส่งน้ำร้อน



(ข) การติดตั้งวาล์วลูกลอยในถังเก็บน้ำร้อน

ภาพที่ 3.11 การวางระบบท่อ ปั๊ม และการควบคุมระดับน้ำด้วยลูกลอย

### 3.2 การทดสอบระบบต้นแบบ

หลังจากที่ได้ออกแบบและติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลาแล้ว มีการทดสอบระบบตามวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 ทดสอบหาอุณหภูมิและเวลาที่ระบบแสงอาทิตย์สามารถทำความร้อนได้สูงที่สุด



ดังนี้

ทดสอบระบบในช่วงเวลา 8.30 – 16.30 น. ของวัน โดยตรวจ วัดค่าตัวแปรต่างๆ

1. อุณหภูมิของน้ำประปาป้อนเข้า ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิ้ล type K ( $^{\circ}\text{C}$ )
2. อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์ ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิ้ล type K ( $^{\circ}\text{C}$ )
3. อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์ ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิ้ล type K ( $^{\circ}\text{C}$ )
4. อุณหภูมิผิวของตัวรับรังสีอาทิตย์ ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด ( $^{\circ}\text{C}$ )
5. อุณหภูมิของผิวท่อน้ำร้อน ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด ( $^{\circ}\text{C}$ )
6. ความเข้มรังสีอาทิตย์ ด้วย โซลาร์เพาเวอร์มิเตอร์ ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

การวัดค่าต่างๆ แสดงดังภาพที่ 3.12



(ก) เครื่องวัดความเข้มแสง



(ข) เทอร์โมมิเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิ้ล



(ค) วันอุณหภูมิผิว และท่อ ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด

ภาพที่ 3.12 เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย



3.2.2 การทดสอบความสามารถรับความร้อนของน้ำ โดยการแปรค่าอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ออกเป็น 3 ระดับ คือ 6 9 และ 12 ลิตรต่อนาที แล้วแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ตอนคือ

1. ทดสอบโดยให้น้ำไหลวนกลับในถังเก็บน้ำร้อน เป็นการใช้น้ำที่ผ่านตัวรับรังสีมาเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนและนำเข้าสู่ระบบแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนอย่างต่อเนื่อง โดยวัดอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากตัวรับรังสีก่อนเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อน
2. ทดสอบโดยให้น้ำรับความร้อนเพียงรอบเดียว เมื่อน้ำร้อนออกจากตัวรับรังสีแล้วจะปล่อยน้ำทิ้งและวัดอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากตัวรับรังสี

### 3.3 สถานที่ทดสอบ

ใช้พื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัย ส่วนอาคารโรงรีดนมวัว เป็นพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์และระบบผลิตน้ำร้อน ดังแสดงดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์และระบบผลิตน้ำร้อน

จากภาพที่ 3.13 ตำแหน่งหมายเลข 1 คือ พื้นที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน พิกัดทางภูมิศาสตร์ 14.889338, 102.000104 ซึ่งพบว่าอยู่ในแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออก (ทางขวาของภาพ) ไปสู่ทิศตะวันตก (ซ้ายของภาพ) ได้อย่างเหมาะสม ตำแหน่งหมายเลข 2 คือโรงเรือนที่จะใช้น้ำร้อนที่ผลิตได้ในการทำความสะอาดระบบการผลิต

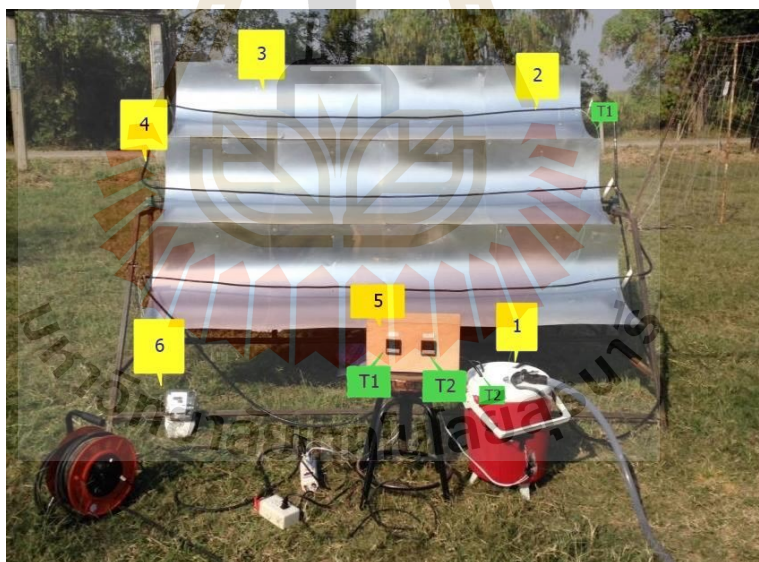
## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์

#### 4.1 ผลการทดสอบระบบต้นแบบขนาดเล็ก

##### 4.1.1 การทำงานของเครื่องต้นแบบ

ระบบต้นแบบขนาดเล็กประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทำน้ำร้อน 2 ชนิดคือ ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar collector) และฮีตเตอร์ไฟฟ้า (Heater) ขนาด 1,000 W โดยมีส่วนประกอบดัง ภาพที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.1 ถึงเก็บน้ำเพื่อใช้หมุนเวียนในระบบ (หมายเลข 1 ในภาพที่ 4.1) น้ำในถังถูกสูบหมุนเวียนในระบบด้วยปั๊มที่ติดตั้งอยู่ภายในและติดตั้ง Thermocouple Type K สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำในถัง ( $T_2$ ) ควบคุมระดับน้ำด้วยวาล์วเติมน้ำแบบลูกลอย แผ่นอลูมิเนียมตัดโค้งเป็นรางพาราโบลา (หมายเลข 3) เพื่อใช้เป็นแผงสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังแนวโฟกัสซึ่งติดตั้งท่อทองแดง ทาสีดำที่มีน้ำไหลอยู่ภายในท่อ (หมายเลข 2) ติดตั้ง thermocouple สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำในระบบรับแสง ( $T_2$ ) และเชื่อมต่อท่อน้ำนี้ระหว่างแผงทั้ง 3 แผงด้วยข้อต่อ (หมายเลข 4) กล่องควบคุม (หมายเลข 5) ประกอบด้วยวงจร magnetic relay และ thermostat สำหรับรับค่าอุณหภูมิ  $T_1$  และ  $T_2$  จากการทดสอบ



ภาพที่ 4.1 ระบบต้นแบบขนาดเล็กที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของระบบต้นแบบขนาดเล็ก

Design specification	
Storage tank capacity	15.0 l
Absorber tube diameter	2/8 inch
Collector length	6m
Collector aperture area	3 m <sup>2</sup>
Electric heater power	1,000 W
Pump power	40 W
Working fluid	water
Volume flow rate	33.746 ml/s

การทดสอบระบบในเดือน กุมภาพันธ์ 2559 โดยวางแผงรับแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ ในมุมที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด (เอียงทำมุม 14 องศากับแนวระดับ) ช่วงเวลาทำการทดสอบระบบคือ 13.00 – 15.00 น. ทำการวัดค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่ง  $T_1$  และ  $T_2$  วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ด้วยเครื่องมือวัด solar power meter ยี่ห้อ tenmars รุ่น TM-208 และจดบันทึกมิเตอร์ไฟฟ้า (หมายเลข 6) ทุกๆ 10 นาที แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณี คือ 1) ใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าอย่างเดียว 2) ใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว และ 3) ใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า

ในการทดสอบมีการติดมิเตอร์ไฟฟ้าสำหรับอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทำความร้อน ( $Q_{elec}$ ) จาก สมการ (4.1)

$$P_{elec} = (kW \cdot hr)(3,600 \text{ sec/hr}) \quad (4.1)$$

การทดสอบระบบที่ 2 และ 3 คำนวณค่าความร้อนที่น้ำได้รับจากแสงอาทิตย์ เป็น  $Q_{solar}$  เมื่อถึงบรรจุน้ำปริมาณ 12 liter จาก สมการ (4.2) (Sheng, 1993)

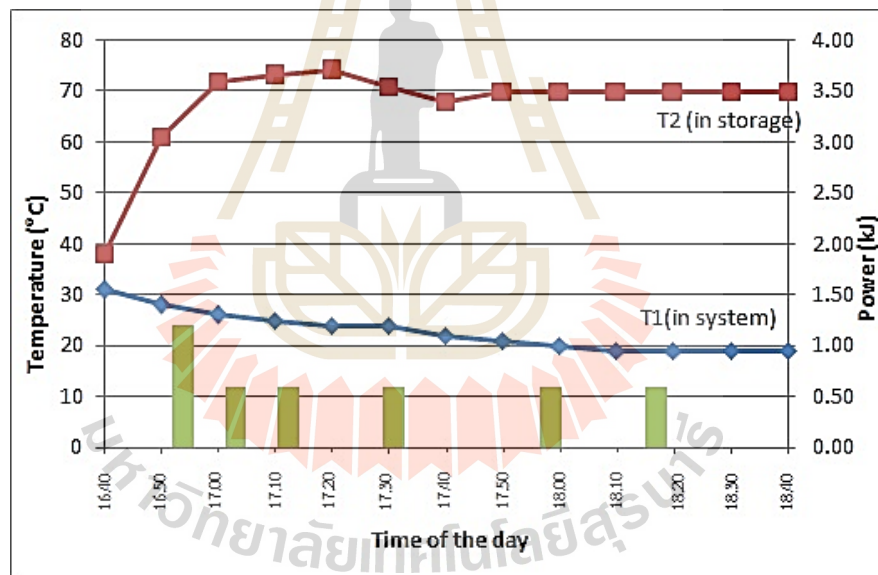
$$Q_{solar} = mC(T_2 - T_1) \quad (4.2)$$

เมื่อ  $C$  คือความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ( $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )  $T_1$ ,  $T_2$  คืออุณหภูมิของน้ำในระบบและอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ ตามลำดับ ( $^\circ\text{C}$ )

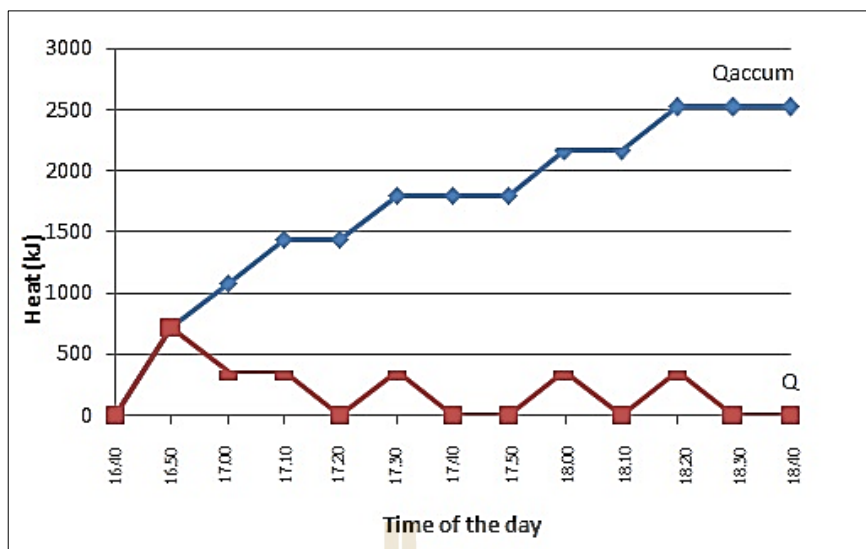
#### 4.1.2 ผลการทดสอบ

##### 1. ผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

จากภาพที่ 4.2 เมื่ออุณหภูมิที่ตำแหน่ง  $T_1$  คืออุณหภูมิของน้ำในระบบ  $T_2$  คืออุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำ และ Power คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อน ในการทดสอบระหว่างเวลา 16.40 – 18.40 น. โดยปล่อยให้ระบบทำงานเองอย่างอัตโนมัติและทำการบันทึกผล จากภาพจะเห็นว่าอุณหภูมิของน้ำในระบบ (น้ำป้อนจากระบบประปา) ลดลงเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิของอากาศในเวลาที่ทดสอบ อุณหภูมิสูงสุดภายในถังเก็บอยู่ในช่วงเวลา 17.00 – 17.20 น. หลังจากช่วงเวลาดังกล่าวระบบสามารถรักษาระดับอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บไว้ที่  $70^{\circ}\text{C}$  และใช้กำลังไฟฟ้าลดลงเนื่องจากมีพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในน้ำแล้วดังภาพที่ 4.3 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จึงเป็นเพียงการทำอุณหภูมิให้กับน้ำเพื่อชดเชยการสูญเสียความร้อนของน้ำออกจากถังเก็บ และชุดควบคุมมีการสั่งการให้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าทำงานเป็นช่วงๆ ตามการวัดค่าอุณหภูมิได้จากน้ำในถังเก็บ จากภาพจะเห็นได้ว่าฮีตเตอร์ทำงานสูงสุดที่เวลา 16.50 น. ใช้กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า 1.2 kW หลังจากนั้นจะลดการทำงานลงอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดสอบคือ  $67.46^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิและกำลังของระบบเมื่อใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวที่เวลาต่างๆ ของวัน



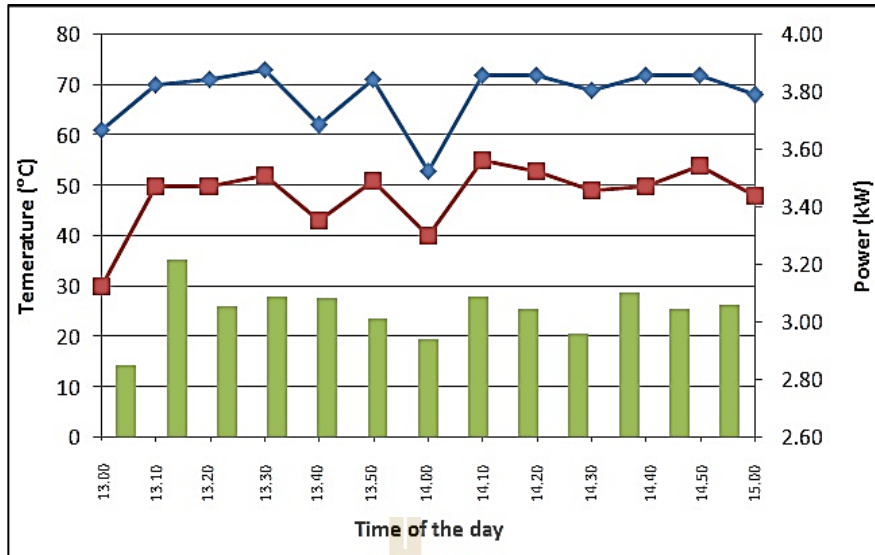
ภาพที่ 4.3 ความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ขณะเวลาต่างๆ กัน

## 2. ผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

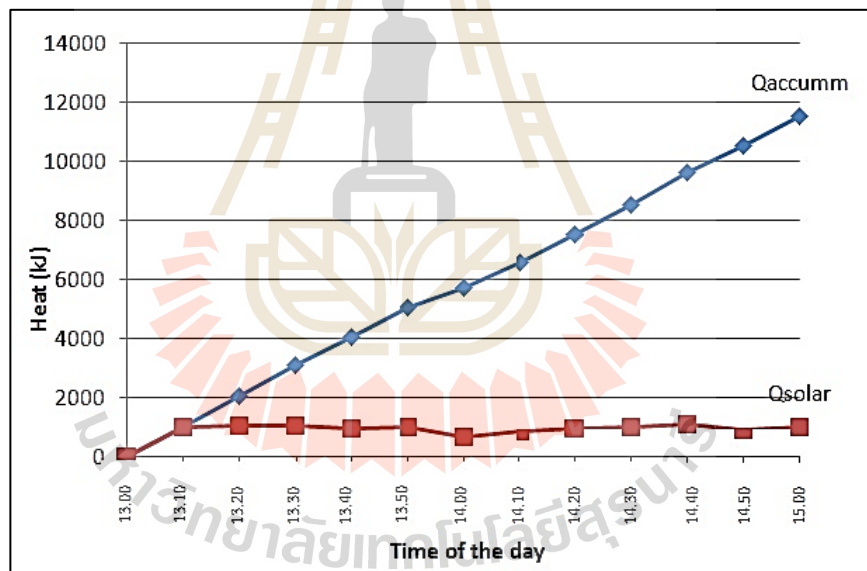
จากภาพที่ 4.4 กราฟแท่งสีเขียวแสดงถึงค่าความร้อนของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่แผงรับรังสีได้รับในหน่วย kW อุณหภูมิที่ตำแหน่ง  $T_1$  และ  $T_2$  แสดงด้วยกราฟเส้นสีแดง (เส้นล่าง) และสีน้ำเงิน (เส้นบน) ตามลำดับ ทดสอบและจดบันทึกผลตั้งแต่วันที่ 13.00 – 15.00 น. พบว่าอุณหภูมิทั้งสองตำแหน่งมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน นั่นคือแปรผันตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในเวลาที่ทำการทดสอบ โดยความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์มีกำลังงานสูงเฉลี่ย 3.04 kW ทำงานต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาที่ทดสอบ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้นั้นไม่คงที่ เป็นผลจากความไม่สม่ำเสมอของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิเฉลี่ยของระบบตลอดการทดสอบเท่ากับ  $68.15^{\circ}\text{C}$  ซึ่งใกล้เคียงกับระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และความร้อนสะสมในน้ำยังมีค่าสูงดังแสดงในภาพที่ 4.5

เมื่อเปรียบเทียบภาพที่ 4.2 กับ 4.4 จะเห็นว่าความชันของกราฟระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าค่ามากกว่าแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นผลมาจากความไวในการตอบสนองของระบบฮีตเตอร์ไฟฟ้าคือเริ่มทำงานและร้อนทันทีที่อุณหภูมิไม่ถึงค่าที่ตั้งไว้ ส่วนระบบแสงอาทิตย์มีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อนกว่าทำให้ไม่สามารถตอบสนองได้เร็วเท่าแบบฮีตเตอร์ไฟฟ้า แต่จะสังเกตได้ว่าความร้อนสะสมในน้ำของระบบผลิตน้ำร้อนที่ใช้แสงอาทิตย์สูงกว่าแบบฮีตเตอร์ไฟฟ้าและมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ



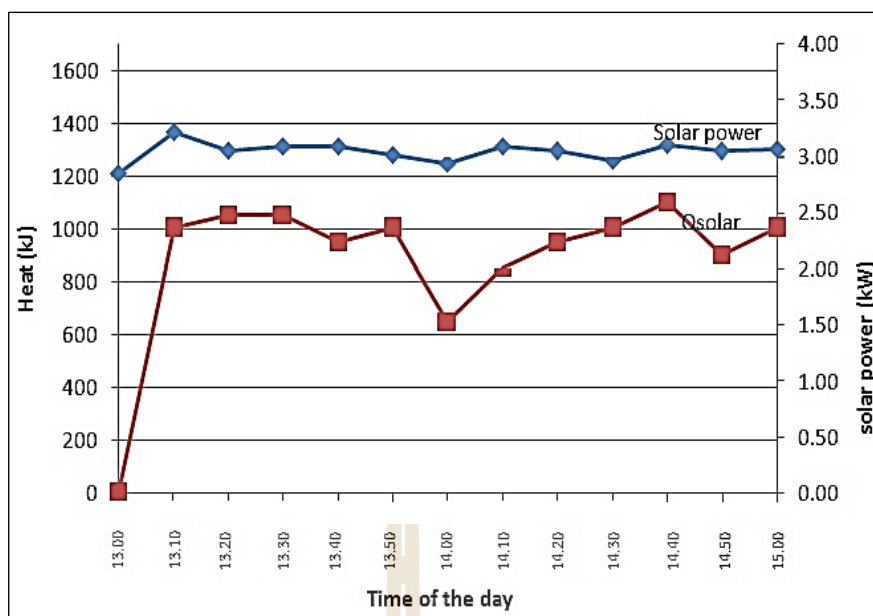


ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิของน้ำในระบบและในถังเก็บน้ำเปรียบเทียบกับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์  
ช่วงเวลาต่างๆ กัน



ภาพที่ 4.5 ความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว  
ช่วงเวลาต่างๆ กัน

เมื่อเปรียบเทียบความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทให้กับน้ำกับความร้อนที่ส่งลงมาบนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ดังภาพที่ 4.6 จะเห็นว่าความร้อนที่น้ำได้รับแปรผันไปตามความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ โดยประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ให้กับน้ำสูงสุดมีค่าเป็น 84.6% ณ เวลา 14.40 น.

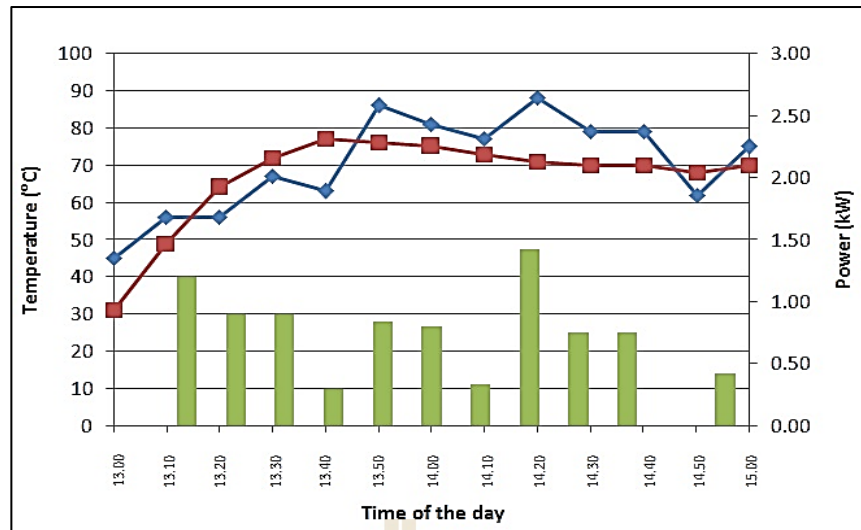


ภาพที่ 4.6 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทให้กับน้ำ เปรียบเทียบกับความร้อนที่ส่งลงมาบนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์

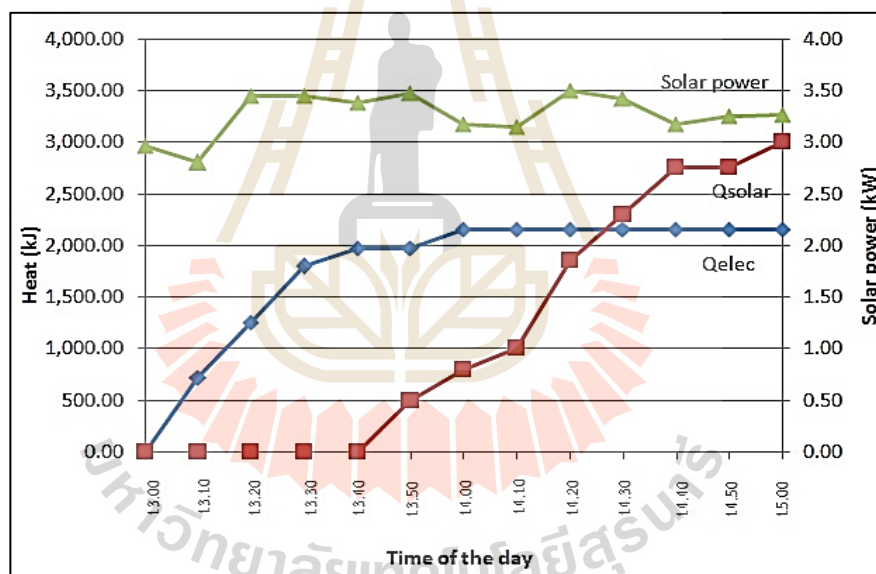
### 3. ผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า

จากภาพที่ 4.7 ผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า จะเห็นว่าอุณหภูมิของน้ำในระบบและน้ำในถังเก็บมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อุณหภูมิของน้ำในระบบ (กราฟเส้นสีแดง) ถูกทำให้เป็นน้ำร้อนในถังเก็บด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้า (กราฟเส้นสีฟ้า) และได้ความร้อนเสริมจากพลังงานแสงอาทิตย์ (กราฟแท่งสีเขียว) ในช่วงที่ฮีตเตอร์ทำงานและถูกชุดควบคุมตัดการทำงานออกแล้ว แต่น้ำในระบบยังคงหมุนเวียนไปที่แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ พบว่ามีผลทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นบางครั้ง อุณหภูมิเฉลี่ยของระบบคือ  $70.31^{\circ}\text{C}$  เมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบรวมแล้วพบว่า กำลังไฟฟ้าที่ใช้ทำน้ำร้อนลดลงเฉลี่ยใช้กำลังเท่ากับ 0.66 kW

จากภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าการทำงานสลับกันระหว่างฮีตเตอร์ไฟฟ้าและระบบแสงอาทิตย์ ระบบแสงอาทิตย์ให้ความร้อนสะสมเฉลี่ย  $1,153.68$  kJ ระบบฮีตเตอร์ไฟฟ้าให้ความร้อนสะสมเฉลี่ย  $1,758.46$  kJ ในขณะที่เริ่มต้นการทำงานของระบบน้ำมีอุณหภูมิต่ำมาก ชุดควบคุมจึงสั่งให้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าทำงานในช่วงแรกทำให้ค่าความร้อนสะสมของพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 14.00 น. ความร้อนสะสมที่แผงรับรังสีเริ่มมีค่ามากขึ้นและมากพอที่จะทำให้น้ำเป็นน้ำร้อนได้ ชุดควบคุมจึงสลับไปใช้พลังงานความร้อนจากแผงรับรังสีแทน ทำให้ความร้อนสะสมของพลังงานไฟฟ้าคงที่ (ไม่มีการใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า) ซึ่งความร้อนที่เกิดในน้ำในช่วงเวลาจาก 14.00 น. จึงเป็นความร้อนจากแสงอาทิตย์อย่างเพียงอย่างเดียว



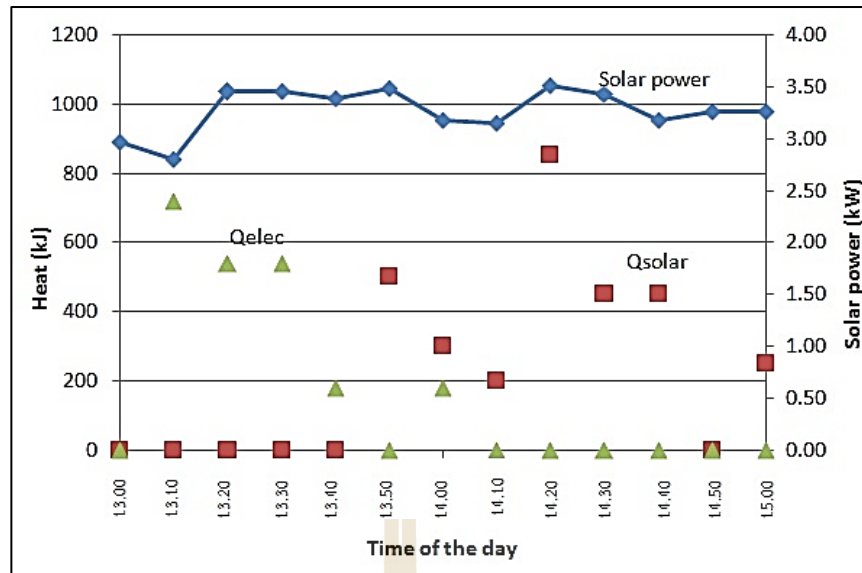
ภาพที่ 4.7 อุณหภูมิของน้ำในระบบและในถังเก็บน้ำเปรียบเทียบกับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ และการใช้พลังงานไฟฟ้าขณะเวลาต่างๆ กัน



ภาพที่ 4.8 พลังงานสะสมของการทำความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าและแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับ ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงาน ขณะเวลาต่างๆ จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ยังมีความร้อนค่อนข้างต่ำ ชุดควบคุมจึงสั่งการให้ระบบใช้ความร้อนจากฮีตเตอร์เพียงอย่างเดียว จนเมื่อความร้อนของแผงรับรังสีเริ่มมีค่าสูงขึ้น การทำงานของระบบจึงเป็นแบบร่วม คือมีทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้าและใช้ความร้อนจากแผงรับรังสีร่วมกัน ต่อเมื่อความเข้มแสงมีค่าสูงเพียงพอ





ภาพที่ 4.9 การใช้พลังงาน ขณะเวลาต่างๆ ของระบบทำความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าและแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์

ชุดควบคุมจึงตัดการทำงานของระบบฮีตเตอร์ไฟฟ้าและใช้ความร้อนจากแผงรับรังสีเพียงอย่างเดียว ทำให้แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อยๆ ลดลง (จุดสามเหลี่ยมสีเขียว) ในขณะที่เวลา 14.00 น. เป็นต้นไป การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นมาทดแทน (จุดสี่เหลี่ยมสีแดง) แสดงดังภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย และความร้อนสะสมในระบบทำความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้า และแสงอาทิตย์

solution	$T_{1,avg}$	$T_{2,avg}$	$Q_{accum}$ (kJ)	
	(°C)	(°C)	Electric heater	Solar collector
Use electric heater 1000 W	22.85	67.46	1,689.23	-
Use Solar trough collector system	68.15	48.08	-	11,536.80
Hybrid system	70.31	66.62	1,758.46	1,153.68

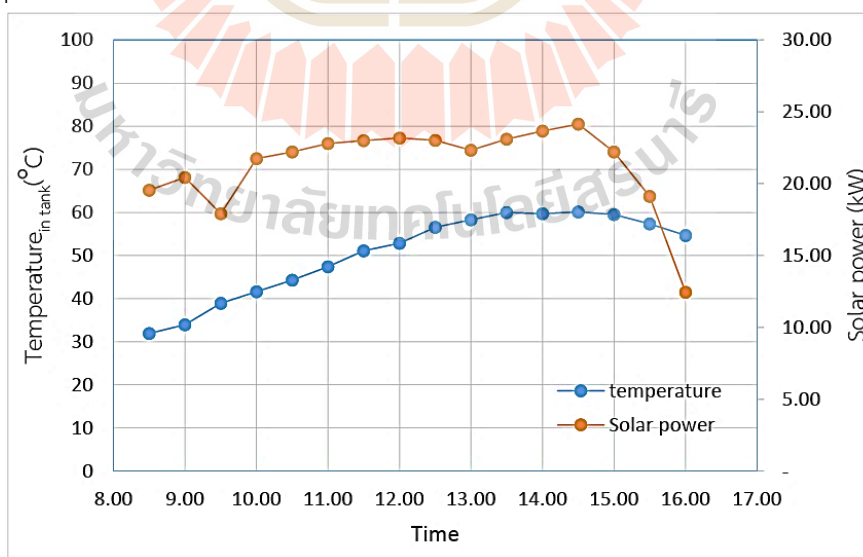
ภาพรวมของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อน ( $T_2$ ) และอุณหภูมิที่แผงรับแสง ( $T_1$ ) และการใช้พลังงานสะสมแสดงดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบใช้ความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว จะไม่มีน้ำไหลไปที่แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ จึงเป็นการทำน้ำให้ร้อนจากอุณหภูมิเริ่มต้น (น้ำเย็น) เท่านั้น และมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมเมื่อทำน้ำให้ร้อนถึง  $67.46^{\circ}\text{C}$  เท่ากับ 1,689.23

kJ แต่หากเป็นการใช้ความร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ระบบสามารถทำอุณหภูมิเฉลี่ยได้เพียง  $48.08^{\circ}\text{C}$  เท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ส่วนการใช้ระบบความร้อนร่วมสามารถทำอุณหภูมิเฉลี่ยได้สูงถึง  $66.62^{\circ}\text{C}$  พบข้อสังเกตขณะทดสอบว่า ในวันที่ทดสอบระบบมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมเพียง  $1,153.68$  kJ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวันที่ท้องฟ้ามีแสงไม่มากพอและน้ำที่ทดสอบมีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำมาก (ทดสอบช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559) จึงทำให้มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าการใช้ฮีตเตอร์เพียงอย่างเดียวเล็กน้อย

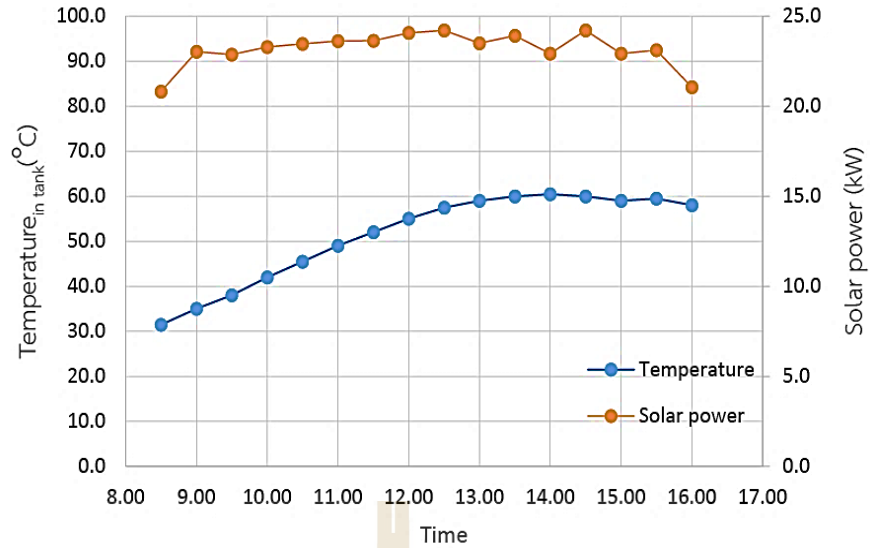
## 4.2 ผลการทดสอบระบบต้นแบบจริง

### 4.2.1 การทดสอบระบบแบบบังคับให้น้ำไหลหมุนเวียนกลับถังเก็บน้ำ

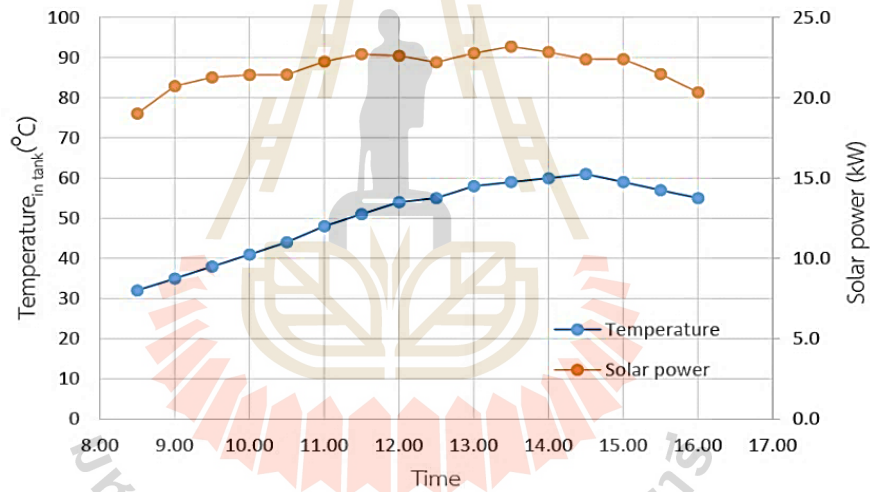
พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำเป็น 6, 9 และ 12 ลิตร/นาที มีค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บเมื่อเทียบกับอัตราความร้อนที่แผงรับรังสีได้รับจากดวงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 4.10 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ อัตราความร้อนที่แผงรับรังสีได้รับมีค่าสูงอยู่ระหว่าง 23 - 25 kW ณ ระหว่างเวลา 13.30 - 14.30 น. การแปรค่าอัตราการไหลน้ำทั้ง 3 ระดับ ให้ค่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$  ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากการบังคับให้น้ำไหลวนจากถังเก็บน้ำไปยังแผงรับรังสีต่อเนื่องกัน ดังนั้นน้ำจึงได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที อุณหภูมิของน้ำจะขึ้นถึง  $60^{\circ}\text{C}$  ได้เร็วที่สุดและใช้เวลานานขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการไหลที่เร็วเกินไปทำให้การถ่ายเทความร้อนจากผิวท่อให้แก่ น้ำในท่อซึ่งใช้เวลามากกว่า เกิดไม่ทันท่วงที เมื่อคำนวณเป็นค่าอัตราความร้อนสูงสุดที่น้ำได้รับจากแผงรับรังสี พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.19 1.02 และ 0.91 kW ที่อัตราการไหลของน้ำเป็น 6, 9 และ 12 ลิตร/นาที ตามลำดับ และประสิทธิภาพของถ่ายเทความร้อนของแผงรับรังสีสูงสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.67 4.30 และ 4.01 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที

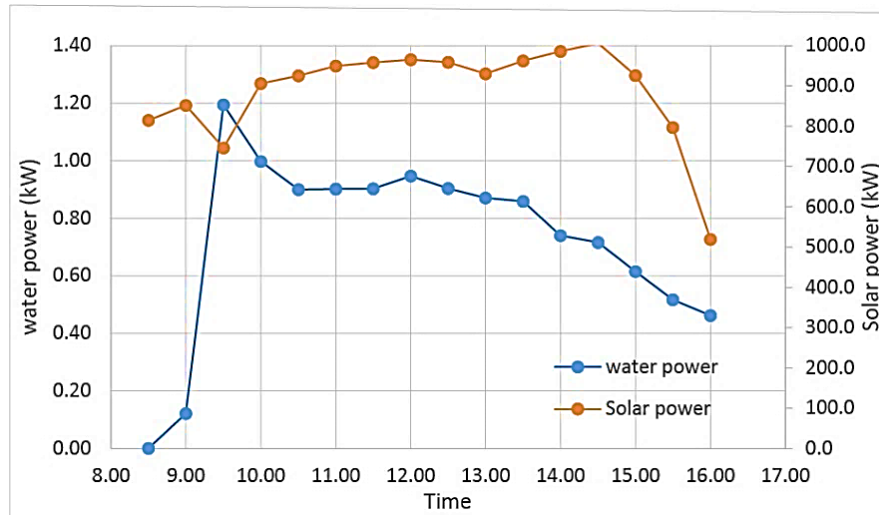


ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 9 ลิตร/นาที

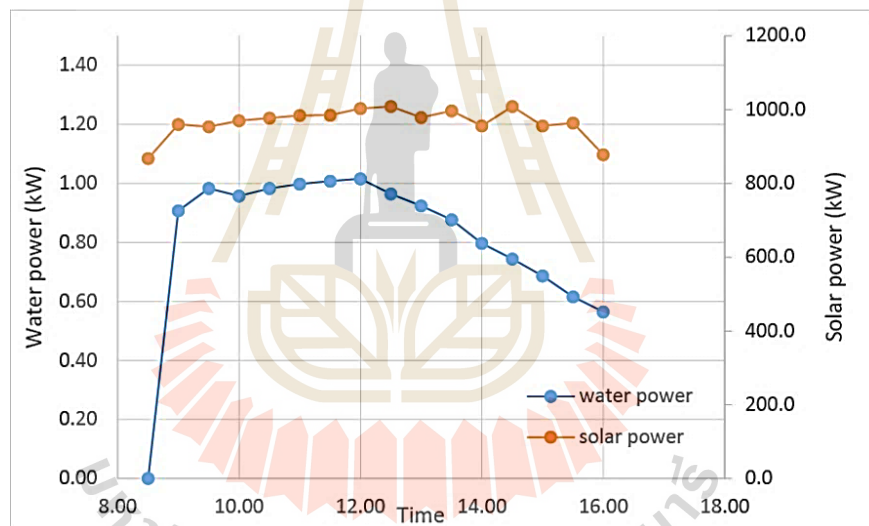


ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 12 ลิตร/นาที

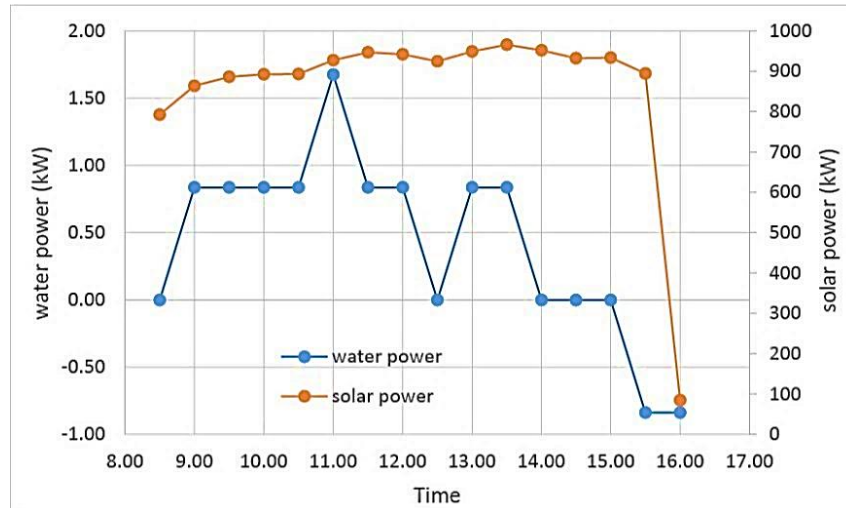
อุณหภูมิของน้ำที่เวลาเริ่มต้น  $30^{\circ}\text{C}$  ระบบสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาที่น้อยที่สุดเท่ากับ 5 ชั่วโมง ที่อัตราการไหล 6 และ 9 ลิตร/นาที ส่วนอัตราการไหล 12 ลิตร/นาที ใช้เวลานานที่สุดโดยมีอัตราเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิก่อนข้างน้อย ดังภาพที่ 4.10 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ ในเชิงอัตราความร้อนที่น้ำได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์พบว่า การถ่ายเทกำลังของดวงอาทิตย์สู่น้ำมีอัตราสูงในช่วงเริ่มต้นการทดสอบเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำต่ำ เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง อุณหภูมิของน้ำใกล้ค่าสูงสุดทำให้อัตราการรับความร้อนลดลงคงที่จนสิ้นสุดการทดสอบ ดังภาพที่ 4.13 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที



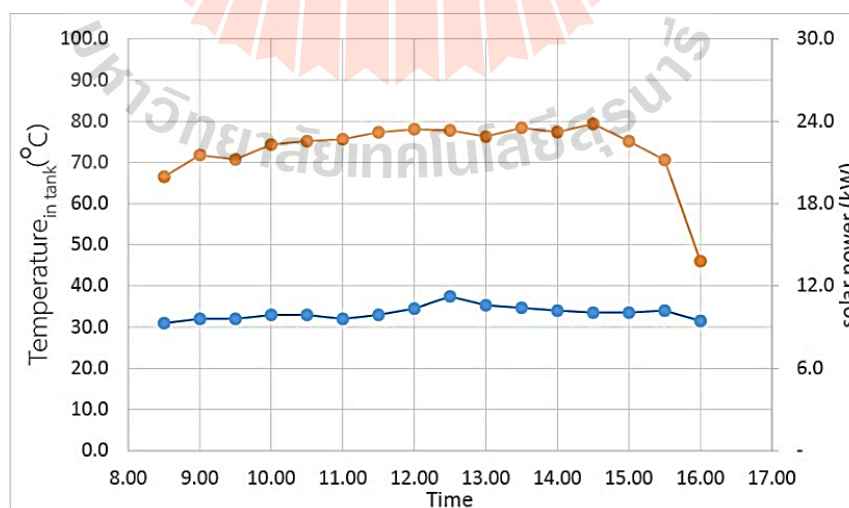
ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 9 ลิตร/นาที



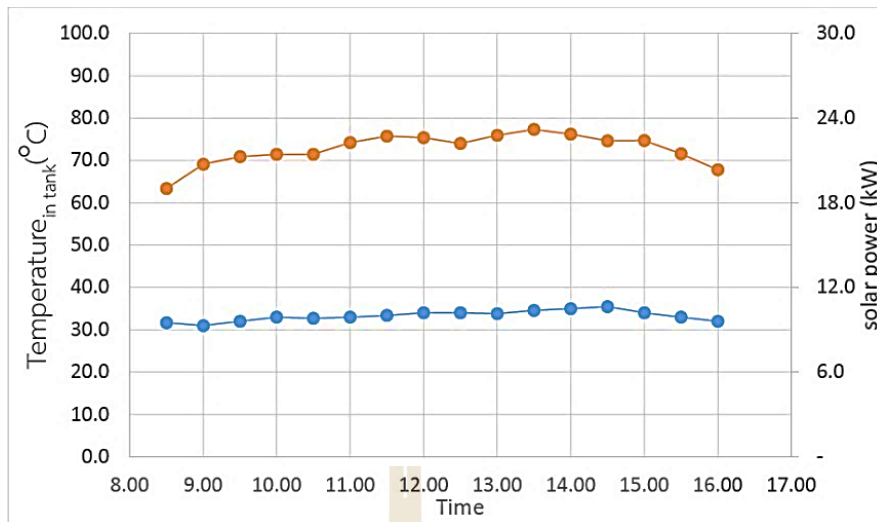
ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 12 ลิตร/นาที

#### 4.2.2 การทดสอบระบบแบบบังคับให้น้ำไหลผ่านแผงรับรังสีครั้งเดียว

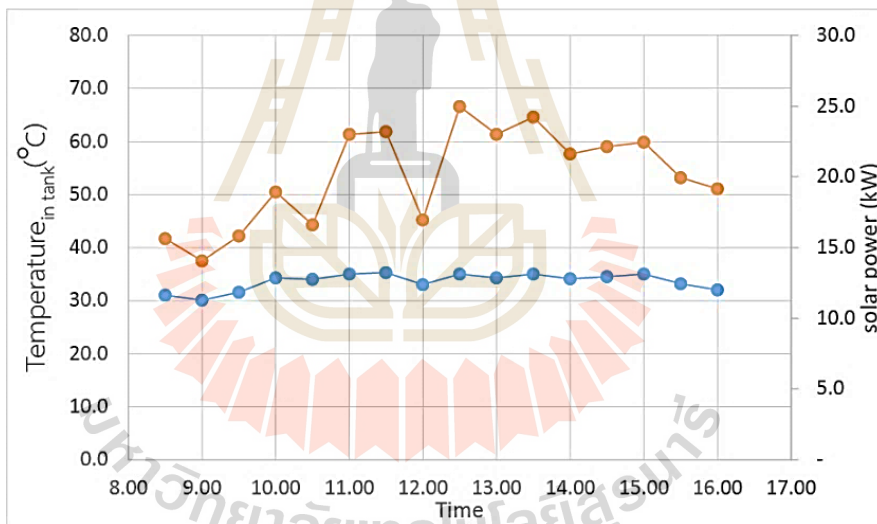
ที่อัตราการไหลของน้ำเป็น 6, 9 และ 12 ลิตร/นาที โดยเป็นการไหลผ่านเพียงครั้งเดียว พบว่าอัตราความร้อนสูงสุดจากรังสีดวงอาทิตย์มีค่าในช่วง 23 – 25 kW ขณะเวลาประมาณ 12.30 – 14.30 น. การไหลผ่านของน้ำเพียงครั้งเดียวพบว่า ระบบสามารถเพิ่มอุณหภูมิให้น้ำได้สูงสุดเพียง 8°C ค่าอัตราความร้อนสูงสุดเท่ากับ 3.14 3.45 และ 6.70 kW และประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 13.46 14.50 และ 28.47 ที่อัตราการไหลของน้ำเป็น 6, 9 และ 12 ลิตร/นาที ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.16 4.17 และ 4.18



ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที



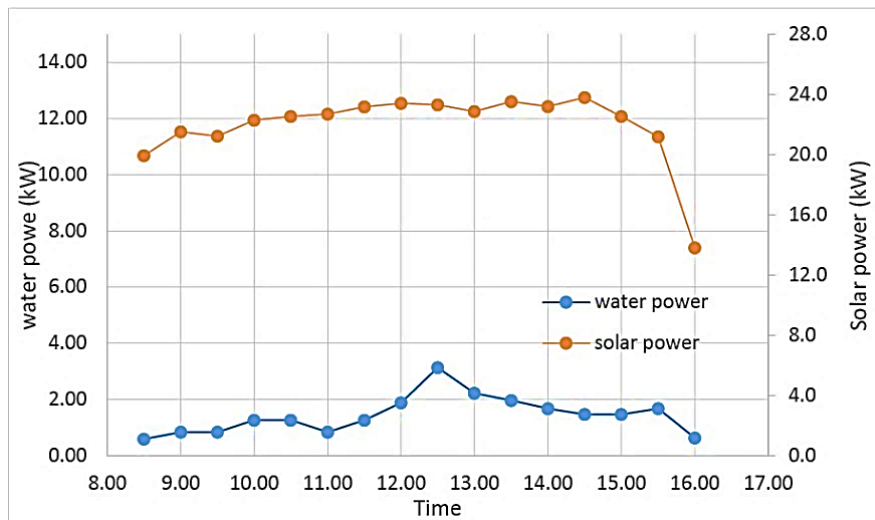
ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 9 ลิตร/นาที



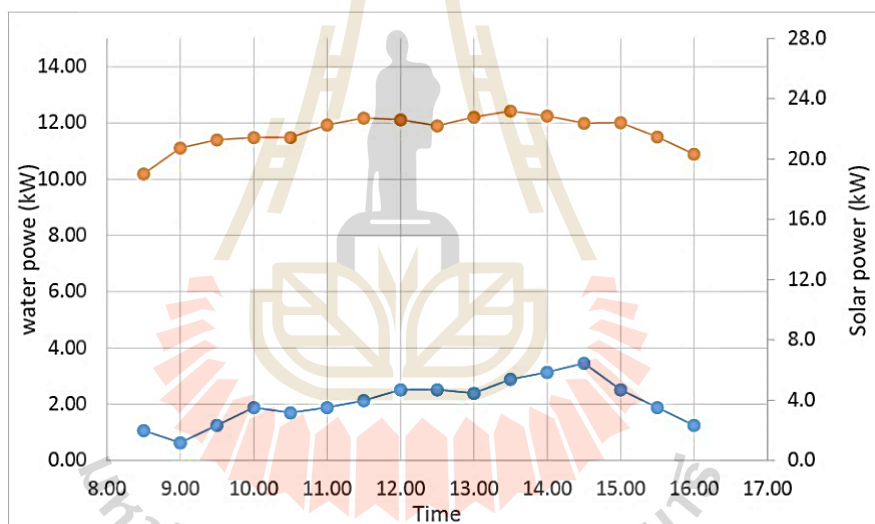
ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังและอัตราความร้อนของแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 12 ลิตร/นาที

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นประมาณ 30 องศาเซลเซียส สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 38°C และพบว่า ยิ่งอัตราการไหลสูงขึ้นทำให้น้ำไม่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ได้ทัน ส่งผลให้อุณหภูมิที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ อุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นหลังเวลา 12.00 น. ในเชิงอัตราความร้อนที่น้ำได้รับจากรังสีอาทิตย์ พบว่าแนวโน้มของอัตราการทำความร้อนของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มของแสง มีค่าสูงสุดในช่วง 12.30 - 14.30 น. ดังรูปที่ 4.19 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ



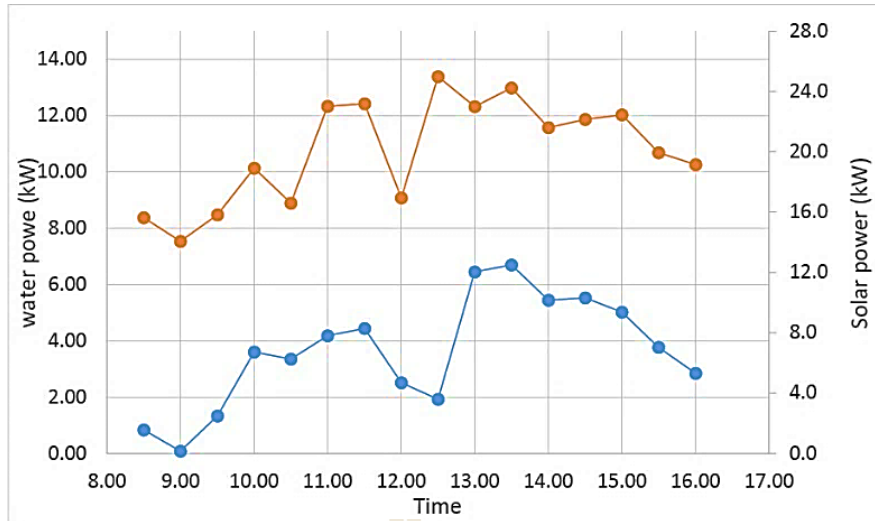


ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที



ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 9 ลิตร/นาที

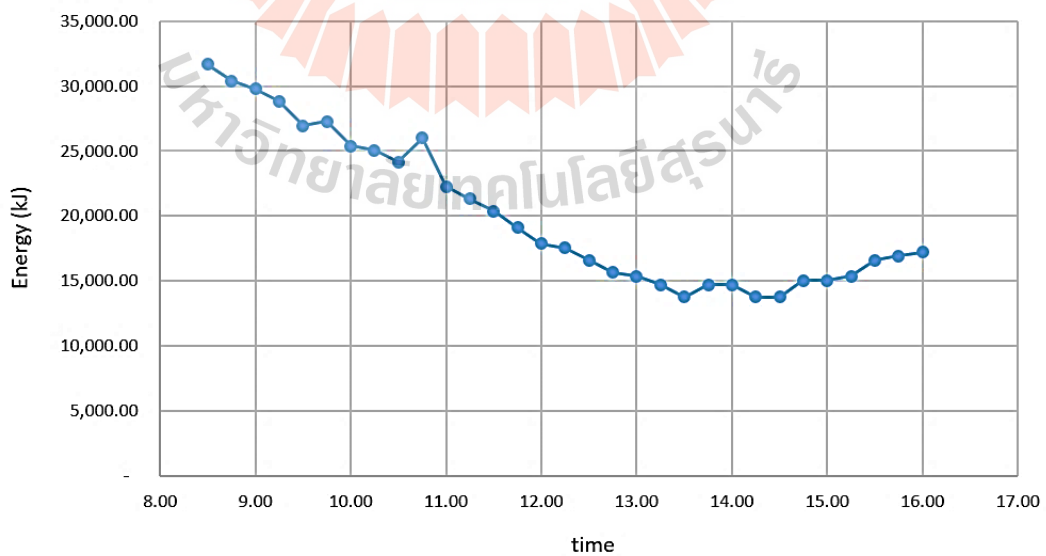




ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนของน้ำในถังและแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหล 12 ลิตร/นาที

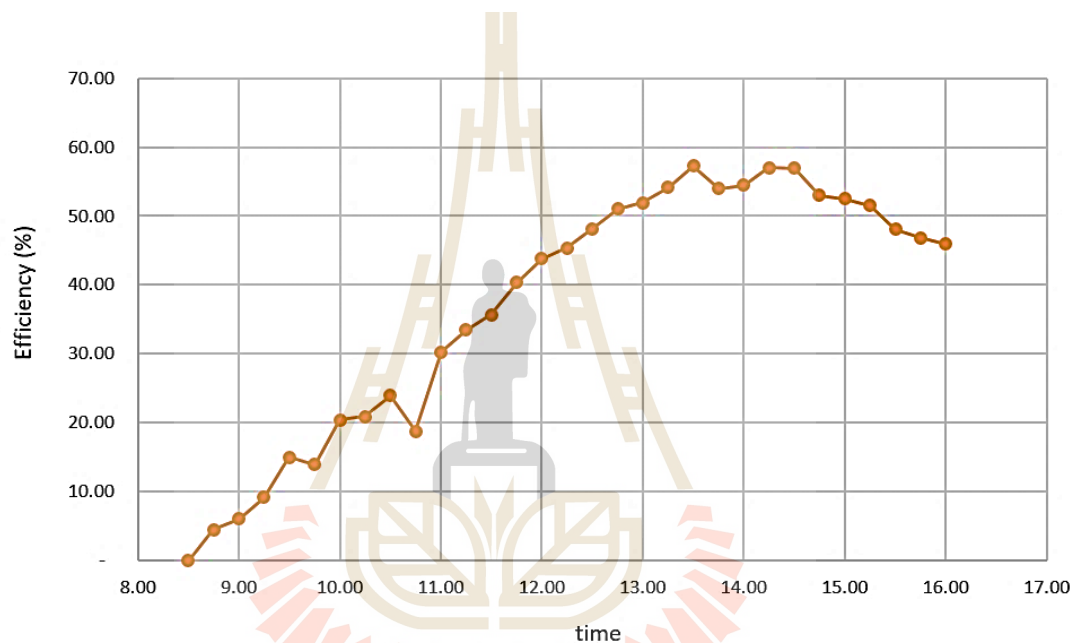
#### 4.3 การผลิตน้ำร้อนร่วมของระบบไฟฟ้าและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์

ที่เงื่อนไขการทำงานที่ดีที่สุดซึ่งทราบได้จากการทดสอบในหัวข้อ 4.2 พบว่า การใช้อัตราการไหลของน้ำ 6 ลิตร/นาที โดยใช้การบังคับการไหลแบบไหลวนสามารถทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นได้รวดเร็วที่สุด จากนั้นน้ำร้อนที่ได้จะถูกฮีตเตอร์ไฟฟ้าทำความร้อนเพิ่มขึ้นเพื่อให้มีอุณหภูมิอย่างน้อย  $80^{\circ}\text{C}$  สำหรับการนำไปใช้งานในโรงรีดนมโคต่อไป พลังงานไฟฟ้าที่ฮีตเตอร์ต้องใช้ในกรณีนี้ แสดงดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 พลังงานไฟฟ้าที่ต้องจ่ายเพิ่มให้กับระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์

การทำน้ำอุณหภูมิ 30°C ปริมาณ 150 ลิตร ให้มีอุณหภูมิสูง 80°C ด้วยพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวต้องใช้พลังงาน 31,663 kJ ในระบบที่มีการติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้อย่างมาก โดยใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด 13,794 kJ เมื่อความร้อนของแผงรับแสงมีค่ามากพอซึ่งสามารถทำให้น้ำในถังเก็บมีอุณหภูมิสูงได้ถึง 58°C ที่เวลาประมาณ 14.30 น. ก่อนที่จะเข้าสู่ถังเก็บที่ 2 และถูกเพิ่มอุณหภูมิด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้า เมื่อคำนวณเป็นค่าประสิทธิภาพพบว่าการทำงานร่วมกันของทั้งสองระบบสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้สูงสุดถึงร้อยละ 57.24 ดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของระบบ

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์แบบอัตโนมัติ เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 80°C ปริมาณ 150 ลิตร สำหรับใช้ในโรงเรียนปศุสัตว์ ซึ่งได้สร้างระบบต้นแบบและทำการทดสอบที่โรงรีดนมโค ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประกอบไปด้วยการศึกษา 2 ส่วน คือ ระบบต้นแบบขนาดเล็กและระบบต้นแบบจริง ผลการศึกษาพบว่า ระบบต้นแบบขนาดเล็กที่ใช้การควบคุมอัตโนมัติ ประกอบด้วยแผงรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1,000 W ในถังน้ำ และปั้มน้ำ ทดสอบระบบด้วยการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 70°C ในช่วงเวลา 13.00 น. – 15.00 น. 3 แบบ คือ แบบใช้แสงอาทิตย์อย่างเดียว แบบทำงานร่วมกันอัตโนมัติ และแบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว พบว่าอุณหภูมิน้ำที่ได้จากระบบทำความร้อน และน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเฉลี่ยเป็น 68.2°C กับ 48.1°C, 70.3°C กับ 66.6°C และ 22.8°C กับ 67.5°C ตามลำดับ โดยที่การทำงานแบบทำงานร่วมกันอัตโนมัติ และแบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวใช้พลังงานไฟฟ้า 2,160 kJ และ 2,520 kJ ในเวลา 2 ชั่วโมงตามลำดับ ในส่วนของระบบต้นแบบ ติดตั้งรางพาราโบลา พื้นที่รับรังสี 24 m<sup>2</sup> ทำการทดสอบผลิตน้ำร้อนปริมาณ 150 ลิตร ในช่วงเวลา 8.30 - 16.30 น. ด้วยอัตราการไหล 6 9 และ 12 ลิตร/นาที พบว่า การบังคับให้น้ำไหลวนจากแผงกลับถัง มีค่าอัตราการความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.19 1.02 และ 0.91 kW ตามลำดับ และประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.67 4.30 และ 4.01 ตามลำดับ การทดสอบโดยให้น้ำรับความร้อนเพียงรอบเดียว มีค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ 3.14 3.45 และ 6.70 kW และประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 13.46 14.50 และ 28.47 โดยที่ระบบแบบบังคับการไหลวนกลับของน้ำที่อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที สามารถทำอุณหภูมิได้สูงและเร็วที่สุด ภายหลังจากทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนร่วมระหว่างฮีตเตอร์ไฟฟ้าและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่อัตราการไหลน้ำแบบไหลวน 6 ลิตร/นาที พบว่าลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจาก 31,663 kJ ได้น้อยที่สุดเหลือ 13,794 kJ และเมื่อความร้อนของแผงรับแสงมีค่ามากพอซึ่งสามารถทำให้น้ำในถังเก็บมีอุณหภูมิสูงได้ถึง 58°C ที่เวลาประมาณ 14.30 น. คิดเป็นค่าประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้สูงสุดร้อยละ 57.24

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรพัฒนาต่อให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้สามารถติดตั้งและใช้งานได้ง่ายขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎีกา เนียมแสง, “ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศ ปี2558 [ออนไลน์]”, 2558, ได้จาก:  
<http://ict.dld.go.th/>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “การใช้พลังงานสาขาเกษตรกรรม (Energy Consumption for Agricultural Sector) [ออนไลน์]”, 2557, ได้จาก:  
<http://www4.dede.go.th/>
- กองสารสนเทศ ฝ่ายสื่อสารองค์กร กฟผ., “สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี2559[ออนไลน์]”, 2559, ได้จาก: <http://www.egat.co.th/>
- คนธรส ถินสูงเนิน, ระบบผลิตน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบตัวรับพาราโบลา-ฮีตเตอร์ไฟฟ้า แบบอัตโนมัติ, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 17, นนทบุรี, 2559.
- จิรพงศ์ ศรีวิชัย, “การพัฒนาเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า”. Pathumwan Academic Journal, Vol. 4, pp. 11 – 25.
- เวชกรรมป้องกัน, “การทำลายเชื้อโรค[ออนไลน์]”, 2556, ได้จาก: <http://cyberlaws-cowboy2007.blogspot.com>.
- หริรักษ์ ควรประดิษฐ์. 2556. การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบจานรวมรังสีใน กระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร. ปริญญาโท กศ.ม.(อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- อรัญ จันทรลุน, “การล้างทำความสะอาดและบำรุงรักษาอุปกรณ์รีดนม [ออนไลน์]”, 2554, ได้จาก:  
<http://vet.kku.ac.th>.
- A. Fernández-García, “Parabolic-trough solar collectors and their applications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2010, pp. 1695–1721
- F. Sahnoune, “Comparative study between solar and conventional heating – Economic study and environmental impact”, *Energy Procedia* 50, 2014, pp. 841 – 852.
- Fernández-García, A., et al. "Parabolic-trough solar collectors and their applications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14.7 (2010): 1695-1721.
- Govindaraj Kumaresan, “Performance studies of a solar parabolic trough collector with a thermal energy storage system”, *Energy* 47, 2012, pp. 395-402.
- Hsieh, Jui Sheng.1993. *Engineering thermodynamics*. Prentice Hall.
- Incropera, Frank P. 2013. *Foundations of heat transfer*. Wiley

- Irving Eleazar Perez Montes,” Design and Construction of a Parabolic Trough Solar Collector for Process Heat Production”, Energy Procedia 57, 2014, pp. 2149 – 2158.
- Y. Tian a, “A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications”, Applied Energy 104, 2013, pp. 538–553.







The 17<sup>th</sup> TSAE National Conference and The 9<sup>th</sup> TSAE International Conference : TSAE 2016  
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17 ประจำปี 2559 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 9

TEI-03

### ระบบผลิตน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบตัวรับพาราโบลา-ฮีตเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

คนธรส ถินสูงเนิน<sup>1\*</sup>, บุญชนิด ศรีชอบธรรม<sup>1</sup>, ลักส์ติยา ศรีบุญ<sup>1</sup>, จันทร์จิรา ประทุมพงษ์<sup>1</sup>, กระจวี ตรีอำนาจ<sup>1</sup> และ  
เทวรัตน์ ตรีอำนาจ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

ผู้เขียนติดต่อ: คนธรส ถินสูงเนิน E-mail: kontaroszz@gmail.com

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์แบบอัตโนมัติ ระบบประกอบด้วยถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนที่ควบคุมระดับน้ำด้วยวาล์วลูกลอย แผงรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1,000 W ในถังน้ำ ปั๊มน้ำและตัวควบคุมอุณหภูมิ น้ำ ระบบจะทำงานโดยตัวควบคุมจะตรวจสอบพลังงานของแผงรับแสงอาทิตย์ว่าเพียงพอต่อการผลิตน้ำร้อนหรือไม่ หากเพียงพอการผลิตน้ำร้อนจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ก่อนเสมอ หากไม่เพียงพอ ระบบจะสลับการทำงานไปใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าช่วยในการผลิตน้ำร้อน การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นใช้การทดลองผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 70°C ช่วงเวลา 13.00 น. – 15.00 น. 3 แบบ คือ แบบใช้แสงอาทิตย์อย่างเดียว แบบทำงานร่วมกันอัตโนมัติ และแบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว พบว่าอุณหภูมิที่ได้อาจระบบทำความร้อน และน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเฉลี่ยเป็น 68.2°C กับ 48.1°C, 70.3°C กับ 66.6°C และ 22.8°C กับ 67.5°C ตามลำดับ โดยที่การทำงานแบบทำงานร่วมกันอัตโนมัติ และแบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวใช้พลังงานไฟฟ้า 2,160 kJ และ 2,520 kJ ในเวลา 2 ชั่วโมงตามลำดับ

คำสำคัญ: น้ำร้อน, พลังงานแสงอาทิตย์, ระบบอัตโนมัติ

### Automatic Combination of Parabolic Solar collector – Electric Heater Hot Water Production System

KontarosTinsungnoen<sup>1\*</sup>, BoonchanidSrichobtham<sup>1</sup>, LaktiyaSriboon<sup>1</sup>, Janjira Prathumpong<sup>1</sup>,  
Krawee Treemnu<sup>1</sup>, Tawarat Treemnu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering Institute of Engineering Suranaree University of technology, NakhonRatchasima, 30000.

<sup>2</sup>School of Agricultural Engineering Institute of Engineering Suranaree University of technology, NakhonRatchasima, 30000.

Corresponding author: KontarosTinsungnoen. E-mail: kontaroszz@gmail.com

#### Abstract

This article was to present the automatic combination of parabolic solar collector – electric heater hot water production system. The system consists of insulated hot water tank controlled water level by floating valve, parabolic solar collecting trough, 1,000 W of electric heater in tank, water pump and water temperature controller. The system operates by measuring and verification the sufficient energy of solar collector for the hot water production. If the energy is insufficient the controller will switches the heat source for hot water production to electric heater. Testing of the developed system by produce a 70°C of hot water on 13.00 – 15.00 pm period time of the day in 3 experiments include of only solar energy, automatically combination of solar energy – electric heater and only electric heater. The results found the average temperature of produced hot water and water in the tank in 3 experiments were 68.2°C 48.1°C, 70.3°C 66.6°C and 22.8°C 67.5°C respectively. The automatically combination of solar energy – electric heater and only electric heater consume 2,160 kJ และ 2,520 kJ of energy respectively.

Keywords: Hot water, Solar energy, Automatic system







## 1 บทนำ

น้ำร้อนถือว่ามืบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างมากทั้งในภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม และภาคครัวเรือน ส่วนใหญ่ใช้ระบบไฟฟ้าในการทำความร้อน แต่เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี จึงมีแนวคิดที่จะนำแสงอาทิตย์มาใช้ในการทำน้ำร้อนเพราะเป็นพลังงานสะอาดและไม่มีวันหมด

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีการทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (solar collector) เป็นการดูดกลืนความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยถ่ายเทความร้อนให้แก่ของไหล(Working fluid) ที่วิ่งอยู่ภายในท่อ สามารถแบ่งประเภทตามรูปแบบการรวมรังสีคือ 1.แบบรวมรังสีเป็นจุด (point-focus solar collector) ได้แก่ ระบบรวมรังสีเข้าหรือรับแสง (central receiver system) และจานรวมรังสีเป็นจุด (parabolic dishes) 2.แบบรวมรังสีเป็นเส้น (line-focus solar collector) ได้แก่ เลนส์สะท้อนรวมรังสี (fresnel collector) และ จานรวมรังสีเป็นเส้น (parabolic trough collector)(Garcia, A., et al., 2010 และ ทวีรัช, 2556) ทุกประเภทที่กล่าวมานั้นสามารถทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ทั้งสิ้นแต่เนื่องจากระบบที่ต้องการทำการทดสอบนี้ต้องการทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิไม่สูง (ประมาณ 70°C) ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบจานรวมรังสีเป็นเส้น นอกจากเหตุผลข้างต้นแล้วยังมีเหตุผลอื่นๆที่นำมาประกอบการพิจารณาเลือกประเภทของตัวเก็บรังสีคือ จานรวมรังสีแบบเส้นสามารถติดตั้งได้ง่ายไม่ซับซ้อน ประหยัดพื้นที่และใช้งบประมาณไม่สูงเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับภาคเกษตรกรรม

แต่เนื่องจากบางเวลาความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการผลิตน้ำร้อน งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะสร้างระบบการทำงานร่วมกันแบบอัตโนมัติระหว่างระบบการทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับฮีตเตอร์ไฟฟ้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำน้ำร้อนและยังช่วยลดการใช้ไฟฟ้าอีกทางหนึ่งด้วย

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การทำงานของเครื่องต้นแบบและการออกแบบสร้าง

ระบบต้นแบบในงานวิจัยนี้เป็นระบบเปิดประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทำน้ำร้อน 2 ชนิดคือ ตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (Solar collector) และฮีตเตอร์ไฟฟ้า (Heater) ขนาด 1000 W โดยมีส่วนประกอบดัง figure 1 และ table 1

- ถังเก็บน้ำเพื่อใช้หมุนเวียนในระบบ (no.1 ใน figure 1) นำไปถังถูกสูบหมุนเวียนในระบบด้วยปั๊มที่ติดตั้งอยู่ภายในและติดตั้ง Thermocouple Type K สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำในถัง (T2) ควบคุมระดับน้ำด้วยวาล์วเติมน้ำแบบลูกกลอย

- แผ่นอลูมิเนียมติดตั้งเป็นรูปพาราโบลา (no.3 ใน Figure 1) เพื่อใช้เป็นแผงสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังแนวโฟกัสซึ่งติดตั้งท่อทองแดงทาสีดำที่มีน้ำไหลอยู่ภายในท่อ (no.2 ใน figure 1) ติดตั้ง thermocouple สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำในระบบรับแสง (T2) และเชื่อมต่อท่อน้ำนี้ระหว่างแผงทั้ง 3 แผงด้วยข้องอ (no.4 ใน figure 1)

- กลองควบคุม (no.5 ใน Figure 1) ประกอบด้วยวงจร magnetic relay และ thermostat รับค่าอุณหภูมิ T1 และ T2 และมีการทำงานดัง figure 2

Table 1 Specification defined of system

Design specification	
Storage tank capacity	15.0 l
Absorber tube diameter	2/8 inch
Collector length	6m
Collector aperture area	3 m <sup>2</sup>
Electric heater power	1,000 W
pump power	40 W
Working fluid	water
Volume flow rate	33.746 ml/s

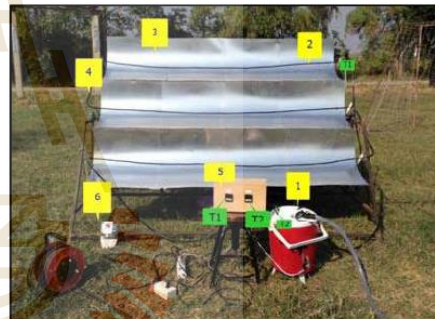


Figure 1 Elements of the parabolic trough solar collector system

ระบบต้นแบบนี้กำหนดให้ทำอุณหภูมิในช่วง 60-70°C เริ่มต้นการทำงานด้วยการวัดอุณหภูมิของน้ำในถังที่ตำแหน่ง T<sub>2</sub> หากมีค่าไม่ถึง 70°C ระบบจะตรวจสอบอุณหภูมิของท่อน้ำที่แผงรับแสงอาทิตย์ T<sub>1</sub> หากมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 75°C จะสั่งให้ปั๊มส่งน้ำจากถังเก็บน้ำไปยังแผงรับแสงอาทิตย์และจะส่งกลับเข้าสู่ถังเก็บน้ำ หากพบว่าไม่เป็นไปตามเงื่อนไข ระบบจะสั่งการให้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเริ่มทำงาน และทำการวัดอุณหภูมิของน้ำ จนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 70°C ระบบจะหยุดทำงานและสามารถนำน้ำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆได้ ดัง figure 2

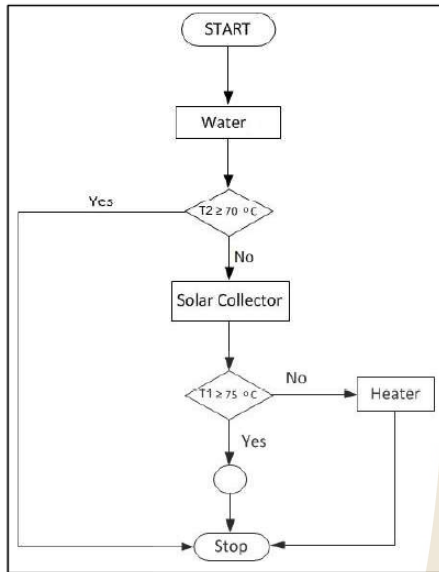


Figure 2 Flow chart of the control system

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทำการทดสอบระบบในเดือน กุมภาพันธ์ 2559 โดยวางแผงรับแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ ในมุมที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด (เอียงทำมุม 14 องศากับแนวระดับ) ช่วงเวลาทำการทดสอบระบบคือ 13.00 – 15.00 น. ทำการวัดค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T<sub>1</sub> และ T<sub>2</sub> วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ด้วยเครื่องมือวัด solar power meter ยี่ห้อ tenmars รุ่น TM-208 และจัดบันทึกมิเตอร์ไฟฟ้า (no.6 ใน Figure 1) ทุกๆ 10 นาที แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณี คือ 1) ใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าอย่างเดียว 2) ใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว 3) ใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า

ในการทดสอบมีการติดมิเตอร์ไฟฟ้าสำหรับอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทำความร้อน (Q<sub>elec</sub>) จาก eq (1)

$$P_{elec} = (kW \cdot hr)(3,600 \text{ sec/hr}) \quad (1)$$

การทดสอบระบบที่ 2 และ 3 คำนวณค่าความร้อนที่น้ำได้รับจากแสงอาทิตย์ เป็น Q<sub>solar</sub> เมื่อถึงบรรจุน้ำปริมาณ 12 liter จาก eq (2) (Sheng, 1993)

$$Q_{solar} = mC(T_2 - T_1) \quad (2)$$

เมื่อ C คือความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg·°C) T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> คืออุณหภูมิของน้ำในระบบและอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บตามลำดับ (°C)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

จากfigure 3 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T<sub>1</sub> คืออุณหภูมิของน้ำในระบบ T<sub>2</sub>คืออุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำและ Power คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทำน้ำร้อน เริ่มตั้งแต่เวลา 16.40 – 18.40 น. โดยปล่อยให้ระบบทำงานเองโดยอัตโนมัติและทำการบันทึกผล จากการพบว่าอุณหภูมิของน้ำในระบบลดลงเรื่อยๆตามอุณหภูมิของอากาศในเวลาทดสอบ อุณหภูมิสูงสุดภายในถังเก็บอยู่ในช่วงเวลา 17.00 – 17.20 น. หลังจากช่วงเวลาดังกล่าวระบบสามารถรักษาระดับอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บไว้ที่ 70°C และใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลงเนื่องจากพลังงานความร้อนที่สะสมในน้ำดัง figure 4 จะเห็นว่าฮีตเตอร์ทำงานสูงสุดที่เวลา 16.50 น. ใช้กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า 1.2 kW หลังจากนั้นจะลดการทำงานลงอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดสอบคือ 67.46°C

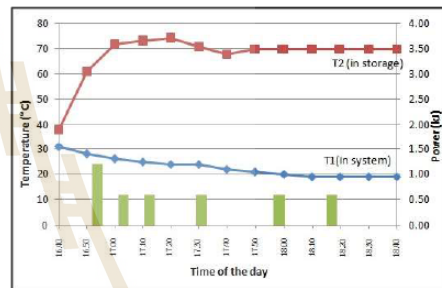


Figure 3 Temperature and Power under difference time of the day in only electric heater system.

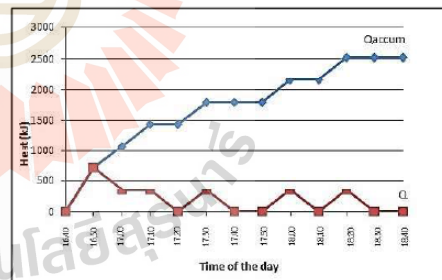


Figure 4 effect of heat gain on difference time in only electric heater system.

3.2 ผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

จากfigure 5 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T<sub>1</sub> และ T<sub>2</sub> ทำการทดสอบและจัดบันทึกผลตั้งแต่เวลา 13.00 – 15.00 น. จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิทั้งสองตำแหน่งมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน นั่นคือแปร







ผันตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในเวลาทำการทดสอบ โดยแปลงให้อยู่ในรูปของกำลังงาน จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ทดสอบนั้นมีกำลังงานสูงเฉลี่ย 3.04 kW ทำงานต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาที่ทดสอบ อุณหภูมิที่ทำได้นั้นไม่คงที่เป็นผลจากความไม่สม่ำเสมอของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิเฉลี่ยของระบบตลอดการทดสอบเท่ากับ 68.15°C ซึ่งใกล้เคียงกับระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และความร้อนสะสมในน้ำยังมีค่าสูงดังแสดงใน figure 6

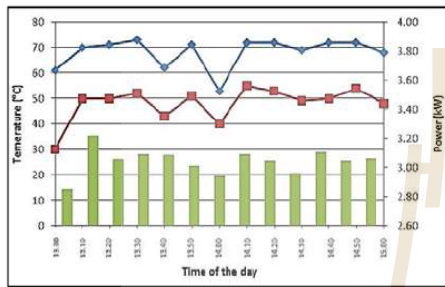


Figure 5 Temperature and Power under difference time of the day in only solar collector system.

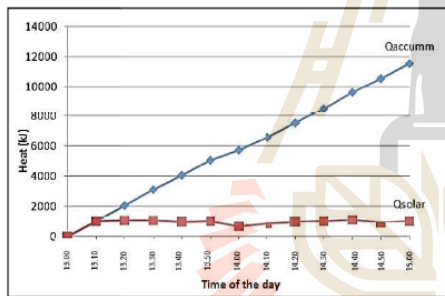


Figure 6 effect of heat gain on difference time in only solar collector system.

เมื่อเปรียบเทียบ figure 4 กับ figure 6 จะเห็นว่าความชันของกราฟระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าค่ามากกว่าแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นผลมาจากความไวในการตอบสนองของระบบฮีตเตอร์ไฟฟ้าคือเริ่มทำงานและร้อนทันทีที่อุณหภูมิไม่ถึงค่าที่ตั้งไว้ ส่วนระบบแสงอาทิตย์มีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อนกว่าทำให้ไม่สามารถตอบสนองได้เร็วเท่าแบบฮีตเตอร์ไฟฟ้า แต่จะสังเกตเห็นว่าความร้อนสะสมในน้ำของระบบผลิตน้ำร้อนที่ใช้แสงอาทิตย์สูงกว่าแบบฮีตเตอร์ไฟฟ้าและมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อพิจารณาความร้อนกับกำลังที่ใช้ในการทำน้ำร้อนของระบบแสงอาทิตย์ใน figure 7 จะเห็นว่าความร้อนที่น้ำได้รับแปรผันไปตามความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์

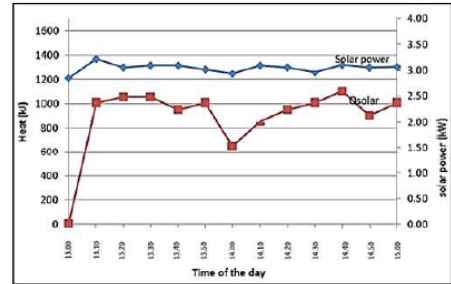


Figure 7 Heat gain and Solar power under difference Time in only solar collector system.

### 3.3 ผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า

จาก figure 8 แสดงผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า จะเห็นว่าอุณหภูมิของน้ำในระบบแปรผันตลอดเวลาเป็นผลเนื่องจากการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในการให้ความร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยของระบบคือ 70.31°C เมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบร่วมแล้วพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ทำน้ำร้อนลดเฉลี่ยใช้กำลัง 0.66 kW

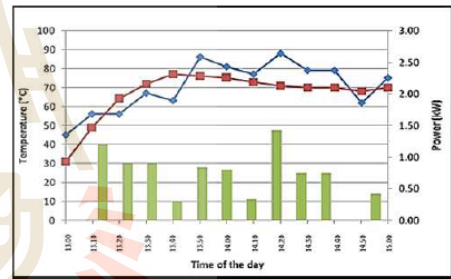


Figure 8 Temperature and Power under difference time of the day in Hybrid system.

จาก figure 9 จะเห็นได้ว่าการทำงานสลับกันระหว่างฮีตเตอร์ไฟฟ้าและระบบแสงอาทิตย์ ระบบแสงอาทิตย์ให้ความร้อนสะสมเฉลี่ย 1,153.68 kJ ระบบฮีตเตอร์ไฟฟ้าให้ความร้อนสะสมเฉลี่ย 1,758.46 kJ และจะสังเกตเห็นอีกว่าที่เวลา 13.00 -13.40 น. มีรังสีดวงอาทิตย์มีกำลังงานที่ค่อนข้างสูงแต่น้ำไม่ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นผลมาจากการตอบสนองของระบบแสงอาทิตย์ที่มีความซับซ้อนมากกว่าทำให้ใช้เวลาในการเริ่มกระบวนการช้ากว่า ดังจะเห็นได้จาก figure 10



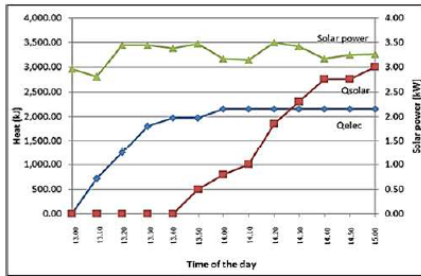


Figure 9 Accumulative heat gain and Solar power under difference Time in Hybrid system.

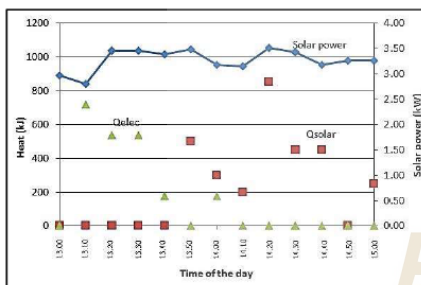


Figure 10 Heat gain and Solar power under difference Time in Hybrid system.

Table 2 Comparative of Temperature and Accumulative heat gain for testing.

solution	T1,avg (8C)	T2,avg (8C)	Qaccum (kJ)	
			Electric heater	Solar collector
Use electric heater 1000 W	22.85	67.46	1,689.23	-
Use Solar trough collector system	68.15	48.08	-	11,536.80
Hybrid system	70.31	66.62	1,758.46	1,153.68

4 สรุป

การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์แบบอัตโนมัติ ระบบประกอบด้วยถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนที่ควบคุมระดับน้ำด้วยวาล์วกลุกลอย แผงรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1,000 W ในถังน้ำปั๊มน้ำและตัวควบคุมอุณหภูมินี้ ระบบจะทำงานโดยตัวควบคุมจะตรวจสอบพลังงานของแผงรับแสงอาทิตย์ว่าเพียงพอต่อการผลิตน้ำ

ร้อนหรือไม่ หากเพียงพอการผลิตน้ำร้อนจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ก่อนเสมอ หากไม่เพียงพอ ระบบจะสลับการทำงานไปใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าช่วยในการผลิตน้ำร้อนการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นใช้การทดลองผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 70°C ช่วงเวลา 13.00 น. – 15.00 น. 3 แบบ คือ แบบใช้แสงอาทิตย์อย่างเดียว แบบทำงานร่วมกันอัตโนมัติ และแบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว พบว่าอุณหภูมิที่ได้จากระบบทำความร้อน และน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเฉลี่ยเป็น 68.2°C กับ 48.1°C, 70.3°C กับ 66.6°C และ 22.8°C กับ 67.5° ตามลำดับ โดยที่การทำงานแบบทำงานร่วมกันอัตโนมัติ และแบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวใช้พลังงานไฟฟ้า 2,160 kJ และ 2,520 kJ ในเวลา 2 ชั่วโมงตามลำดับ

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงโดยได้รับความร่วมมือจากหลายหน่วยงาน ขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

Fernández-García, A., et al. "Parabolic-trough solar collectors and their applications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14.7 (2010): 1695-1721.  
 Hsieh, Jui Sheng.1993. *Engineering thermodynamics*. Prentice Hall.  
 Incropera, Frank P. 2013. *Foundations of heat transfer*. Wiley  
 ทรัพย์สิน์ คุวประดิษฐ์. 2556. การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบงานรวมรังสีในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร. ปริญญาโท กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.



การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2

The 2<sup>nd</sup> National Conference on Informatics, Agriculture, Management,  
Business Administration, Engineering, Sciences and Technology



## สมรรถนะการผลิตน้ำร้อนของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบล่า Performance of Hot Water Production by Parabolic Trough Solar Collector

คนธรส ถินสูงเนิน<sup>1\*</sup>, กฤษดา สายแสง<sup>1</sup>, ศักรินทร์ ปาปะเก<sup>1</sup>, พชร วงศ์ไพศาลกิจ<sup>1</sup>,  
กระวี ตรีอำรรค<sup>1</sup> และ เทวรัตน์ ตรีอำรรค<sup>2</sup>

Kontaros Tinsungnoen, Kridsada Saisang, Sakkarin Papakae,  
Patchara Wongpaisarnkit, Krawee Treamnuk and Tawarat Treamnuk

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบสมรรถนะของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบล่า ซึ่งติดตั้งเพื่อผลิตน้ำร้อนสำหรับใช้ในอาคารผลิตนมโค ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ตัวรับรังสีมีพื้นที่รับแสงแนวราบขนาดรวม 24 m<sup>2</sup> ทดสอบผลิตน้ำร้อน ปริมาณ 130 liter แบบไหลวนกลับถึงเก็บหุ้มฉนวน ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 ระหว่าง เวลา 9.00 น. – 16.00 น. โดยแปรค่าอัตราการไหลของน้ำเป็น 6 9 และ 12 l/min ผลการ ทดสอบพบว่า รังสีดวงอาทิตย์มีความเข้มเฉลี่ยสูงสุด 992.4 W/m<sup>2</sup> ที่เวลา 14.30 น. ของวัน โดยระบบสามารถเพิ่มอุณหภูมิให้น้ำสูงขึ้นได้ 30°C และอุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดที่สามารถทำได้ คือ 60°C ที่อัตราการไหลของน้ำ 12 l/min และประสิทธิภาพการรับพลังงานของตัวรับรังสี เริงกำลังมีค่าสูงสุดคือ 7.77% ณ เวลา 9.15 น. ที่อัตราการไหลของน้ำ 12 l/min

**คำสำคัญ:** พลังงานแสงอาทิตย์, การผลิตน้ำร้อน, รางพาราโบล่า

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000ประเทศไทย

\*อีเมลล์: kontaroszz@gmail.com

## ประวัตินักวิจัย

### 1. ชื่อ

(ภาษาไทย) นางเทวรัตน์ ตรีอำรรค  
(ภาษาอังกฤษ) Ms. Tawarat Treamnuk

### 2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

### 3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 300000  
โทร. 044-224583  
E-mail: [tawarat@sut.ac.th](mailto:tawarat@sut.ac.th)

### 4. ประวัติการศึกษา

วศ.บ (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542  
วศ.ม (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545  
วศ.ด (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551

### 5. ผลงานวิชาการ / ผลงานวิจัย

- 1) บัณฑิต จริโมภาส, ชัยพร ทองปัญญา, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, นฤมล บุญกระจ่าง และ มาลัย ไกรทอง. 2543. การศึกษาการยุบตัวของส้มเขียวหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งระหว่างการขนส่งทางบก. วารสารวิชาการเกษตร, ปีที่ 18 (2), หน้า 137-147.
- 2) สมยศ เชิญอักษร และ เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2546. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งระบบป้อนความร้อน. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2546 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 367-374.
- 3) บัณฑิต จริโมภาส และ เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2547. ภาชนะสุญญากาศสำหรับการทดสอบรอยร้าวของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว. 2547. บทความวิจัย เสนอในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 1 จัดโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ.นครปฐม วันที่ 7-9 ธันวาคม.



- 4) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2548. การอบแห้งพริกด้วยระบบลมร้อนและไมโครเวฟ. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2548 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 113-114.
- 5) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2549. การอบสมุนไพรด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบเป็นช่วง. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 112.
- 6) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2550. การอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ. วารสารวิชาการเกษตร. ปีที่ 25 (1), หน้า 46-57.
- 7) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, สมยศ เชิญอักษร, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, อนุพันธ์ เท็ดวงค์วรกุล และเชาว์ อินประสิทธิ์. 2550. การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบบ่มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ปีที่ 13 (1), หน้า 23-29.
- 8) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2251. ความชื้นสมดุลและจลศาสตร์การอบแห้งของไพล. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2551 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 86.
- 9) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2551. การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบบ่มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ: การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 39 ฉบับที่ 3 (พิเศษ), หน้า 164-167.
- 10) ธนัช มุขพันธ์, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, พรรษา ลิบลับ และวีรชัย อัจหาญ. 2552. การอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งหมุนแบบกะ. รายงานการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6., หน้า 582-588.
- 11) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, เกียรติศักดิ์ ใจโต, ธรรมรัตน์ ขาวสำอางค์ และกระวี ตรีอำนรรค. 2554. เครื่องแยกแกลบจากข้างกล้องซ้อมมือแบบประหยัด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 517-520.
- 12) พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, คธา วาทกิจ, พรรษา ลิบลับ, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อัจหาญ. 2554. การออกแบบและทดสอบเครื่องทำความสะอาดมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 501-504.
- 13) ปัทมา แก้วธรรม, วันพิทักษ์ คงสนุน, กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2554. การอบแห้งสับประรดแช่แข็งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน-ไมโครเวฟ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 493-496.
- 14) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2554. ความชื้นสมดุลและคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของไพล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 (พิเศษ): 139-142.
- 15) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อัจหาญ. 2554. การอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบบ่มความร้อน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการครั้งที่ 12 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 31 มีนาคม – 1 เมษายน 2554 ณ ชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี.



- 16) วิเชียร ดวงสีเสน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อัจหาญ. 2555. การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. การประชุมสัมมนาวิชาการครั้งที่ 13 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 4-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิงจังหวัดเชียงใหม่, หน้า 660-666.
- 17) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, ปรีศนา แสงรุ่ง ปัตตะนี สุดตะนะ. 2555. สมบัติทางกายภาพและความร้อนของข้าวขาวดอกมะลิ 105. การประชุมสัมมนาวิชาการครั้งที่ 13 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 4-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิงจังหวัดเชียงใหม่, หน้า 526-531.
- 18) ศักยะ สมบัติไพรวิน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และกระวี ตรีอำนาจ. 2555. การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว. การประชุมสัมมนาวิชาการครั้งที่ 13 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 4-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิงจังหวัดเชียงใหม่, หน้า 518-525.
- 19) เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, เกียรติศักดิ์ ใจโต, วีรชัย อัจหาญ และกระวี ตรีอำนาจ. 2555. การอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 135-138.
- 20) กระวี ตรีอำนาจ เทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2556. การพัฒนาและทดสอบเครื่องรีดและกรีตเส้นผักตบชวาสำหรับงานหัตถกรรม. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ปีที่ 19 (1), หน้า 25-30.
- 21) วิเชียร ดวงสีเสน เทวรัตน์ ตรีอำนาจ นัยวัฒน์ สุขทั้ง วีรชัย อัจหาญ. 2556. การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ปีที่ 19 (1), หน้า 7-13.
- 22) เทวรัตน์ ตรีอำนาจ อธิพรรณ ชันธเสน และ กระวี ตรีอำนาจ. 2556. เครื่องคัดขนาดกลีบกระเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 44:3 (พิเศษ): 466-469
- 23) นาฏชนก ปรางปรุ วิเชียร ดวงสีเสน เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และเกียรติศักดิ์ ใจโต. 2556. การทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 382-386, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.
- 24) เบญจวรรณ วานมนตรี เทวรัตน์ ตรีอำนาจ ภัทรา จิตกุล และวุฒินา สิงห์คง. 2556. การศึกษาการอบแห้งไส้ข้าวกล้องงอกกิ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 520-523, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.
- 25) ธนากร แนวกลาง เทวรัตน์ ตรีอำนาจ วีรชัย อัจหาญ และกระวี ตรีอำนาจ. 2556. การปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตร

แห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 680-684, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.

26) เกียรติศักดิ์ ใจโต เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และกระวี ตรีอำนาจ. 2556. เครื่องรีดและกรีตผักตบชวา , ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 266-270, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.

27) กระวี ตรีอำนาจ, สถาพร แต่งสี, วรุฒ เนตรสว่าง และเทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2557. การทดสอบและประเมินผลเครื่องคว้านลำไยกึ่งอัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 45(3/1)(พิเศษ), หน้า 317-320.

28) เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, ธนากร แนวกลาง, พยงค์ ลบแจ้ง, วรณวิษา ไยงเหลือม และกระวี ตรีอำนาจ. 2557. การศึกษาความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลของวัสดุกันกระแทกจากกระดาดข่าฟางข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 45(3/1)(พิเศษ), หน้า 369-372.

29) เกียรติศักดิ์ ใจโต, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, นาฎชนก ปรางปรุ, เบญจวรรณ วานมนตรี, และกระวี ตรีอำนาจ. 2557. ผลกระทบของค่าความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเนื้อมะพร้าวชูด. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 (หน้า 557-561), สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2-4 เมษายน 2557, ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ.อยุธยา.

30) เบญจวรรณ วานมนตรี, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, เกียรติศักดิ์ ใจโต, และนาฎชนก ปรางปรุ. 2557. อิทธิพลของสภาวะไฮโดรสแตติกต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของไข่เป็ด. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 (หน้า 573-578), สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2-4 เมษายน 2557, ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ.อยุธยา.

31) เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, ธนากร แนวกลาง และกระวี ตรีอำนาจ. 2558. ความสามารถในการปกป้องผล แอปเปิ้ลของวัสดุกันกระแทกจากกระดาดข่าฟางข้าวภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนจำลอง. วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร 46:3/1 (พิเศษ) : 473-476

32) เกียรติศักดิ์ ใจโต เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และกระวี ตรีอำนาจ. 2558. ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อ การอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบต. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตร แห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. หน้า 505-508. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร

33) ธนากร แนวกลาง, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ , วีรชัย อัจหาญ และ กระวี ตรีอำนาจ . 2558. การทดสอบความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยกระดาดข่าฟางข้าวด้วย วิธีการทดสอบแบบ ballistic pendulum. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16.

หน้า 509-513. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร.

34) นาฎชนก ปรางปรุ เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และกระวี ตรีอำนาจ. 2558. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของสารตัวพาทที่มีผลต่อกระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง. ใน การประชุม วิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. หน้า 480-485. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร.

35) เบญจวรรณ วานมนตรี และเทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2558. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงภายในไข่เยี่ยวม้าที่ผลิตภายใต้สภาวะความดันสูงเทียบกับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด. ใน การประชุมวิชาการสมาคม วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. หน้า 475-476. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่ง ประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร

36) จีระศักดิ์ ปาประกอบ นัยวัฒน์ สุขทั้ง เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และวีรัชย์ อาจหาญ. 2558. การอบแห้งมันเส้นสะอาดด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29. 1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา.

37) Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnaksorn. 2006. Thai aroma herb drying with microwave assisted heat pump dryer. Proceedings of the 13 th Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2006, Oct. 29-Nov. 2. Mie University, Japan. Pp. 278-281.

38) Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnaksorn. 2007. Performance Study of Heat pump-Microwave Combination Dryer. Proceeding of International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, 21-24 January, Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kean, Thailand. Page 35.

39) Nartchanok PRANGPRU, Kaittisak JAITO, Benjawan VANMONTREE, Tawarat TREEMNUK and Krawee Treamnuk. 2014. Comparing the Efficiency of Carrier Type on Drum Drying of Tamarind Juice, in 7th International Conference on Agricultural Engineering, 2nd – 4th April 2014, Krungsri river Hotel Pranakhornsriayothanya, 114-120.

40) Prangpru, N. Treamnuk, T., Jaito, K. Vanmontree, B. & Treamnuk, K. 2015. Comparing the Efficiency of Two Carrier Tyes on Drum Drying of Tamarind Juice. Thai Society of Argiculturea Engineering Journal, 21(1) : 1-6.