



เตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล
A prototype solar furnace for seawater desalination

โชติกา เรืองขจิตร
Chotika Ruengkajit
พงศ์พันธุ์ ไตรมาศ
Pongpun Traimas

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล
A prototype solar furnace for seawater desalination



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A PROTOTYPE SOLAR FURNACE FOR SEAWATER DESALINATION



CHOTIKA RUENGAJIT

PONGPUN TRAIMAS

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING



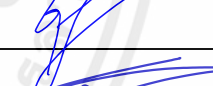

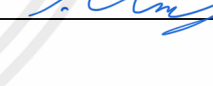
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล
PROJECT TITLE A PROTOTYPE SOLAR FURNACE FOR SEAWATER DESALINATION
ชื่อนักศึกษา นางสาวโชติกา เรืองขจิตร รหัสประจำตัว 60514016
 นายพงศ์พันธุ์ ไตรมาศ รหัสประจำตัว 60514033
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ดร.ศรียรัตน์ ช่วยบุญ
ปริญญาานิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล
ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.จรัสชัย	เย็นพยับ	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ดิษฐพร	ตุงโสธานนท์	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ชมพูนุช	กุลเกตุวงศ์	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ปราโมทย์	กุศล	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	
อ.ดร.ศรียรัตน์	ช่วยบุญ	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 29 พฤษภาคม 2564 เวลา 11:00-12:00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบออนไลน์ Modern Science and Technology for Sustainable Development

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ.2564

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวโชติกา	เรืองขจิตร	รหัสประจำตัว 60514016
	นายพงศ์พันธุ์	ไตรมาศ	รหัสประจำตัว 60514033
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมพลังงาน		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ศรียรัตน์ ช่วยบุญ		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล		

บทคัดย่อ

กระบวนการเปลี่ยนน้ำทะเลเป็นน้ำจืดมีมากมายหลายกระบวนการ แต่มีกระบวนการหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือการใช้กระบวนการทางความร้อนเป็นแหล่งพลังงานในการเปลี่ยนน้ำทะเลเป็นน้ำจืด ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกที่ดีในการใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างมากในปัจจุบัน และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์กลับมีค่าน้อยลงเมื่อถึงพื้นโลก ดังนั้นจึงนำเทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์เข้ามาช่วย งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบและติดตั้งเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล พร้อมระบบติดตามพระอาทิตย์ 2 แกน เพื่อต้มน้ำทะเลให้ถึงอุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส และนำไปกลั่นต่อในขั้นตอนต่อไป เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและปริมาณน้ำทะเลที่สามารถผลิตได้ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด ของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล จากการศึกษาพบว่าเตาพลังงานแสงอาทิตย์สามารถต้มน้ำทะเลได้ที่อุณหภูมิ น้ำทะเล 70 และ 90 องศาเซลเซียสตลอดวัน และสามารถต้มน้ำทะเลได้อุณหภูมิสูงสุด 101 องศาเซลเซียส โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ย 6.03% และ 8.23% ปริมาณน้ำทะเลที่สามารถผลิตเฉลี่ยวันละ 4 และ 0.95 ลิตรต่อวันที่อุณหภูมิ น้ำทะเลเท่ากับ 70 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครื่องรวมแสงอาทิตย์, การกลั่นน้ำทะเล, เตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานทางเลือก

Project Title	A prototype solar furnace for sea water desalination		
Student	Miss Chotika	Ruengkajit	Student ID 60514016
	Mr. Pongpun	Traimas	Student ID 60514033
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Energy Engineering		
Project Advisor	Dr. Srirat Chuayboon		
Project Co-advisor	Asst.Prof.Dr. Pramote Kuson		

ABSTRACT

Converting seawater into fresh water through thermal processes has been considered as one of the popular approaches. The use of solar heat as an external energy source to convert sea water into fresh water was of particular interest thanks to the solar energy that is the biggest environmentally-friendly, renewable energy source. However, the low intensity of solar energy becomes a main constrain when arriving to the Earth. Therefore, solar concentrating technologies are supplied to concentrate heat. The present study aims to design and fabricate a prototype solar furnace for seawater desalination with a 2-axis sun-tracking system for heating seawater to the targeted temperatures of 70 and 90 °C through the days. Absorbed heat, thermal efficiency, and temperature are evaluated. As a result, a prototype solar furnace for sea water desalination can effectively provide the targeted temperatures of 70 and 90 °C and can reach the maximum temperature exceeding 100°C. Average thermal efficiency was 6.03% and 8.23%, and the average sea water yield was 4 and 0.95 liter/day at the temperature of 70 and 90°C, respectively.

Keywords: solar concentrator, solar desalination, solar reactor, renewable energy

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ดร.ศรียรัตน์ ช่วยบุญ (อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์) และผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล (อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ร่วม) ที่คอยแนะนำ ช่วยเหลือ และติดตามความก้าวหน้าในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความครบถ้วนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่านและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้อย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ นายนพดล เกตุพิมล เจ้าหน้าที่ประจำอาคารปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมเกษตร และอาหาร ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือดูแลเกี่ยวกับเทคนิคการใช้งานอุปกรณ์ และอุปกรณ์ในการทำงาน และขอขอบคุณเพื่อนต่างกลุ่มทุกๆคนที่มีน้ำใจช่วยเหลือซึ่งกันและกัน

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่ขาดมิได้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง โดยให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังคอยเป็นกำลังใจเอาใจใส่ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล

โชติกา เรืองขจิตร

พงศ์พันธุ์ ไตรมาศ

พฤษภาคม 2564

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	3
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	3
1.4 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	5
2.2 ทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	5
2.3 พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย	7
2.4 เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์	8
2.5 งานรวมพลังงานแสงอาทิตย์และการออกแบบ	12
2.6 ระบบติดตามดวงอาทิตย์	21
2.7 ทฤษฎีการเปลี่ยนเฟสของน้ำ	23
2.8 การระเหย	25
2.9 การกลั่น	26
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	29
3.1 อุปกรณ์เครื่องต้นน้ำทะเลพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องมือทดสอบ	33
3.2 หลักการทำงานของชุดทดลองเครื่องต้นน้ำทะเลพลังงานแสงอาทิตย์	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล	37
3.4 วิธีการทดลอง	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	40
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	40
4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล	45
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการทดลอง	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก ตารางคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง	55
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง	59
ภาคผนวก ค วัสดุอุปกรณ์การทดลอง	68
ภาคผนวก ง แบบชิ้นส่วนเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล	83
ประวัติผู้จัดทำ	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายละเอียดหมายเลขต่าง ๆ ของ Schematic diagram เครื่องต้มน้ำทะเล พลังงานแสงอาทิตย์	30
3.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดทดลองต้นแบบต้มน้ำทะเลพลังงานแสงอาทิตย์	32
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ ที่อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 และ 90 องศาเซลเซียส และไม่กำหนดอุณหภูมิน้ำทะเลขาออก	47
ข.1 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเลที่ อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2564	60
ข.2 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเลที่ อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม 2564	61
ข.3 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเลที่ อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2564	62
ข.4 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเลที่ อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2564	63
ข.5 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเลที่ อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2564	64
ข.6 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเลโดย ไม่กำหนดอุณหภูมิน้ำทะเลขาออก เมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2564 ($T_{in} = 28^{\circ}\text{C}$)	65
ข.7 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเลโดย ไม่กำหนดอุณหภูมิน้ำทะเลขาออก เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2564 ($T_{in} = 30^{\circ}\text{C}$)	66
ข.8 แสดงผลการทดลองการเพิ่มของอุณหภูมิน้ำทะเลภายใน Chamber ทุก ๆ 1 องศาเซลเซียสของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเลเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2564	67
ค.1 แสดงช่วงอุณหภูมิที่เครื่องวัดอุณหภูมิสามารถวัดจากสายเทอร์โมคอปเปิล ชนิดต่าง ๆ ได้	75

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
	1 แสดงสัดส่วนของน้ำแต่ละชนิดที่มีอยู่ในโลก	2
	2.1 แสดงตำแหน่งของมุมอาซิมุท และมุมต่าง ๆ	6
	2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี (พ.ศ. 2560)	8
	2.3 ตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบล่า : ติดตามพระอาทิตย์แกน	9
เดี่ยว		
	2.4 โรงไฟฟ้าตัวรับแสงอาทิตย์ศูนย์กลาง	10
	2.5 ตัวสะท้อนแสงอาทิตย์เฟรสเนลแบบเส้นตรง	11
	2.6 ตัวรวมแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบล่า : ติดตามพระอาทิตย์ใน 2 ทิศทาง	12
	2.7 ตัวอย่างอุปกรณ์ของระบบจานรวมพลังงานแสงอาทิตย์	13
	2.8 ก azimuth-elevation tracking	14
	2.8 ข polar-equatorial tracking	14
	2.9 การออกแบบ solar concentrator dish	15
	2.10 ตัวรวมและตัวดูดซับแสงอาทิตย์	18
	2.11 ตัวจานรวมแสงอาทิตย์ (Solar concentrator dish)	19
	2.12 ตัวดูดซับแสงอาทิตย์ (Cavity receiver)	19
	2.13 แสดงลักษณะการต่อของชุดอุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์	21
	2.14 แสดงลักษณะวงจรการต่อชุดอุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์	22
	2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิที่บ่งบอกตำแหน่งเฟสของน้ำ	23
แต่ละสถานะ		
	2.16 การกลั่นแบบธรรมดา	27
	2.17 การกลั่นลำดับส่วน	28
	3.1 แสดง Schematic diagram ของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการ	29
กลั่นน้ำทะเล		
	3.2 เตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล	31
	3.3 แสดงลักษณะของจานพาราโบลิก	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 แสดงภาชนะต้มน้ำทะเล	34
3.5 แสดงฐานหรือขาตั้งจานรวมแสงพาราโบลิก	35
3.6 แสดงการทำงานของวงจรถามตะวัน	38
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_{solar} และประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่เวลาใดๆ ของ $T_{\text{out}@70\text{C}}$	41
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{\text{out}@70\text{C}}$ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ที่เวลาใดๆ	41
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_{solar} ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่เวลาใดๆ ของ $T_{\text{out}@90\text{C}}$	42
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{\text{out}@90\text{C}}$ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ที่เวลาใดๆ	43
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_{solar} $Q_{\text{absorption}}$ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เวลาใดๆ ของการทดลองแบบไม่กำหนด T_{out}	43
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อน ประสิทธิภาพ ความเข้มแสงอาทิตย์และเวลา ที่ไม่กำหนด T_{out}	44
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส และเวลา	45
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการผลิตน้ำทะเล ความเข้มแสงอาทิตย์ และวันที่เก็บผลการทดลอง	48
ก.1 แสดงค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำทะเล	56
ก.2 แสดงค่าความหนาแน่นของน้ำทะเล	57
ก.3 แสดงค่าความสามารถในการดูดซับและแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุ	58
ค.1 ชุดอุปกรณ์ติดตามแสงอาทิตย์แบบ 2 แกน	69
ค.2 แผงโซลาร์เซลล์	70
ค.3 มอเตอร์ไฟฟ้า	71
ค.4 แผงวงจรรีเลย์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า	72
ค.5 แบตเตอรี่	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.6 เทอร์โมมิเตอร์	74
ค.7 เทอร์โมคอปเปิลแบบ type K	76
ค.8 ป้อนน้ำหอยโข่ง	77
ค.9 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ	78
ค.10 โซลินอยด์วาล์ว	79
ค.11 วาล์วกันไหลกลับ	80
ค.12 ถังใส่น้ำ	81
ค.13 เครื่องวัดความเข้มแสง	82
ง.1 เตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล	84
ง.2 โครงสร้างเครื่อง	85
ง.3 โครงสร้างแทนวางแผง Solar panels	86
ง.4 จานรวมแสงอาทิตย์	87
ง.5 receiver	88

บทที่ 1

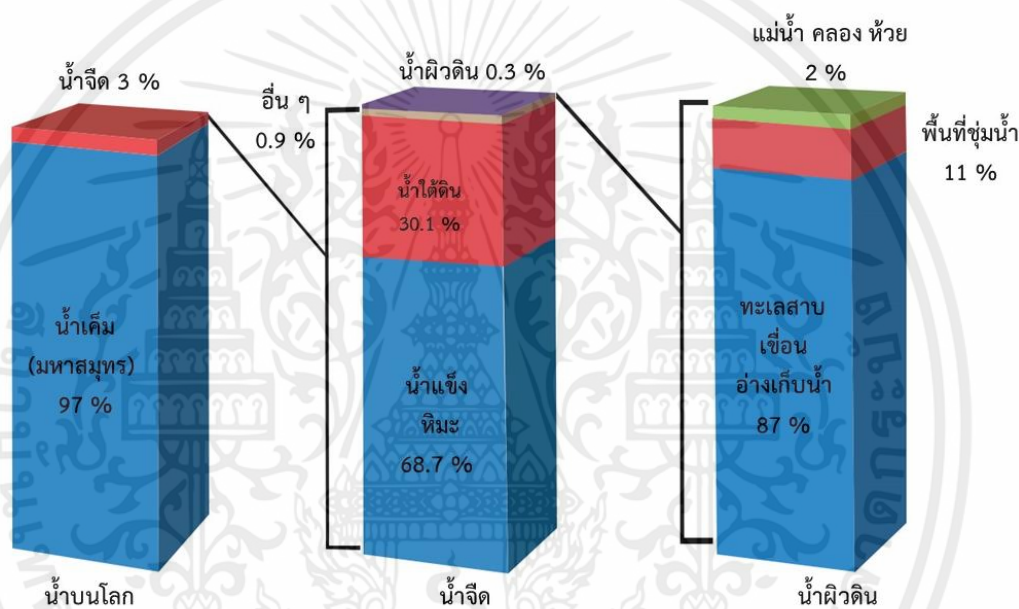
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจทั้งในภาคการคมนาคม อุตสาหกรรม และการผลิตกระแสไฟฟ้าคือเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งประเภทที่ใช้แล้วหมดไป เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศทั่วโลก ดังนั้นหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนในหลายประเทศทั่วโลกได้มีการศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และหมุนเวียนได้โดยไม่มีวันหมดสิ้น หนึ่งในพลังงานหมุนเวียนอย่างที่มีความสำคัญและน่าสนใจกับโลกของเราอย่างมากก็คือพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่อุดมสมบูรณ์และยั่งยืน [1] อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีค่าน้อยลงเมื่อตกถึงพื้นผิวโลก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานแสงอาทิตย์ ประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง [2] จึงทำให้มีการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ โดยแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ การนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้เพื่อผลิตไฟฟ้า (Solar Electricity) และการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อน (Solar Thermal) [3] ซึ่งการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายอย่างหนึ่งนั้น คือ เซลล์แสงอาทิตย์ และการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตความร้อนที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย คือ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ [4]

น้ำคือสิ่งสำคัญที่จำเป็นอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็น มนุษย์ พืช สัตว์ และสิ่งมีชีวิตอีกหลายประเภท อีกทั้งน้ำยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการพัฒนาและขยายตัวของอุตสาหกรรม และเกษตรกรรมอย่างมาก พื้นผิวโลกปกคลุมด้วยน้ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้ำส่วนมากอยู่ในรูปของภูเขาน้ำแข็งในบริเวณขั้วโลกที่ยังไม่เกิดการละลาย และน้ำทะเลที่มีอยู่ทั่วโลก และโดยประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่มีอยู่ในโลกนั้นเป็นน้ำเค็มและน้ำกร่อย มีเพียง 3 เปอร์เซ็นต์เป็นน้ำจืด [5] ซึ่งปริมาณน้ำจืดที่มนุษย์สามารถใช้งานได้นั้นมีอยู่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อรักษาความมั่นคงทางทรัพยากรนี้ให้เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน จึงมีการอนุรักษ์และคิดหาหนทางในการผลิต แต่อย่างไรก็ตามน้ำยังขาดแคลนอย่างรวดเร็ว

โดยเฉพาะในประเทศโลกที่ 3 ปัจจุบันเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการการหมุนเวียนของน้ำจืดในโลกมีอยู่เพียงแค่ 0.3 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังคงมีประชากรทั่วโลกถึง 11 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ 783 ล้านคนเข้าไม่ถึงการพัฒนาแหล่งน้ำดื่ม [6] และอีก 2.5 พันล้านคนในประเทศที่กำลังพัฒนาไม่สามารถเข้าถึงการพัฒนาเทคโนโลยีผลิตน้ำดื่มที่สะอาด ซึ่งตามรายงานของ UN หรือ สหประชาชาติ ได้คาดการณ์ว่าเกือบ 7000 ล้านคนจาก 60 ประเทศจะต้องเผชิญกับปัญหาการขาดแคลนน้ำภายในปี 2593 และเกือบ 2,000 ล้านคนใน 48 ชาติจะต่อสู้เพื่อแย่งชิงน้ำในปี 2593 [7]



รูปที่ 1 แสดงสัดส่วนของน้ำแต่ละชนิดที่มีอยู่ในโลก [5]

เพื่อหาทางแก้ไขปัญหานี้ กระบวนการและเทคโนโลยีผลิตน้ำจืดหลายแบบถูกนำเสนอ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือกระบวนการกลั่นน้ำทะเลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะใช้จานพาราโบลิกรวมแสงอาทิตย์ โดยเทคโนโลยีนี้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ง่าย และสะดวกต่อการกลั่นน้ำทะเลไม่ว่าจะเป็นพื้นที่ในบริเวณชายฝั่ง หรือ พื้นที่ที่ห่างไกลออกไปก็สามารถนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ได้อย่างง่ายดาย โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิก ซึ่งตัวจานพาราโบลามีระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแนวแกน (Double axis sun tracking system) [8][9] เพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานที่ดีขึ้นจึงมีการศึกษาออกแบบ และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบจานพารา

โบลิก โดยประสิทธิภาพของตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิกก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งประกอบด้วย วัสดุของตัวสะท้อนแสงอาทิตย์, รูปร่างของตัวสะท้อนและตัวรับแสงอาทิตย์, การแผ่รังสีที่ตัวรวมแสงอาทิตย์, เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวรวมแสงแบบจานพาราโบลิก, ขนาดพื้นที่รับแสงของตัวรวมแสง, ความยาวโฟกัสของจานพาราโบลิก, เส้นผ่านศูนย์กลางจุดโฟกัส, ขนาดพื้นที่หน้าตัดรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์, อัตราความเข้มข้นแสงที่เกิดจากการรวมแสงของตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิก และมุมขอบ

งานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาและออกแบบเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล โดยใช้ตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิก จากนั้นทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิกนี้ มีนอกจากนี้ จะมีการออกแบบการทดลองหลายตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นแสง เพื่อหาเงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสมและนำข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาไปต่อยอดการประยุกต์ใช้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบ และติดตั้งชุดทดลองตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ชุดต้นแบบ (Solar Concentrating Parabolic dish) พร้อมระบบติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการต้มน้ำทะเล

1.2.2 หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดทดลองตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ชุดต้นแบบ (Solar Concentrating Parabolic dish)

1.2.3 ศึกษาปริมาณน้ำทะเลที่สามารถผลิตได้ ในอุณหภูมิที่กำหนด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ชุดทดลองตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิก (Solar Concentrating Parabolic dish) สามารถทำอุณหภูมิได้ถึง 70 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า

1.4 ขอบเขต

1.4.1 ศึกษาเทคโนโลยีการรวมแรงอาทิตย์จากการทบทวนเอกสาร

1.4.2 ชุดตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ประเภท Parabolic Solar Dish ขนาด 39 นิ้ว

1.4.3 ชุดตัวดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 5.9 นิ้ว

1.4.4 อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกที่ 70 และ 90 องศา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ชุดทดลองตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Concentrating Parabolic dish) สามารถถล่นน้ำทะเลได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

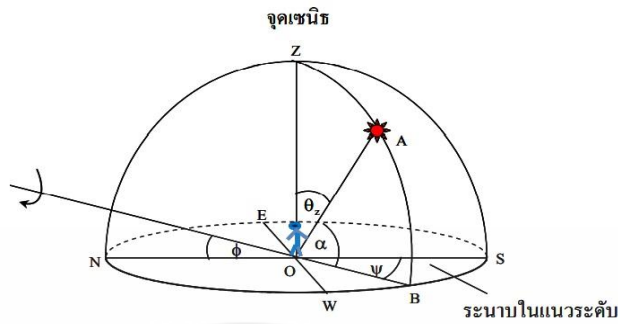
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดจากพระอาทิตย์ ซึ่งอาจเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานความร้อน (ด้วยตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์) หรืออาจเปลี่ยนเป็นรูปพลังงานไฟฟ้า (ด้วยเซลล์ PV) [10] โดยพลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นหนึ่งในทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วไม่หมดสิ้น (Inexhaustible natural resources) และเป็นประเภทที่คงสภาพเดิมไม่เปลี่ยนแปลง (Immutable) พลังงานแสงอาทิตย์ทั่วทั้งโลกมีอยู่ประมาณ 5.6 กิโลจูล (1.6 เมกกะวัตต์-ชั่วโมง) ต่อตารางเมตรต่อปี และมีแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดอยู่ในที่บริเวณทะเลแดง ซึ่งอยู่ประเทศอียิปต์ และ ซาอุดีอาระเบีย [11] ข้อดีของพลังงานแสงอาทิตย์คือสะอาด ยั่งยืน มีอยู่อย่างไม่จำกัด และไม่เสียค่าใช้จ่าย นอกจากนี้พลังงานแสงอาทิตย์นั้นยังมีศักยภาพที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ อย่างเช่น พลังงานลม พลังงานจากมหาสมุทร พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล และพลังงานความร้อนใต้พิภพ [12]

2.2 ทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

2.2.1 การบอกตำแหน่งของพระอาทิตย์โดยระบบที่ใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง (horizontal system) ซึ่งจะใช้ 2 มุมนี้ ในการระบุตำแหน่งของพระอาทิตย์



รูปที่ 2.1 แสดงตำแหน่งของมุมอาซิมุท และมุมต่าง ๆ [13]

- มุมอัลติจูด (altitude, α) หรือมุมเงย คือมุมระหว่างเส้นตรงจากผู้สังเกตไปยังพระอาทิตย์ (OA) กับภาพฉายของเส้นตรงดังกล่าว (OB) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา

$$\alpha = \sin^{-1} [\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega] \quad (2.1)$$

เมื่อ ϕ ละติจูดของผู้สังเกต

- มุมอาซิมุท (azimuth, ψ) คือมุมระหว่างภาพฉายของเส้นตรงจากผู้สังเกตไปยังพระอาทิตย์ (OB) กับเส้นแนวทิศใต้ (OS) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $-180^\circ \leq \psi \leq 180^\circ$

$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{\sin \omega \cos \delta}{\cos \alpha} \right] \quad (2.2)$$

2.2.2 การบอกตำแหน่งของพระอาทิตย์โดยระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง (equatorial system) เป็นอีกหนึ่งระบบเพื่อระบุตำแหน่งของพระอาทิตย์ ซึ่งมี 2 มุมดังนี้

- มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (hour angle, ω) คือมุมระหว่างเส้นเมริเดียน และเส้นที่ลากผ่านพระอาทิตย์ ดังสมการที่ 2.3

$$\omega = 15(12 - ST) \quad (2.3)$$

เมื่อ ST เวลาดวงอาทิตย์ (ชั่วโมง นาที)

- เดคลิเนชัน (declination, δ) คือเส้นสมมติตามแนวขนานกับเส้นศูนย์สูตรฟ้า และใช้ระยะห่างเชิงมุมระหว่างพระอาทิตย์กับศูนย์สูตรท้องฟ้าบนวงกลมใหญ่ แสดงดังสมการที่ 2.4

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (d_n + 284) \right] \quad (2.4)$$

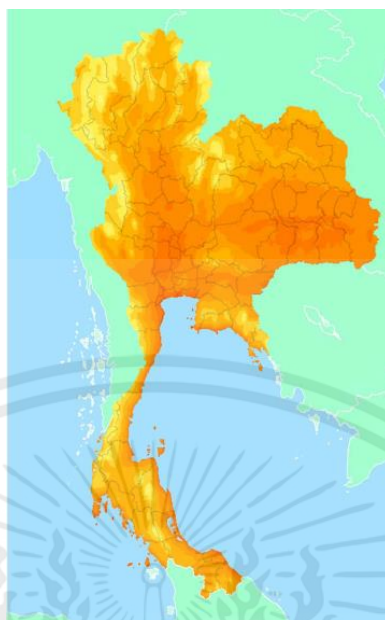
เมื่อ d_n ลำดับของวันในรอบปี อย่างเช่น $d_n = 31$ คือวันที่ 31 มกราคม โดยให้เดือนกุมภาพันธ์นับเป็น 28 วัน

2.3 พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่บริเวณนั้น สำหรับการนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อุปกรณ์รวมแสงจำเป็นต้องทราบศักยภาพรังสีอาทิตย์ด้วย [14]

ในกรณีของประเทศไทย การกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์ตามบริเวณต่าง ๆ ในแต่ละเดือนภายในประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

สำหรับการกระจายของรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี ซึ่งแสดงในรูปแบบแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี (พ.ศ. 2560) จะเห็นว่า การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของทุกภาคทั่วประเทศไทยมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่กระจายอยู่ในช่วง 17 – 20 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน โดยบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีพื้นที่ซึ่งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20-22 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน รังสีอาทิตย์ปรากฏอยู่เป็นบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด และบริเวณใกล้เคียง จากการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปี ของประเทศไทยพบว่า มีค่าเท่ากับ 17.6 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน [15]



รูปที่ 2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี (พ.ศ. 2560) [15]

จากฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ ระดับตำบล ปี 2560 ที่ตำบลชุมโค จังหวัดชุมพร บริเวณ ละติจูดที่ 10.78 และลองจิจูดที่ 99.33 มีระดับความเข้มรังสีอาทิตย์มากที่สุดเท่ากับ 20.34 เมกกะจูลต่อ ตารางเมตรต่อวัน ในเดือนเมษายน และมีระดับความเข้มรังสีพระอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 17.76 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน [16]

2.4 เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์

เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์ (CSP) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กระจกหรือเลนส์ในการรวมรังสีจาก พระอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนรูปแบบเป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้งานได้ อย่างเช่น ความร้อน ไฟฟ้า หรือ เชื้อเพลิงด้วยเทคโนโลยีปลายทางต่าง ๆ ต่อไป ในปัจจุบันเทอมของ “การรวมพลังงานแสงอาทิตย์” มัก ใช้เหมือนกับ “การรวมพลังงานแสงอาทิตย์เชิงความร้อน” [17]

เทคโนโลยีการรวมแสงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ ตาม ลักษณะการรวมแสง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบรวมแสงตามแนว ได้แก่ รางพาราโบล่า (parabolic trough) และเฟรสเนลแบบเส้นตรง (linear fresnel)
- ระบบรวมแสงเป็นจุด ได้แก่ จานพาราโบล่า (parabolic dish) และตัวรับศูนย์กลาง (central receiver)

2.4.1 รางพาราโบล่า (Parabolic trough,PTC)



รูปที่ 2.3 ตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบล่า : ติดตามพระอาทิตย์แกนเดียว [17]

เทคโนโลยีการรวมแสงแบบรางพาราโบล่า ประกอบด้วย กระจก ตัวเก็บความร้อน และตัวสนับสนุนโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.3 เทคโนโลยีนี้จะทำการรวมพลังงานแสงอาทิตย์ไปที่ตัวรับที่เป็นท่อแนวยาวเพื่อเก็บสะสมพลังงานความร้อน ตัวรับแสงจะเป็นท่อดูดซับ ภายในเป็นท่อแก้วสุญญากาศ (evacuated glass) ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนลงได้ เทคโนโลยี PTC สามารถทำให้น้ำมันสังเคราะห์ (synthetic oils) สะสมความร้อนได้ถึง 400 องศาเซลเซียส หรือเกลือหลอมเหลว (molten salt) สะสมความร้อนได้ 550 องศาเซลเซียส เทคโนโลยีนี้ใช้ทำงานร่วมกับระบบติดตามแกนเดียว ในขณะที่หลายๆ ประเภทต้องทำงานด้วยระบบติดตาม 2 แกน [10]

2.4.2 ตัวรับศูนย์กลาง (Central receiver tower)

เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์แบบตัวรับศูนย์กลางจะใช้พื้นที่ในการติดตั้งกระจก (heliostats) ซึ่งทำหน้าที่ฉายรังสีจากพระอาทิตย์ไปที่ตัวรับที่ติดตั้งอยู่ด้านบนตึกสูง ดังรูปที่ 2.4 โดยทำหน้าที่กักเก็บพลังงานและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของความร้อน เทคโนโลยีนี้จะสามารถรับอุณหภูมิจากแสงอาทิตย์ได้สูงกว่าเทคโนโลยีการรวมแสงแบบรางพาราโบลาและแบบเฟรสเนลแบบเส้นตรง เพราะสามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 250 – 1000 องศาเซลเซียส [18]

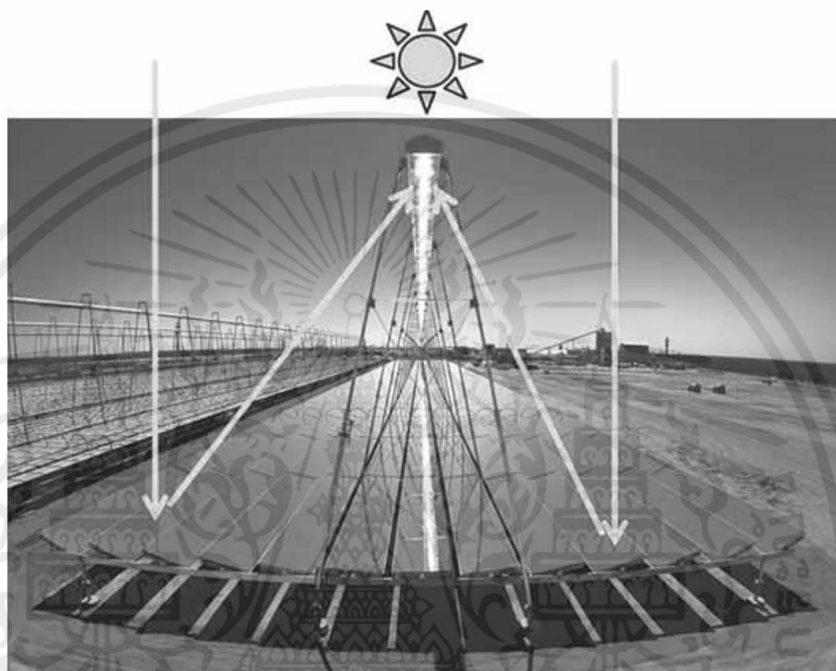


รูปที่ 2.4 โรงไฟฟ้าตัวรับแสงอาทิตย์ศูนย์กลาง [17]

2.4.3 เฟรสเนลแบบเส้นตรง (Linear Fresnel reflectors, LFR)

เทคโนโลยีนี้มีลักษณะคล้ายกับเทคโนโลยีการรวมแสงแบบรางพาราโบลา แต่มีความต่างตรงกระจกที่ใช้ โดยเทคโนโลยีนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นราบ ไม่มีความโค้งงอ ดังรูปที่ 2.5

แสงอาทิตย์จะถูกสะท้อนจากกระจกแล้วรวมที่ตัวรับ ซึ่งจะวางเป็นแนวยาวตามกระจกและมีกระจกครอบไว้ด้านบนอีกชั้นเพื่อรวมแสงไปที่ตัวรับอีกรอบ ข้อดีของเทคโนโลยี LFR คือ ราคาการผลิตและโครงสร้างถูกกว่า และพื้นที่ของกระจกต่อตัวรับมีปริมาณมากกว่า ทำให้สามารถรวมรังสีจากแสงอาทิตย์ได้ในปริมาณมาก [19]



รูปที่ 2.5 ตัวสะท้อนแสงอาทิตย์เฟรสเนลแบบเส้นตรง [17]

2.4.4 พาราโบลาติส (Parabola dishes, PSD)

เทคโนโลยีการรวมแสงแบบจานพาราโบลา ประกอบด้วย จานพาราโบลาซึ่งมีลักษณะเหมือนกับจานดาวเทียม (reflector) ทำหน้าที่สะท้อนรังสีจากพระอาทิตย์ไปที่ตัวรับ ดังรูปที่ 2.6 โดยตัวรับ (receiver)วางไว้ด้านหลังจานพาราโบลา โดยที่จุดโฟกัสมีอุณหภูมิสูงมาก เทคโนโลยีนี้สามารถใช้ร่วมกับตัวดูดซับหลายๆ ประเภทได้ อย่างเช่น ทรงกระบอก ทรงกลม ทรงกรวย และแบบเกลียว นอกจากนี้ เทคโนโลยี PSD จำเป็นต้องใช้ระบบติดตาม 2 แกน เพื่อ

ความเหมาะสมในการทำงาน [10] เทคโนโลยีการรวมแสงแบบจานพาราโบลามีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์ทั้งหมด [17]



รูปที่ 2.6 ตัวรวมแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบล่า : ติดตามพระอาทิตย์ใน 2 ทิศทาง [17]

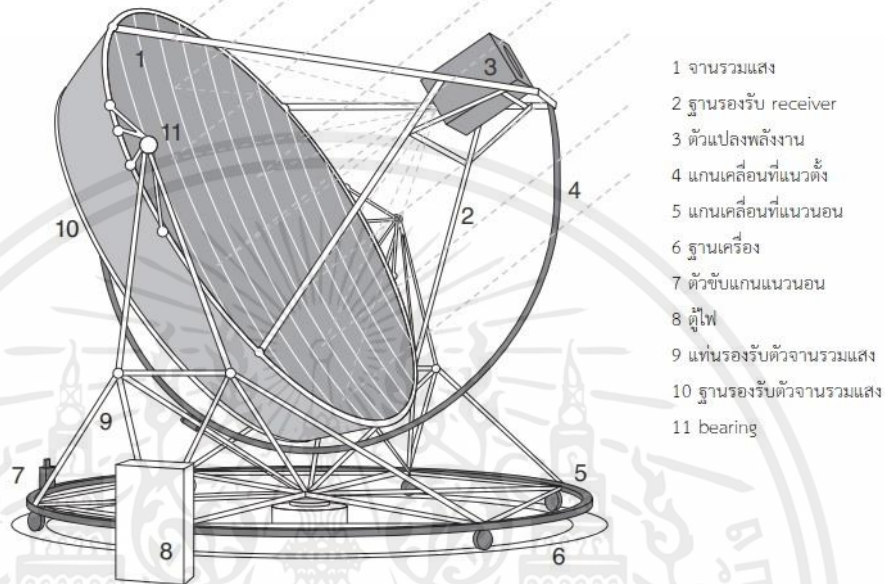
2.5 จานรวมพลังงานแสงอาทิตย์และการออกแบบ

เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์แบบจานใช้กระจกพาราโบลารวมพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังตัวรับ ซึ่งสามารถดูดซับและถ่ายเทพลังงานแสงอาทิตย์สู่เครื่องจักรทำความร้อนโดยตรงหรือถ่ายเทสู่ของไหลทำงาน พร้อมการติดตามพระอาทิตย์ (sun tracking) เทคโนโลยีนี้มีประสิทธิภาพทางแสงสูงที่สุด, อัตราการรวมแสงอาทิตย์สูงที่สุด และประสิทธิภาพการแปลงพลังงานโดยรวมสูงที่สุด [19]

2.5.1 หลักการพื้นฐาน

เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์แบบจานประกอบด้วย : ตัวรวมแสงอาทิตย์ทรงพาราโบล่า (reflector), ระบบติดตาม (tracking systems), เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสงอาทิตย์ (receiver), (ตัวเลือก) เครื่องยนต์ กับ เครื่องผลิต และระบบควบคุม ดังรูปที่ 2.7 ตัวรวมแสงอาทิตย์จะติดตามพระอาทิตย์ทั้ง 2 แกน รังสีอาทิตย์จะถูกรวมด้วยตัวรวมแสงอาทิตย์ทรงพาราโบล่าเข้าสู่

ตัวรับแสงอาทิตย์ ซึ่งอยู่ที่จุดโฟกัสของจานพาราโบลา โดยตัวรับจะเก็บพลังงานความร้อนเข้าของไหลที่อาจเป็นของไหลทำงานหรือถูกใช้เพื่อถ่ายเทพลังงานสู่กระบวนการต่อไป [19]

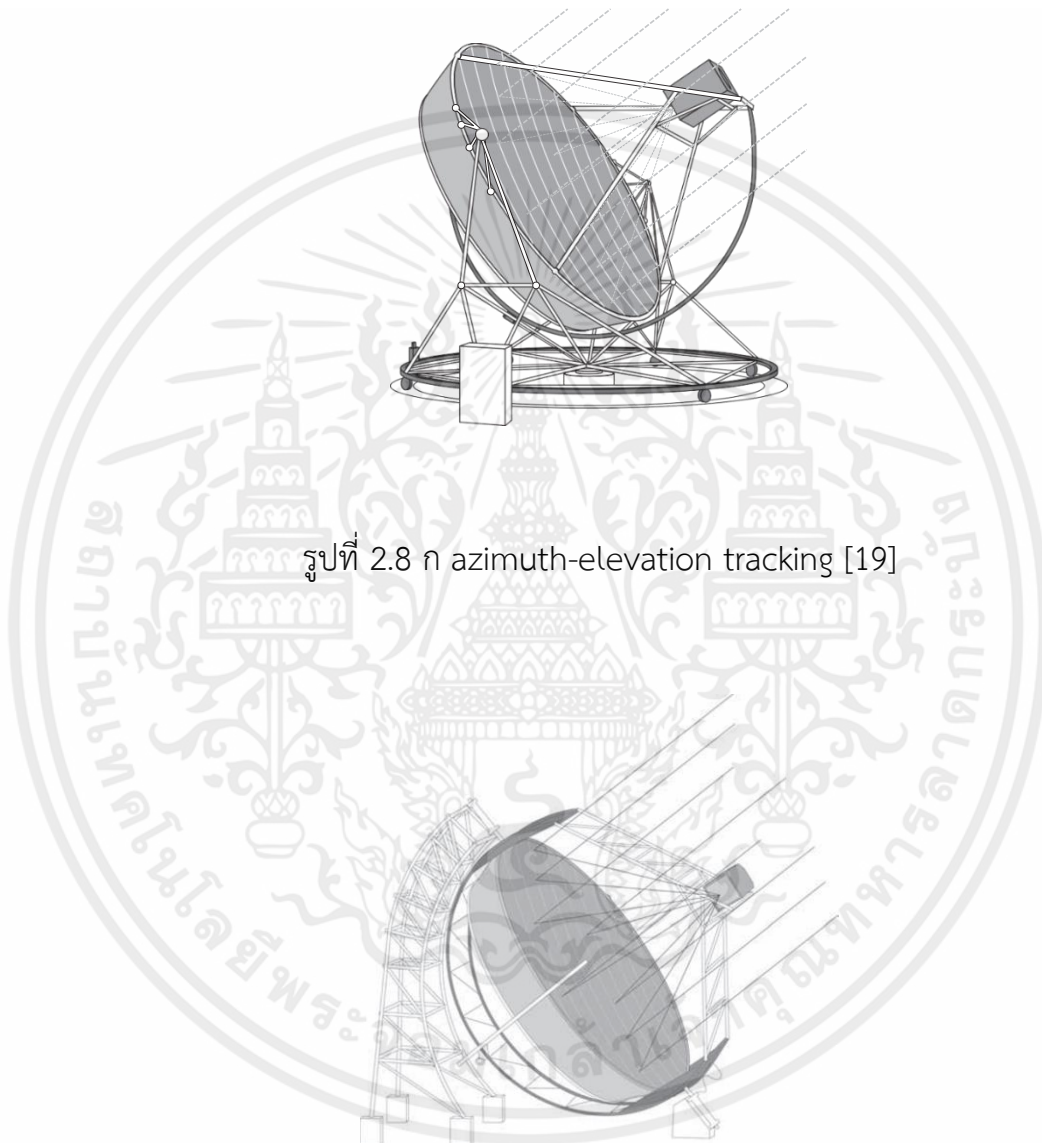


รูปที่ 2.7 ตัวอย่างอุปกรณ์ของระบบจานรวมพลังงานแสงอาทิตย์

พื้นผิวการสะท้อนในตัวรวมแสงอาทิตย์ทรงพาราโบลา ซึ่งเป็นได้ทั้ง โลหะ กระจก หรือพลาสติก จะสะท้อนแสงอาทิตย์เข้าพื้นที่เล็ก ๆ ที่เรียกว่า จุดโฟกัส โดยขนาดของโฟกัสนั้นขึ้นอยู่กับความแม่นยำของรูปร่างตัวรวมแสงอาทิตย์, ผิวสะท้อน และเงื่อนไข ตลอดจนความยาวโฟกัส โดยปกติตัวรวมแสงอาทิตย์จะมีอัตรารวมแสงในช่วงระหว่าง 1500 ถึง 4000 เท่า และมีช่วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจาก 1-2 เมตร ถึง 25 เมตร เพื่อติดตามพระอาทิตย์ ตัวรวมแสงอาทิตย์จึงต้องสามารถเคลื่อนได้ทั้ง 2 แกน โดยทั่วไป มี 2 รูปแบบในการติดตามพระอาทิตย์

- Azimuth-elevation tracking ดังรูปที่ 2.8 ก ตัวจานจะหมุนในแนวระนาบขนานกับพื้นโลก (azimuth) และรอบ ๆ แกนที่ตั้งฉาก (elevation) เพื่อให้ตัวสะสมพลังงานเคลื่อนที่ขึ้น/ลง และหมุนซ้าย/ขวา อัตราการหมุนของแกนทั้ง 2 จะเปลี่ยนแปลงทั้งวัน แต่สามารถคาดเดาได้
- Polar-equatorial tracking ดังรูปที่ 2.8 ข ตัวสะสมพลังงานจะหมุนขนานกับการหมุนของแกนโลก ซึ่งจะหมุนที่อัตราคงที่ 15 องศา/ชั่วโมง โดยอีกแกนจะหมุนตั้งฉากกับแกนขั้วโลก เป็น

การเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ และแตกต่างกันออกไป $\pm 23\frac{1}{2}^{\circ}$ ในช่วงหนึ่งปี (อัตราที่มากที่สุดคือ 0.016 องศา/ชั่วโมง)



รูปที่ 2.8 ก azimuth-elevation tracking [19]

รูปที่ 2.8 ข polar-equatorial tracking [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไประบบติดตาม 2 แกน แบบนี้จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานผ่านชุดเกียร์ ตำแหน่งการติดตามจะรู้จากทางเดินของพระอาทิตย์ เช่น เซอร์โวลัมแสงสะท้อน หรือ อัลกอริทึม ที่คำนวณตำแหน่งจริงของพระอาทิตย์จากวันและเวลา

การควบคุมตัวขับและระบบทั้งหมด มักจะใช้ระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ PCs, การทำงานจึงอัตโนมัติและอาจควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ตได้

ตัวรับแสงอาทิตย์มี 2 ฟังก์ชัน : ต้องดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และต้องถ่ายเทพลังงานนี้เป็นความร้อนสู่ของไหลทำงานได้ (working fluids)

ตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพคือตัวรับที่มีช่องว่างขนาดเล็ก (พื้นที่รับแสง) ตัวดูดซับแสงอาทิตย์จะอยู่ด้านหลังของพื้นที่รับแสงเพื่อดูดกลืนความเข้มข้นของฟลักซ์แสงอาทิตย์ที่รวมเข้ามา ฉนวนจะอยู่ระหว่างพื้นที่รับแสงและตัวดูดซับแสงเพื่อลดการสูญเสียความร้อน พื้นที่รับแสงที่ดีที่สุดต้องมีพื้นที่ใหญ่พอเพื่อรับการรวมแสงอาทิตย์ แต่ก็ต้องเล็กพอที่จะจำกัดการสูญเสียการแผ่รังสีและการพาความร้อน [20]

2.5.2 สมการพื้นฐานของการออกแบบ solar concentrator dish



รูปที่ 2.9 การออกแบบ solar concentrator dish

จากรูปที่ 2.9 แสดงรูปการออกแบบ solar concentrator dish โดยมีรายละเอียดดังนี้

- อัตราการรวมแสงอาทิตย์ (concentration ratio, C) คืออัตราส่วนระหว่าง A_a ต่อ A_{abs}

$$C = \frac{A_a}{A_{abs}} \quad (2.5)$$

เมื่อ

A_a พื้นที่รวมแสง (solar concentrator area) (ตารางเมตร)

A_{abs} พื้นที่ดูดซับแสงอาทิตย์ (cavity receiver area) (ตารางเมตร)

- รังสีตรง (Direct solar radiation, $I_{b,n}$) (วัตต์ต่อตารางเมตร)

$$I_{b,n} = \left(\frac{I_{t,h} - I_{d,h}}{\cos \psi} \right) \quad (2.6)$$

เมื่อ

$I_{t,h}$ รังสีทั้งหมด (total solar radiation) (วัตต์ต่อตารางเมตร)

$I_{d,h}$ รังสีกระจาย (diffuse solar radiation) (วัตต์ต่อตารางเมตร)

- พลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) (วัตต์) คือพลังงานทั้งหมดที่มาจาก concentrator

$$Q_{in} = I_{b,n} A_a \quad (2.7)$$

- พลังงานความร้อนขาออก (Q_{out}) (กิโลจูล) คือพลังงานทั้งหมดที่ receiver ได้รับ

$$Q_{out} = \rho V_{abs} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (2.8)$$

เมื่อ

ρ ความหนาแน่นของน้ำทะเล ซึ่งเท่ากับ 1023.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ ก.2

V_{abs} ปริมาตรภายในของตัวดูดซับแสงอาทิตย์ (ลูกบาศก์เมตร)

C_p ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำทะเลที่ความดันคงที่ ซึ่งเท่ากับ 4000.8 จูลต่อกิโลกรัมเคลวิน ดังตารางที่ ก.1

T_{out} อุณหภูมิของน้ำทะเลขาออก Chamber (เคลวิน)

T_{in} อุณหภูมิของน้ำทะเลขาเข้า Chamber (เคลวิน)

- ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency, η_{th}) คืออัตราส่วนของพลังงานที่สามารถนำไปใช้งานได้ต่อพลังงานที่เกิดขึ้นที่พื้นที่รวมแสง

$$\eta_{th} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (2.9)$$

- ประสิทธิภาพการดูดซับ (absorption efficiency, η_{abs}) คืออัตราพลังงานที่ถูกดูดซับสุทธิ โดยพลังงานนี้จะลดน้อยลงอย่างมากจากความร้อนสูญเสีย (การแผ่รังสีและการพาความร้อน) ผ่านพื้นที่รับแสง

$$\eta_{absorption} = \frac{\alpha_{eff} Q_{out} - \varepsilon_{eff} A_{abs} \sigma T_{chamb}^4}{Q_{in}} \quad (2.10)$$

เมื่อ

α_{eff} ค่าความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุของ Chamber หาได้จากตารางที่ ก.3

ε_{eff} ค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุของ Chamber หาได้จากตารางที่ ก.3

σ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.6703×10^{-8} วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวินกำลังสี่

T_{cham} อุณหภูมิของน้ำทะเลภายใน Chamber (เคลวิน)

- ในทางทฤษฎี สมมติให้ $Q_{in} = Q_{out}$ และสมมติให้ receiver เป็นฉนวนสีดำอย่างสมบูรณ์ ซึ่งหมายความว่า ($\alpha_{eff} = \varepsilon_{eff} = 1$) ทำให้สมการ (2.10) เป็นดังสมการนี้

$$\eta_{absorption,ideal} = 1 - \left(\frac{\sigma T_{cham}^4}{I_{b,n} C} \right) \quad (2.11)$$

- ประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุด (maximum overall efficiency, $\eta_{exergy,ideal}$) คือประสิทธิภาพการดูดซับและประสิทธิภาพคาร์โนต์ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงขีดจำกัดของอุปกรณ์

$$\eta_{exergy,ideal} = \eta_{absorption,ideal} \times \eta_{Carnot} \quad (2.12)$$

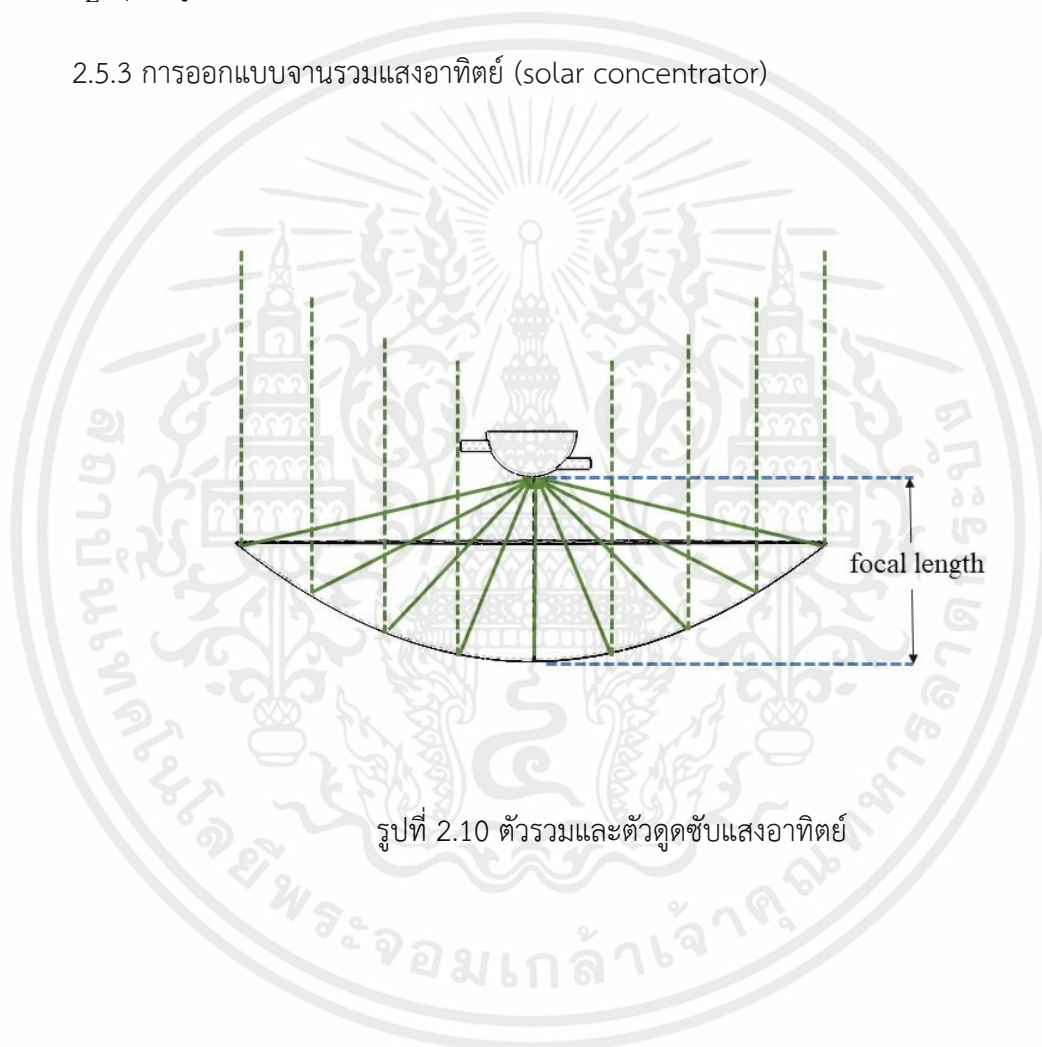
$$= \left[1 - \left(\frac{\sigma T_H^4}{I_{b,n} C} \right) \right] \times \left[1 - \left(\frac{T_L}{T_H} \right) \right]$$

เมื่อ

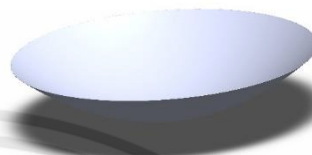
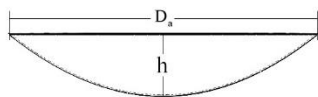
T_H อุณหภูมิของน้ำทะเลภายใน Chamber (เคลวิน)

T_L อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ (เคลวิน)

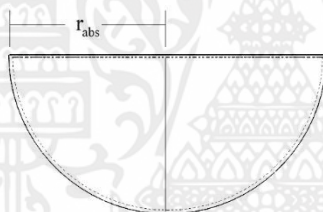
2.5.3 การออกแบบจานรวมแสงอาทิตย์ (solar concentrator)



รูปที่ 2.10 ตัวรวมและตัวดูดซับแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.11 ตัวจานรวมแสงอาทิตย์ (Solar concentrator dish)



รูปที่ 2.12 ตัวดูดซับแสงอาทิตย์ (Cavity receiver)

- ปริมาตรภายในของตัวดูดซับแสงอาทิตย์ (V_{abs}) ซึ่งเท่ากับปริมาตรของครึ่งทรงกลม

$$\frac{2\pi r_{\text{abs}}^3}{3} = V_{\text{abs}} \quad (2.13)$$

เมื่อ r_{abs} รัศมีของตัวดูดซับแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาตรของ solar concentrator (V_a) ซึ่งคำนวณได้จากสมการการหาปริมาตรพาราโบลา

$$V_a = \frac{\pi r_a^2 h}{2} \quad (2.14)$$

เมื่อ r_a รัศมีของตัวรวมแสงอาทิตย์

h ความลึกของตัวรวมแสงอาทิตย์

- พื้นที่ดูดซับแสงอาทิตย์ของ cavity receiver (A_{abs}) ซึ่งคำนวณได้จากพื้นที่ผิวของครึ่งทรงกลม

$$A_{abs} = 3\pi r_{abs}^2 \quad (2.15)$$

- พื้นที่รวมแสงอาทิตย์ของ solar concentrator (A_a) ซึ่งหาได้จากสมการหาพื้นที่พาราโบลา [11]

$$A_a = \frac{\pi D_a^2}{4} \quad (2.16)$$

เมื่อ D_a เส้นผ่านศูนย์กลางของ solar concentrator

- ความยาวโฟกัสของ solar concentrator (focal length, f) [21]

$$f = \frac{D_a^2}{16h} \quad (2.17)$$

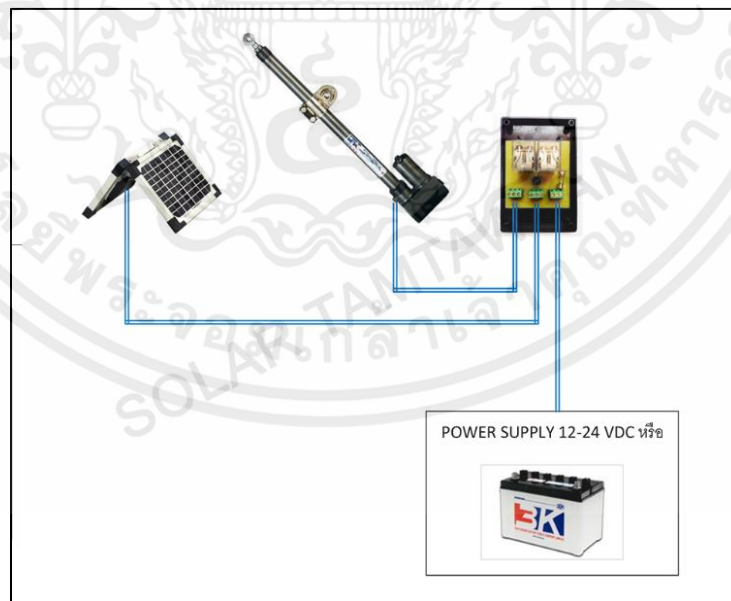
เมื่อ h ความสูงของ solar concentrator

- อัตราส่วนระหว่างความยาวโฟกัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวรวมแสงอาทิตย์ (FD ratio) คือ พารามิเตอร์ที่สำคัญของตัวรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ซึ่งค่าควรจะอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.50 [22]

$$FD = \frac{f}{D_a} \quad (2.18)$$

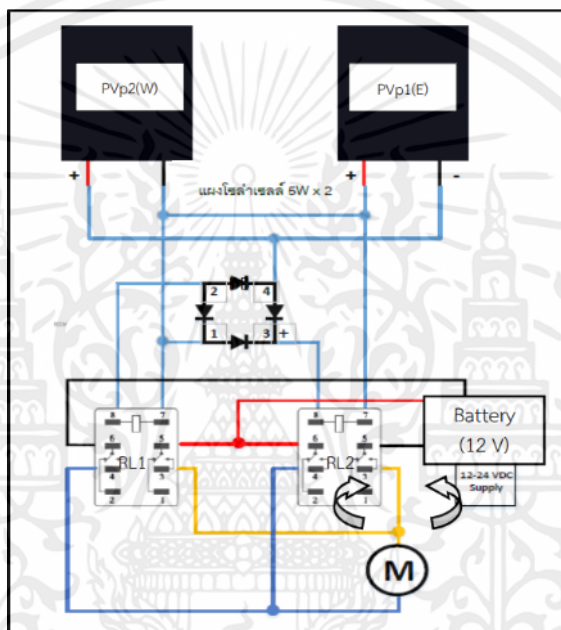
2.6 ระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Solar Tracking System)

ระบบติดตามดวงอาทิตย์ เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด ระบบติดตามดวงอาทิตย์ใช้สำหรับควบคุมหน้าจานสะท้อนแสงแบบพาราโบลา ให้หมุนตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ตลอดเวลา โดยระบบที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน (Double axis Tracking System) ใช้ควบคุมหน้าจานสะท้อนแสงโดยปรับมุมจานติดตามดวงอาทิตย์ในทิศทางตะวันออกไปตะวันตก และทิศทางเหนือไปใต้ในแต่ละวัน รายละเอียดการติดตั้งตามรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการต่อของชุดอุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.13 ระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้ประกอบด้วย crystalline, super jack, กล่องควบคุม, แบตเตอรี่ 12 V นำมาต่อเป็นวงจร สำหรับหลักการทำงานของชุดอุปกรณ์นี้จะใช้แผงโซลาร์เซลล์ crystalline 5 watt 12 V จำนวนสี่แผงประกอบกันเป็นมุมฉากจำนวนชุดละสองแผง แล้วจึงต่อสายเชื่อมระหว่างแผงโซลาร์เซลล์กับกล่องชุดควบคุม ซึ่งภายในกล่องชุดควบคุมจะประกอบด้วยวงจรรีเลย์จำนวนสี่ตัวที่จะทำงานตามแผงโซลาร์เซลล์ทั้งสิ้น

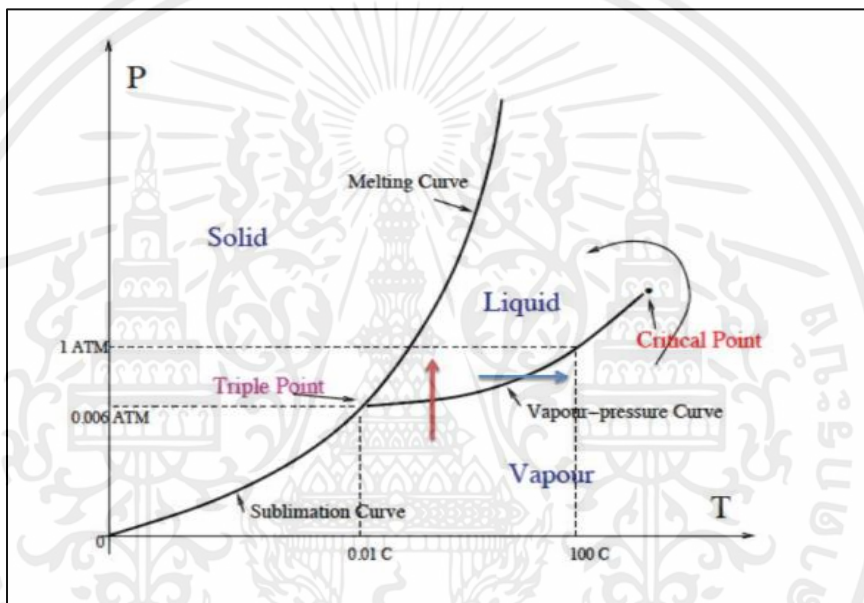


รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะวงจรการต่อชุดอุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์ [8]

และควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของแกนมอเตอร์ หรือ Super jack จำนวนสองตัว ซึ่งขับเคลื่อนด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ โดยมีเงื่อนไขว่าแผงโซลาร์เซลล์ทั้งหมดสี่แผงจะต้องได้รับแสงอาทิตย์เท่ากัน แกนมอเตอร์จึงจะหยุดเคลื่อนที่ [8,9] ซึ่งจากหลักการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ และติดตั้งควบคุมการหมุนของจานพาราโบลาในงานวิจัยนี้

2.7 ทฤษฎีการเปลี่ยนเฟสของน้ำ

การเปลี่ยนเฟสเกิดขึ้นในสารหลายชนิดที่เราคุ้นเคยในชีวิตประจำวัน ในที่นี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนเฟสของน้ำในสถานะต่าง ๆ จากในสถานะของเหลว ของแข็งและไอ แผนภาพเฟสของน้ำในระนาบ P-T แสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งบ่งบอกถึงค่าของความดันและอุณหภูมิที่เฟสของน้ำสองเฟสอยู่ร่วมกัน (ที่จุดทั้งสามเฟสอยู่ตำแหน่งเดียวกัน)



รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิที่บ่งบอกตำแหน่งเฟสของน้ำแต่ละสถานะ [23]

การข้ามเส้นความดันไอที่ค่าคงที่ T (ลูกศรสีแดง) ใจะควบแน่นเป็นของเหลว และที่ปริมาตรต่ออนุภาค ($v = V/N$) จะเริ่มเกิดการเปลี่ยนเฟสอย่างรวดเร็วกับก๊าซที่มีขนาดใหญ่กว่าในของเหลว ($v_G > v_L$) และเมื่อข้ามเส้นเดียวกันที่ความดันคงที่ (ลูกศรสีน้ำเงิน) ของเหลวจะระเหยเป็นก๊าซและที่เอนโทรปีต่ออนุภาค ($s = S/N$) จะเกิดการเปลี่ยนเฟสอย่างรวดเร็ว ($s_G < s_L$) ความร้อนแฝงของการระเหยหาได้จากสมการที่ 2.19

$$\lambda_{ev} = NT (s_G - s_L) \quad (2.19)$$

เมื่อ

λ_{ev} ค่าความร้อนแฝงของการระเหย

N อนุภาค

T อุณหภูมิบนเส้นความดันไอที่ถูกดูดซับโดยระบบ

S_G เอนโทรปีของก๊าซ

S_L เอนโทรปีของของเหลว

และเมื่อเข้าใกล้จุดวิกฤตที่ไม่ต่อเนื่อง Δv และ Δs ทั้งสองจะหายไปด้วยอำนาจของกฎพลังงานที่อาศัยบนระยะจากจุดวิกฤตคือ

$$\Delta v \propto \Delta s \propto (T_c - T)^\beta \quad (2.20)$$

โดยที่ T_c คืออุณหภูมิของจุดวิกฤต (อุณหภูมิวิกฤต) ที่จุดวิกฤตไม่มีความแตกต่างระหว่างเฟสของไอและของเหลว ตามแนวความดันไอความสามารถในการบีบอัดไอโซเทอร์มอลของแก๊ส

$$\kappa_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T \quad (2.21)$$

จะแตกต่างกันด้วยกฎพลังงานของระยะห่างจาก T_c คือ

$$\kappa_T \propto (T_c - T)^{-\gamma} \quad (2.22)$$

เมื่อ

K_T ความสามารถในการบีบอัดไอโซเทอร์มอลของแก๊ส

V ปริมาตร

เมื่อใกล้ถึงจุดวิกฤตของเหลวจะไม่โปร่งใสต่อแสงอีกต่อไปเนื่องจากความผันผวนของความหนาแน่นเกิดขึ้นในระดับความยาวขนาดใหญ่ตามลำดับและมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าภาวะวิกฤต (Critical opalescence) พฤติกรรมที่คล้ายกันเกิดขึ้นเมื่อข้ามเส้นโค้งการหลอม ซึ่งแยกของแข็งออกจากเฟสของเหลว อย่างไรก็ตามในทางตรงกันข้ามกับเส้นโค้งความดันไอ เส้นโค้งการหลอมละลายไม่ได้สิ้นสุดที่จุดวิกฤต และการเปลี่ยนจากของเหลวไปเป็นของแข็งมักเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของ V ที่ไม่ต่อเนื่องและด้วยการปลดปล่อยความร้อนแฝงของการแข็งตัว [23]

2.8 การระเหย (Evaporation)

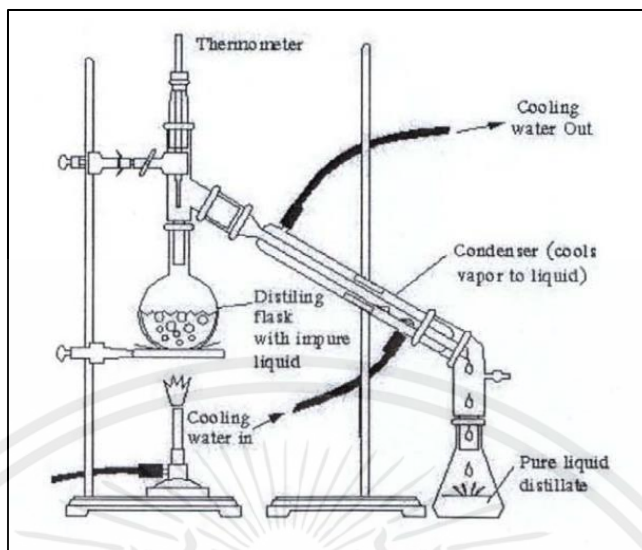
การระเหย (Evaporation) คือการที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไออย่าง ช้า ๆ และเกิดเฉพาะผิวหน้าของของเหลวเท่านั้น นอกจากนี้การระเหยยังสามารถเกิดได้ทุก ๆ อุณหภูมิที่ยังมีของเหลวนั้นอยู่เช่น น้ำสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิ 0-100 องศาเซลเซียสที่ความดัน 1 บรรยากาศ เป็นต้น การระเหยเป็นกระบวนการที่ของเหลวเปลี่ยนสภาพโดยธรรมชาติเป็นแก๊ส โดยไม่จำเป็นต้องมีอุณหภูมิถึงจุดเดือด ซึ่งเป็นกระบวนการตรงกันข้ามกับการควบแน่น [9] หลักการการระเหยคือ โมเลกุลของของเหลวที่อยู่บนพื้นผิว มีพลังงานจลน์ภายในมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส เนื่องจากการระเหยเกิดขึ้นได้กับพื้นผิวของของเหลวด้านบนจึงทำให้การระเหยเกิดขึ้นน้อยในสภาวะปกติ แต่จะเกิดขึ้นได้ดีและเร็วที่อุณหภูมิแวดล้อมสูง จากทฤษฎีจลน์ โมเลกุลของของเหลวเคลื่อนที่ และเกิดการชนกันจึงทำให้มีการถ่ายเทพลังงานให้แก่กันอยู่ตลอดเวลา ทำให้โมเลกุลของของเหลวบางโมเลกุลมีพลังงานจลน์น้อยลง และบางโมเลกุลเพิ่มขึ้น ถ้าโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้นอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลวหรือสามารถเคลื่อนที่มาอยู่ที่ผิวหน้าได้และสามารถแบ่งแยกแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล โมเลกุลก็จะหลุดออกจากผิวหน้าของของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งเรียกว่า การระเหย ซึ่งจากการศึกษากรณีตัวอย่างเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิของน้ำต่ำสุดในวงจร ที่ทางเข้าเครื่องระเหยอาจอยู่ระหว่าง 10–40 องศาเซลเซียส ตามอุณหภูมิของฤดูกาล และอุณหภูมิของน้ำสูงสุดในวงจรที่ทางเข้าเครื่องควบแน่นจะอยู่ในช่วง 50–70 องศาเซลเซียส เพื่อลดขนาดของตะกรันประสิทธิภาพของเครื่องควบแน่น หรือเครื่องกลั่น และเครื่องระเหยควรอยู่ในช่วง 65–95% ซึ่งผลลัพธ์นี้ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบเอนทัลปีจริงไปจนถึงเอนทัลปีที่สูงที่สุดที่สามารถเป็นไปได้สำหรับการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและมวล [24]

2.9 การกลั่น (Distillation)

การกลั่น (Distillation) จัดว่าเป็นวิธีสำคัญที่สุดวิธีหนึ่งสำหรับการทำของเหลวให้บริสุทธิ์ ซึ่งจะใช้แยกของเหลว หรือ ของแข็ง กับของเหลวที่ผสมกันเป็นสารเนื้อเดียวออกจากกัน โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด ซึ่งการกลั่นเป็นกระบวนการที่ทำให้ของเหลวได้รับความร้อนจนกระทั่งเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ และทำให้ควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวอีก ในขณะที่กลั่นของผสม ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ จะกลายเป็นไอออกมาก่อน ของเหลวที่มีจุดเดือดสูงกว่าจะกลายเป็นไอออกมาภายหลัง [25] เมื่ออ้างอิงตามทฤษฎีจลน์ของโมเลกุล การกลั่นจะทำให้โมเลกุลของของเหลวได้รับพลังงานความร้อนที่มากพอที่จะทำให้โมเลกุลมีพลังงานจลน์สูงพอจนสามารถแยกแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ก่อนเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ เรียกว่ากระบวนการกลายเป็นไอ (Vaporization) ในทางกลับกันหากไอคายพลังงานความร้อนออกมาโมเลกุลก็จะมีพลังงานจลน์น้อยลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้นจนในที่สุด ก็มากพอที่จะรวมกันเป็นสารในสถานะของเหลว โดยการเปลี่ยนสถานะจากไอหรือแก๊สเป็นของเหลว เรียกว่า การควบแน่น [9] การกลั่นมีหลายประเภท เช่น

2.9.1 การกลั่นแบบธรรมดา (Simple Distillation)

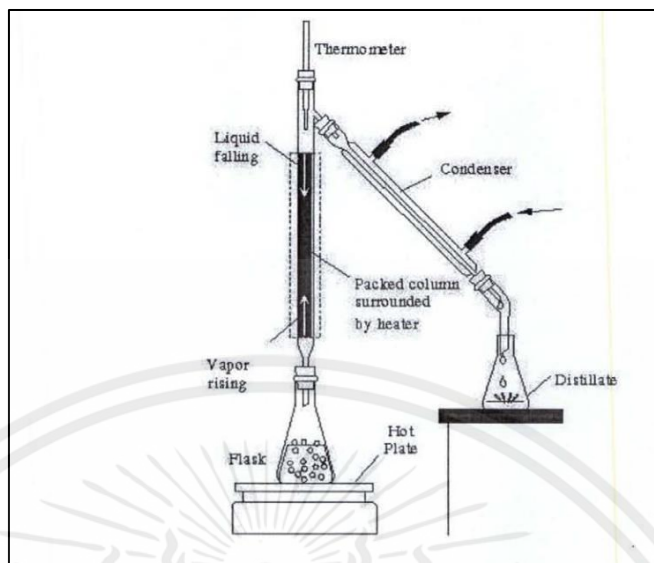
เหมาะสำหรับการแยกสารละลายที่ตัวถูกละลายเป็นสารระเหยยาก และตัวถูกละลายมีจุดเดือดสูงกว่าตัวทำละลายมาก เช่น น้ำเชื่อม น้ำเกลือ นอกจากนั้นยังใช้แยกของเหลวสองชนิดที่มีจุดเดือดต่างกันมาก ๆ เช่น ต่างกันมากกว่า 80 องศาเซลเซียส ออกจากกันได้ ซึ่งตัวถูกละลายจะยังคงอยู่ในขวดกลั่น ทำให้ตัวทำละลายที่บริสุทธิ์แยกออกจากสารละลาย



รูปที่ 2.16 การกลั่นแบบธรรมดา [23]

2.9.2 การกลั่นลำดับส่วน (Fractional distillation)

เหมาะสำหรับกลั่นแยกของเหลวที่จุดเดือดใกล้เคียงกัน การจำแนกระหว่างการกลั่นธรรมดา กับ การกลั่นลำดับส่วนด้วยความใกล้เคียงหรือแตกต่างของจุดเดือด หรือแยกสารละลายที่ตัวทำละลาย และตัวถูกละลายเป็นสารระเหยง่ายทั้งคู่ ซึ่งการกลั่นธรรมดาจะต้องกลั่นซ้ำ ๆ กันหลาย ๆ ครั้งจึงจะได้สารบริสุทธิ์ทำให้มีค่าใช้จ่ายจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องนำไปกลั่นในคอลัมน์ลำดับส่วนหรือในหอกลั่น ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนการกลั่นซ้ำหลาย ๆ ครั้ง การกลั่นในหอกลั่นนี้เรียกว่า การกลั่นลำดับส่วน เช่น การกลั่นน้ำมันดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม



รูปที่ 2.17 การกลั่นลำดับส่วน [23]

2.9.3 การกลั่นโดยการใช้ไอน้ำ (Steam distillation)

การกลั่นด้วยไอน้ำเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งของการสกัดตัวทำละลาย โดยไอน้ำเป็นตัวทำละลาย ละลายสารและพาสารที่ต้องการออกจากของผสมได้ โดยหลักการมีอยู่ว่าสารที่ต้องการสกัดจะต้อง ระเหยได้ง่าย สามารถให้ไอน้ำพาออกมาจากของผสมได้ และสารที่สกัดได้จะต้องไม่รวมเป็นเนื้อ เดียวกับน้ำหรือไม่ละลายน้ำนั่นเอง ส่วนใหญ่มักใช้สกัดสารอินทรีย์ออกจากส่วนต่าง ๆ ของพืชที่อยู่ ตามธรรมชาติ เช่นการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ใบมะกรูด เป็นต้น

2.9.4 การกลั่นแบบพิเศษ

การกลั่นในรูปแบบอื่น ๆ ที่ไม่ได้จัดอยู่ในการกลั่น 3 ประเภทแรก เช่น การดูดซับน้ำจากสาร ละลายเอทานอลด้วยความชื้น, การกลั่นแบบ azeotropic และการกลั่นแบบ Homogeneous azeotropic เป็นต้น

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง



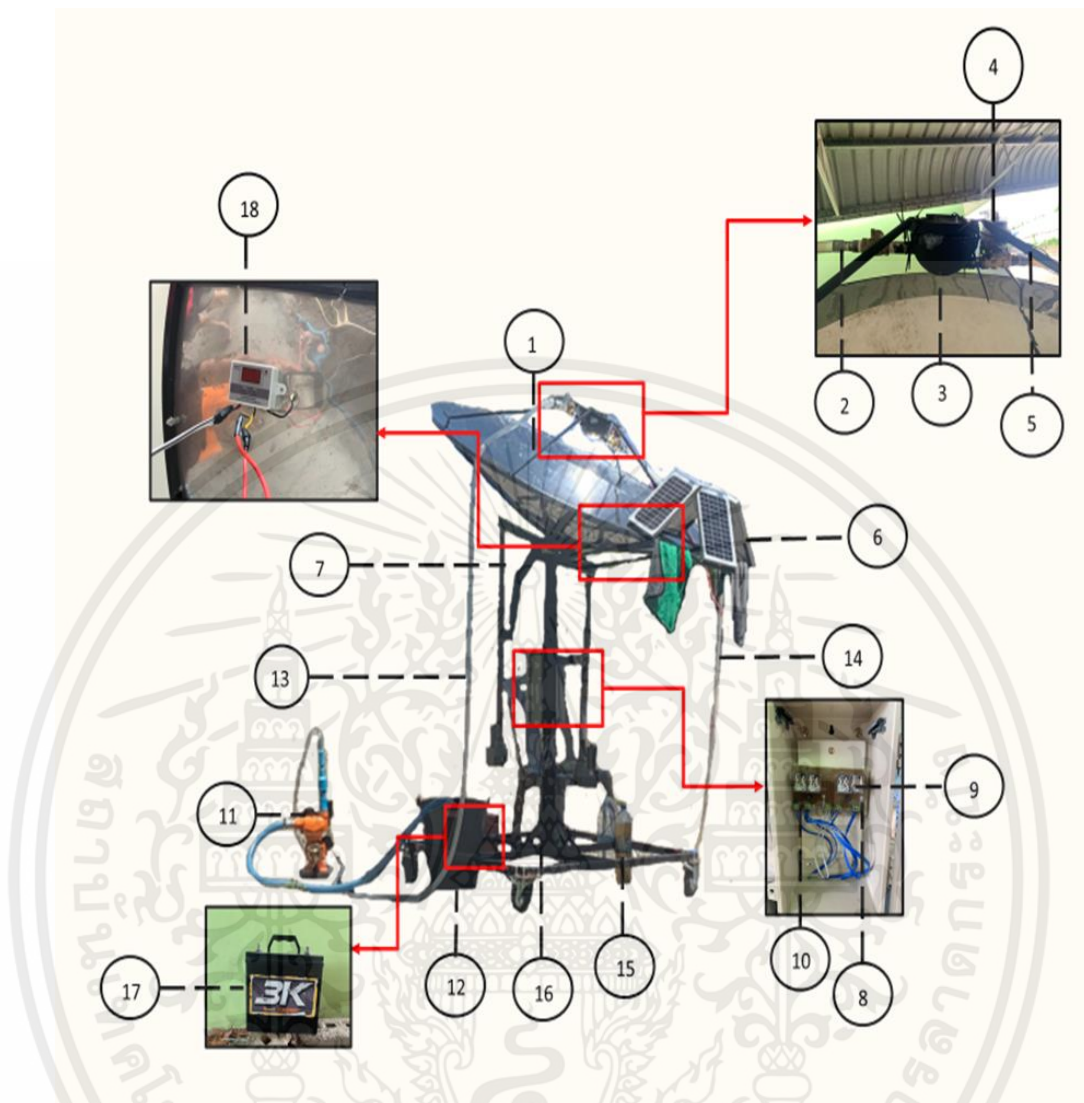
รูปที่ 3.1 แสดง Schematic diagram ของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ และวิธีการกำหนดการทดลอง โดยการวิจัยนี้ได้ทดสอบที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร ซึ่งชุดการทดลองมีรายละเอียดส่วนประกอบที่แสดงดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดหมายเลขต่าง ๆ ของ Schematic diagram เตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบ สำหรับการกลั่นน้ำทะเล

หมายเลข	รายละเอียด
1	ถังเก็บน้ำทะเลแบบเปิด
2	ปั๊ม
3	วาล์วทางเดียว หรือวาล์วกันไหลกลับ
4	ภาชนะต้มน้ำทะเล
5	โซลินอยด์วาล์ว
6	ถังเก็บน้ำทะเลที่ผ่านการรับแสงแล้ว
7	ชุดจนวนรวมแสงพาราโบลิก
TC1, 2, 3	เทอร์มิสเตอร์ ณ ตำแหน่งที่ 1, 2, และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล

หมายเลข	รายละเอียด
1	จานรวมแสงพาราโบลิก
2	วาล์วทางเดียว หรือวาล์วกันไหลกลับ
3	ภาชนะตม้น้ำทะเล
4	โซลินอยด์วาล์ว
5	ขายึดภาชนะตม้น้ำทะเล
6	โซล่าเซลล์
7	มอเตอร์ไฟฟ้า
8	ฟิวส์
9	รีเลย์
10	ไดโอด
11	ปั๊ม
12	ถังเก็บน้ำทะเลแบบเปิด
13	สายน้ำ (ทางเข้า)
14	สายน้ำทนความร้อน (ทางออก)
15	ถังเก็บน้ำทะเลที่ผ่านการรับแสงแล้ว
16	ขาตั้งจานรวมแสงพาราโบลิก
17	แบตเตอรี่
18	เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

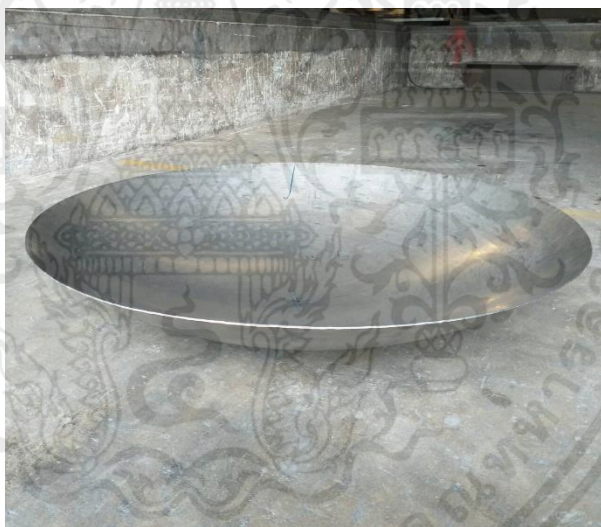
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 อุปกรณ์เครื่องต้นน้ำทะเลพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องมือทดสอบ

3.1.1 ชุดรวมแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลา

3.1.1.1 จานรวมแสงอาทิตย์ แบบพาราโบลา

ใช้จานพาราโบลาคัดขึ้นรูปแผ่นสแตนเลส 304 หนา 2 mm. ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร และนำมาขัดเงาให้ผิวสแตนเลสมันวาวคล้ายกระจกเงาด้วยไขวาห เพื่อให้สามารถรับรังสีจากดวงอาทิตย์แล้วสะท้อนพลังงานความร้อนไปยังภาชนะหม้อต้มบรรจุน้ำทะเล ที่ติดตั้งอยู่บริเวณจุดโฟกัสของจานรวมแสงอาทิตย์ โดยคำนวณพื้นที่ผิวส่วนโค้งเว้าของจานรวมแสงพาราโบลิกจากสมการ 2.16 โดยที่ $r_a=0.5\text{m.}$, $h=0.20\text{m.}$, ดังนั้นได้ $A_a = 0.785 \text{ m.}^2$ มีรายละเอียดดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของจานพาราโบลิก

3.1.1.2 ภาชนะหม้อต้มบรรจุน้ำทะเล

เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่ส่งผลต่อการทดลองต้มน้ำทะเลด้วยชุดทดลองจานรวมแสงพาราโบลิก ทั้งนี้รูปร่างของภาชนะ, ขนาด, และชนิดของวัสดุที่นำมาทำภาชนะจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำทะเลให้สูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการตามวัตถุประสงค์

ซึ่งภาชนะที่นำมาใช้ในการทดลองจะต้องมีสามารถถ่ายเทความร้อนได้ง่าย และจะต้องไม่ก่อมลพิษ หรือก่อให้เกิดสารเคมีที่จะทำให้เป็นอันตรายต่อการอุปโภคและบริโภคเมื่อได้รับความร้อน โดยในที่นี้ได้ออกแบบรูปทรงของภาชนะเป็นครึ่งทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร และสูง 0.075 เมตร (แสดงดังรูปที่ 3.4) และใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลสซึ่งมีความสามารถในการนำความร้อนสูง, ทนความร้อนสูง, ทนการกัดกร่อนของน้ำทะเล, และยากต่อการเกิดสนิม [26]



รูปที่ 3.4 แสดงภาชนะต้มน้ำทะเล

3.1.1.3 ขาตั้งจานรวมแสงอาทิตย์

ใช้โครงเหล็กเชื่อมที่มีความสูงจากฐาน 1.2 เมตร (รวมความสูงจานพาราโบลิก) หน้าฐานกว้าง 1.03 เมตร โดยมีการออกแบบให้มีความสามารถเปลี่ยนมุมเอียงได้ 2 แนวแกน เพื่อรองรับระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบ 2 แกน โดยแกน x (ทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก) มีความสามารถเอียงได้ถึง 30 องศาเมื่อวัดจากแกนของขาตั้ง และแกน y (ทิศเหนือไปยังทิศใต้) มีความสามารถเอียงได้ถึง 43 องศาเมื่อวัดจากแกนของขาตั้ง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงฐานหรือขาตั้งจานรวมแสงพาราโบลิก

3.1.2 ชุดติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกน

ใช้สำหรับติดตามแสงอาทิตย์สองแนวแกนเพื่อให้สามารถให้ความร้อนกับน้ำในภาชนะต้มน้ำทะเลได้ตลอดเวลาที่มีแสงอาทิตย์

3.1.3 เทอร์โมมิเตอร์

ใช้สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิของน้ำในตำแหน่งต่างๆที่ต้องการศึกษาอุณหภูมิโดยการติดตั้งเทอร์โมคอปเปิล ซึ่งมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และอ่านค่าได้พร้อมกัน 4 จุด

3.1.4 เทอร์โมคอปเปิล (Type K)

ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำในตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการทราบค่าอุณหภูมิ โดยการนำไปติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่ต้องการศึกษาหรืออ่านค่าอุณหภูมิ

3.1.5 ป้อนน้ำพร้อมระบบตัดน้ำอัตโนมัติ

ใช้สำหรับป้อนน้ำทะเลเข้าสู่หม้อต้มน้ำทะเลที่ติดตั้งอยู่บริเวณจุดโฟกัสของจานพาราโบลิก ซึ่งปั๊มจะตัดการทำงานเมื่อปริมาณน้ำทะเลเต็มภาชนะต้มน้ำทะเล

3.1.6 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

สามารถกำหนด หรือเซ็ทค่าอุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งหากอุณหภูมิของน้ำถึงค่าตามที่กำหนด ตัวควบคุมอุณหภูมิก็จะปล่อยกระแสไฟฟ้าให้โซลินอยด์วาล์วปล่อยน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิที่ต้องการออกมา ซึ่งสามารถกำหนดช่วงอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 50 – 110 องศาเซลเซียส ค่าความคลาดเคลื่อน 0.1-0.2 องศาเซลเซียส

3.1.7 โซลินอยด์วาล์ว

วาล์วไฟฟ้าสำหรับปล่อยน้ำทะเลที่บริเวณทางออกของภาชนะต้มน้ำทะเล โดยรับคำสั่งและกระแสไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

3.1.8 วาล์วกันไหลกลับ

ใช้สำหรับป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำทะเลที่บริเวณทางเข้าของภาชนะต้มน้ำทะเล

3.1.9 ถังใส่น้ำ

ใช้สำหรับใส่น้ำทะเล

3.1.10 เครื่องวัดความเข้มแสง

ใช้สำหรับวัดค่าความเข้มแสงที่ใช้ในขณะที่ทำการทดลอง เพื่อใช้ในการประกอบการวิเคราะห์ผลการทดลอง

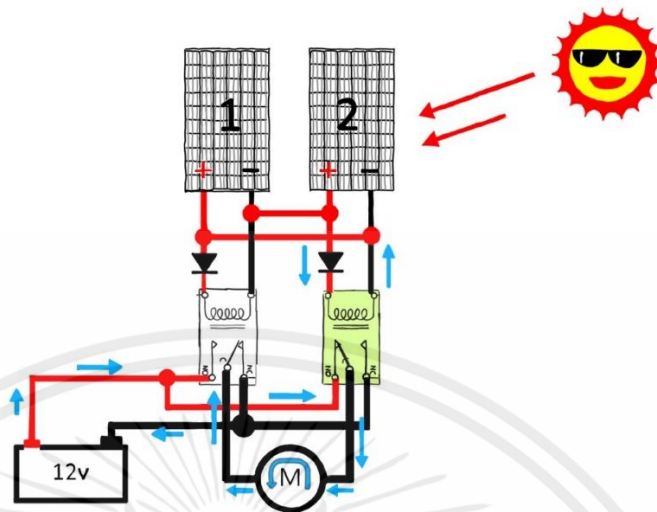
3.2 หลักการทำงานของชุดทดลองเครื่องต้มน้ำทะเลพลังงานแสงอาทิตย์

การทำงานของชุดทดลองเครื่องต้มน้ำทะเลพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตามแสงอาทิตย์แบบ 2 แกนนั้นเริ่มต้นโดยการสูบน้ำทะเลจากถังเก็บน้ำโดยใช้ปั๊มหยอโข่งอัตโนมัติไปยังภาชนะต้มน้ำจนเต็ม เมื่อน้ำเต็มภาชนะต้มน้ำแรงดันภายในภาชนะต้มน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปั๊มทำการตัดการทำงาน เพื่อให้ ความร้อนแก่น้ำทะเลจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ เมื่ออุณหภูมิถึงตามที่ต้องการจะมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ อ่านค่าจากเทอร์โมคอปเปิลที่ติดตั้งอยู่ภายในภาชนะต้มน้ำและปล่อยกระแสไฟฟ้าไปยังโซลินอยด์วาล์วเพื่อ เปิดวาล์วให้น้ำทะเลที่มีอุณหภูมิตามที่ต้องการไหลออกผ่านสายทนมความร้อนลงสู่ถังเก็บน้ำร้อน หรือ ขวดเก็บน้ำร้อน หรือเข้าสู่กระบวนการกลั่นต่อไป เมื่อน้ำร้อนถูกปล่อยออกแรงดันภายในภาชนะต้มน้ำลดต่ำลงจะทำให้ปั๊มทำการปั๊มน้ำจากในถังเก็บน้ำเข้าสู่ภาชนะต้มน้ำเพิ่ม เมื่อน้ำไหลเข้ามาในภาชนะต้มน้ำ จะทำให้อุณหภูมิของน้ำในภาชนะต้มน้ำต่ำลง เครื่องควบคุมอุณหภูมิจึงทำการตัดกระแสไฟฟ้าให้โซลินอยด์ วาล์วปิดทางออกของน้ำ

3.3 การออกแบบเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล

3.3.1 การเลือกวัสดุสำหรับเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล

- วัสดุสำหรับจานรวมแสงอาทิตย์ : เลือกใช้สแตนเลสแทนการใช้อลูมิเนียม เนื่องจากสแตนเลสมีค่าความสะท้อนแสงมากกว่าอลูมิเนียม และสแตนเลสเกรดที่เลือกใช้ราคาสูงกว่าอลูมิเนียม เมื่อเทียบกับความแข็งแรง และความทนทานต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเล
- วัสดุสำหรับ Chamber : เลือกใช้สแตนเลสแทนการใช้อลูมิเนียม เนื่องจากความแข็งแรง การเชื่อม และความทนทานต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเล ถึงแม้ว่าอลูมิเนียมมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่าสแตนเลส
- วัสดุสำหรับโครงสร้าง : เลือกใช้เหล็กกล่อง เนื่องจากความแข็งแรง ซึ่งต้องรับน้ำหนักทั้งหมดของเครื่อง และความเบา เพื่อลดน้ำหนักรวมของตัวเครื่อง
- วัสดุสำหรับการปกคลุมพื้นผิวของ Chamber : เลือกใช้สีดำแทนการใช้สีอื่นๆ เนื่องจากสีดำมีความสามารถในการดูดซับแสงอาทิตย์สูงกว่าสีอื่น ที่มืดใดๆ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักของการเลือกใช้วัสดุสำหรับการปกคลุมพื้นผิวของ Chamber
- ระบบติดตามพระอาทิตย์ : เลือกใช้วงจรตามตะวัน 2 แกน โดยหลักการของวงจรตามตะวันคือใช้แผงโซลาร์ทำการเปรียบเทียบแรงดันเพื่อจ่ายไฟไปยังรีเลย์แต่ละตัว เมื่อรีเลย์ตัวใดได้รับแรงดันไฟฟ้าเพียงพอ หน้าคอนแทคของรีเลย์จะเปลี่ยน ซึ่งทำให้แรงดันไฟฟ้าจากภายนอก (แบตเตอรี่) สามารถผ่าน และส่งเข้ามอเตอร์ (actuator) ให้หมุนไปในทิศทางที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการทำงานของวงจรตามตะวัน

3.3.2 การออกแบบเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล

3.3.2.1 เงื่อนไขในการออกแบบจานรวมแสงอาทิตย์

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรวมแสงอาทิตย์เท่ากับ 1 เมตร
- ความสูงของจานรวมแสงอาทิตย์เท่ากับ 0.2 เมตร
- ความยาวโฟกัสของจานรวมแสงอาทิตย์เท่ากับ 0.3125 เมตร โดยความยาวโฟกัสนี้คำนวณจากสมการ (2.17)
- พื้นที่ของจานรวมแสงอาทิตย์เท่ากับ 0.7850 ตารางเมตร ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.16)

3.3.2.2 เงื่อนไขในการออกแบบ Chamber

- เลือกใช้ Chamber แบบทรงครึ่งวงกลมแทนการใช้ทรงเหลี่ยม เนื่องจากความมน และไร้ออกของทรงกลม ทำให้มีพื้นที่รับแสงได้อย่างไม่ตกขอบหรือมุมใดๆ
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Chamber เท่ากับ 0.15 เมตร

- ปริมาตรของ Chamber เท่ากับ 883.125 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยปริมาตรของ Chamber นี้คำนวณจากสมการ (2.13)
- พื้นที่ของ Chamber เท่ากับ 0.053 ตารางเมตร โดยพื้นที่ของ Chamber คำนวณได้จากสมการ (2.15)

3.4 วิธีการทดลอง

การศึกษาการกลั่นน้ำทะเลด้วยจานพาราโบลาพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีระบบติดตามแสงอาทิตย์ 2 แกน จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 3.4.1 ทำความสะอาดน้ำทะเลโดยการกรองสิ่งปฏิกูล และอนุภาคขนาดเล็กออกจากน้ำทะเล
- 3.4.2 กำหนดค่าอุณหภูมิของไหลทดลองที่ต้องการบนเครื่องควบคุมอุณหภูมิทางออกคงที่ที่ 70 และ 90 องศาเซลเซียส (isothermal test) และไม่กำหนดอุณหภูมิที่ทางออกของน้ำบนเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (non-isothermal test)
- 3.4.3 เปิดชุดทดลองเครื่องต้มน้ำทะเลด้วยจานพาราโบลาพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีระบบติดตามแสงอาทิตย์ 2 แกน จากนั้นป้อนน้ำทะเลเข้าสู่ระบบ ซึ่งน้ำทะเลจะถูกปั๊มน้ำอัตโนมัติขึ้นสู่ภาชนะต้มน้ำรูปทรงครึ่งทรงกลม (chamber) ที่ติดตั้งบริเวณจุดโฟกัสของจานพาราโบลาจนเต็ม
- 3.4.4 อ่าน และบันทึกข้อมูล ได้แก่ ค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษา (อุณหภูมิน้ำทางเข้า, อุณหภูมิน้ำในภาชนะต้มน้ำ, อุณหภูมิของจานรวมแสงอาทิตย์) , ค่าความเข้มแสง ณ เวลาต่าง ๆ (ทุกๆ 30 นาที) ขณะบันทึกผลการทดลอง และเวลาขณะบันทึกผลการทดลอง
- 3.4.5 เมื่อน้ำทะเลมีอุณหภูมิสูงถึงตามที่กำหนดค่าไว้ (3.4.2) เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะปล่อยกระแสไฟไปยังโซลินอยด์วาล์วเพื่อทำการเปิดให้น้ำทะเลที่มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ ไหลไปตามท่อ ทนความร้อนไปยังขวดเก็บน้ำทะเล หรือถังเก็บความร้อน หรือป้อนเข้าสู่ขั้นตอนในกระบวนการกลั่นเพื่อแยกเกลือออกจากน้ำทะเล (desalination)
- 3.4.6 บันทึกปริมาณของน้ำทะเลที่ได้จากการต้มน้ำทะเลด้วยชุดทดลองต้มน้ำทะเลด้วยจานพาราโบลาพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีระบบติดตามแสงอาทิตย์ 2 แกนใน 1 วัน และวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของชุดทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

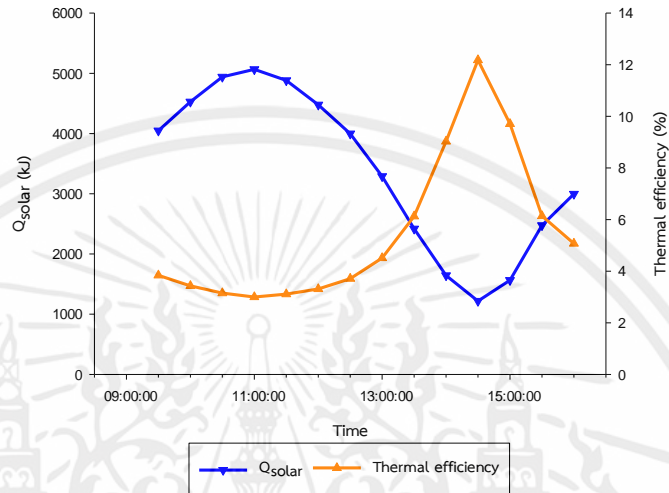
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล โดยเก็บข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีทั้งหมด) ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีกระจาย) อุณหภูมิน้ำทะเลขาเข้าและขาออก ที่ 70 และ 90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำทะเลภายใน receiver และปริมาณน้ำทะเลที่สามารถผลิตได้ตามอุณหภูมิที่กำหนด ตั้งแต่เวลา 9:00-16:00 นาฬิกา ซึ่งตารางผลการทดลองอยู่ในภาคผนวก ข. และนำผลการทดลองที่ได้แสดงเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อน ประสิทธิภาพ และช่วงเวลาที่ทำการทดลอง

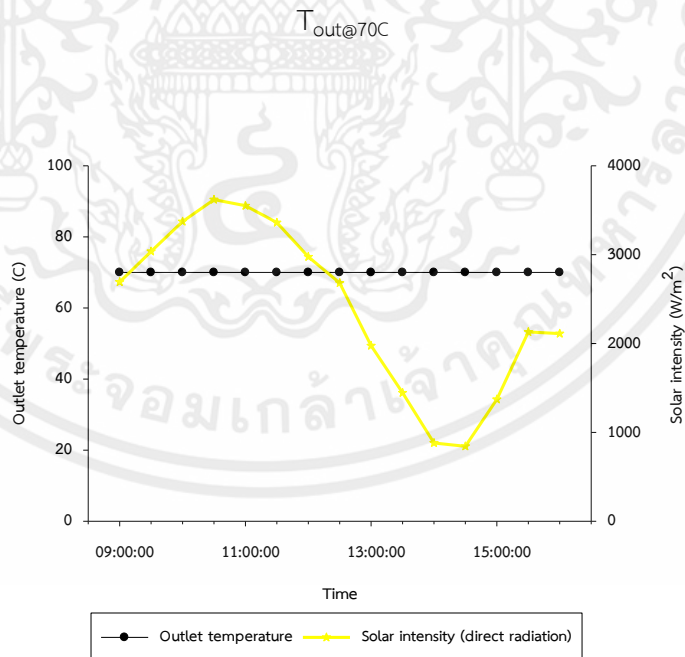
4.1.1 Isothermal test

รูปที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนและ ความร้อนเข้า (Q_{solar}) ของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล โดยกำหนดอุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าช่วงเวลา 9:00-11:30 นาฬิกา Q_{solar} มีค่ามาก และสอดคล้องกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (รูปที่ 4.2) ที่ หลังจากนั้น Q_{solar} เริ่มลดลงเรื่อยๆ ตามรูป จนกระทั่งช่วงเวลา 14:00-14:30 นาฬิกา Q_{solar} ซึ่งมีค่าน้อยมาก และค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าน้อยมากเช่นเดียวกันที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจาก Q_{solar} แปรผันตรงกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ดังสมการ (2.7) ทำให้ลักษณะเส้นแผนภูมิของค่าความเข้มแสงอาทิตย์และ Q_{solar} มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ขณะที่พบว่าเมื่อ

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น Q_{solar} มีค่าลดลง รูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเตาพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตน้ำที่ 70 C คงที่ตลอดทั้งวัน



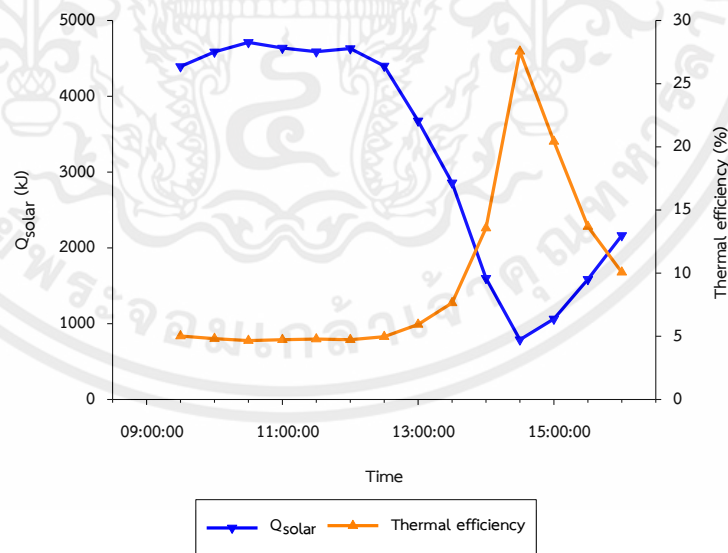
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_{solar} และประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่เวลาใดๆ ของ



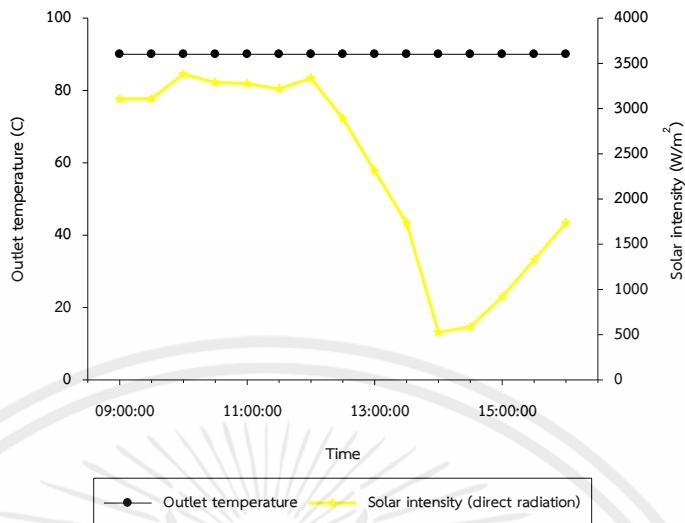
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{\text{out@70C}}$ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ที่เวลาใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรูปที่ 4.3 แสดงถึงประสิทธิภาพและ Q_{solar} ของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล ที่กำหนดอุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส พบว่า Q_{solar} มีค่าเปลี่ยนตามเวลา โดยช่วงเวลา 9:00-12:00 นาฬิกา Q_{solar} มีค่ามาก ที่ 3000 กิโลจูลขึ้นไป หลังจากนั้น Q_{solar} ลดลงอย่างต่อเนื่อง และมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเวลา 15:00 นาฬิกา จนจบการทดลองของวันนั้น ดังรูป ขณะเดียวกันค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ในรูปที่ 4.4 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{\text{out@90C}}$ และความเข้มแสงอาทิตย์ ที่เวลาใดๆ มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับ Q_{solar} ในรูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเตาปฏิกรณ์สามารถต้มน้ำอุณหภูมิที่ 90 องศาได้ตลอดทั้งวัน จากรูปที่ 4.1 และ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีความผกผันกับ Q_{solar} คือเมื่อ Q_{solar} มีค่ามากขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าน้อยลง ในทางกลับกัน เมื่อ Q_{solar} มีค่าน้อยลง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่ามากขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนในรูปที่ 4.1 ที่เวลา 12:30 เป็นต้นไป ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่ามากขึ้น ในขณะที่ Q_{solar} มีค่าน้อยลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากสมการ (2.9) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนคืออัตราส่วนของพลังงานความร้อนขาออกหรือ $Q_{\text{absorption}}$ ต่อ Q_{solar} และจากผลการทดลองพบว่า $Q_{\text{absorption}}$ มีค่าในทิศทางเดียวกัน (คงที่) ทำให้ Q_{solar} มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล

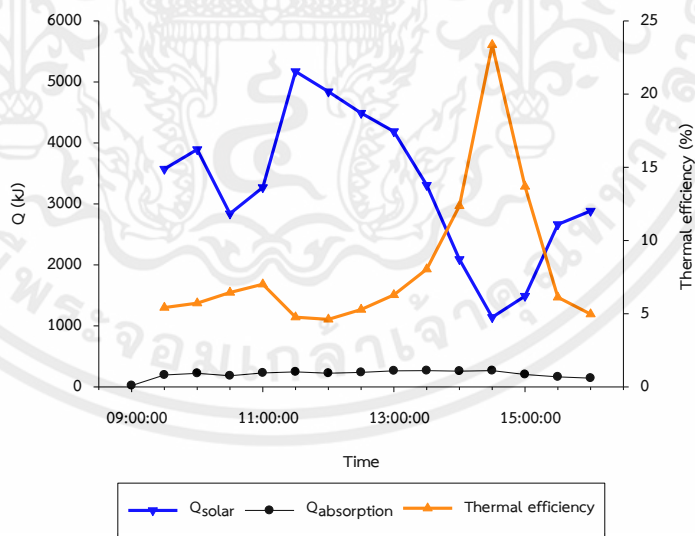


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_{solar} ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่เวลาใดๆ ของ $T_{\text{out@90C}}$

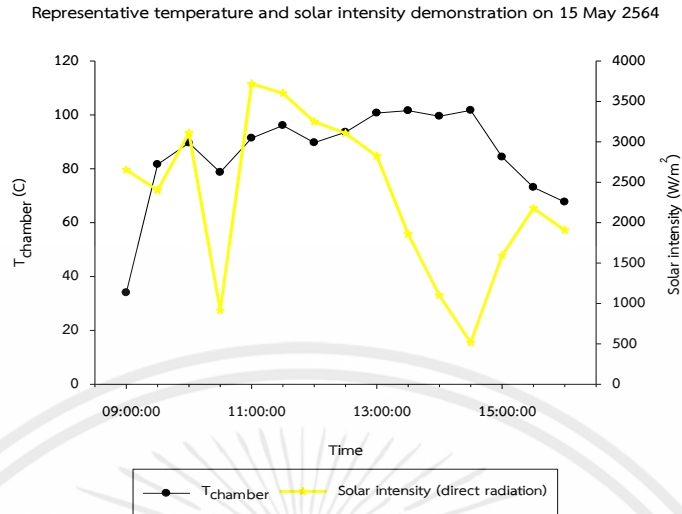


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{out@90C}$ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ที่เวลาใดๆ

4.1.2 non-isothermal test



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_{solar} , $Q_{absorption}$ และประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่เวลาใดๆ ของการทดลองแบบไม่กำหนด T_{out}

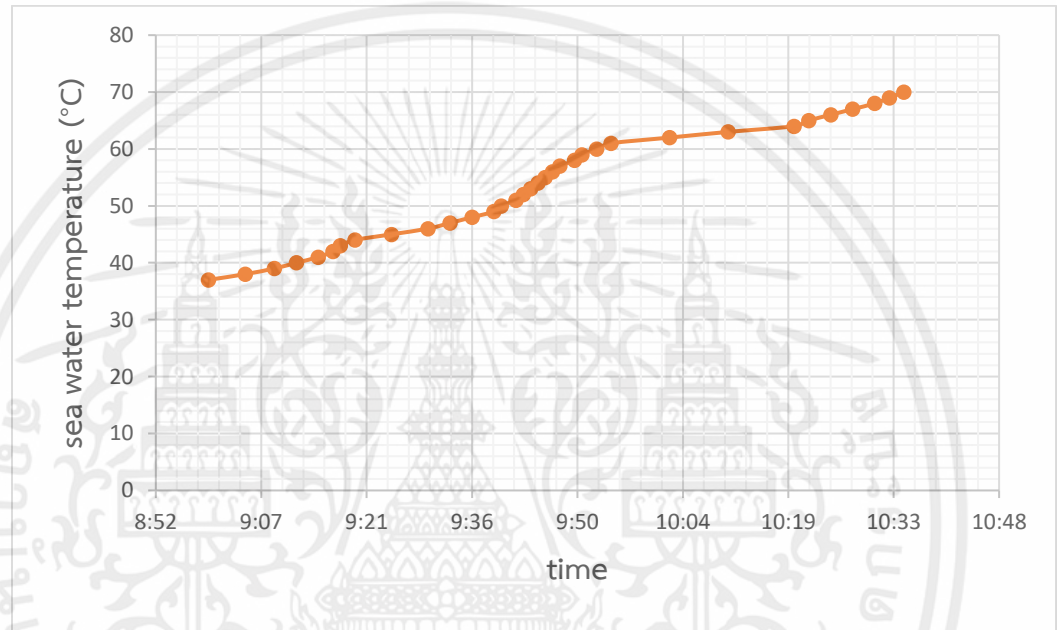


รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อน ประสิทธิภาพ ความเข้มแสงอาทิตย์และเวลาที่ไม่กำหนด T_{out}

รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการต้มน้ำทะเลโดยไม่กำหนดอุณหภูมิขาออก (non-isothermal test) เริ่มเวลาที่ 9:00 นาฬิกา อุณหภูมิน้ำทะเลมีค่าน้อย เนื่องจากเป็นน้ำทะเลไม่ได้รับพลังงานความร้อนใดๆ แต่ในเวลาต่อมาอุณหภูมิน้ำทะเลพุ่งสูงขึ้น เนื่องจากได้รับพลังงานความร้อนจากการรวมแสงอาทิตย์ Q_{solar} ซึ่งได้มาจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ดังนั้นค่าความเข้มแสงจึงมีผลต่ออุณหภูมิน้ำทะเล เมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิน้ำทะเลจึงเพิ่มขึ้นตาม และมีค่าลดลง เมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์ลดลง อย่างที่สังเกตได้ในเวลาที่ 10:30 นาฬิกา แต่เมื่อเวลาผ่านไป ค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเวลา 13:30 นาฬิกา ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ก็ลดลงเรื่อยๆ แต่อุณหภูมิน้ำทะเลยังคงที่ เนื่องมาจากอุณหภูมิช่วง 13:30-14:30 นาฬิกา อุณหภูมิน้ำทะเลมีค่าสูงสุดที่ 101 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนเฟส ทำให้อุณหภูมิไม่ลด แต่ในเวลาต่อมาเมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิน้ำทะเลจึงลดลงดังรูป

นอกจากอุณหภูมิน้ำทะเลภายใน Chamber ลักษณะความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ของรูปที่ 4.5 คล้ายกับรูปที่ 4.1 และ 4.3 คือค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีผลต่อ Q_{solar} และ Q_{solar} มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน เมื่อ $Q_{absorption}$ มีค่าในทิศทางเดียวกัน

จากรูปที่ 4.7 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำใน chamber ที่เวลาผ่านไปเมื่ออุณหภูมิ น้ำทะเลเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในเวลา 10:35 นาฬิกา โดยเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทำให้น้ำทะเลมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส เท่ากับ 3 นาที และใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 30 นาที



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส และเวลา

4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล

ตารางที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล ที่กำหนดอุณหภูมิ น้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 และ 90 องศาเซลเซียส (isothermal test) และที่ไม่กำหนดอุณหภูมิ น้ำทะเลขาออก (non-isothermal test) พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยที่กำหนดอุณหภูมิ น้ำทะเลขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละ 8.23 ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยที่กำหนดอุณหภูมิ น้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส และที่ไม่กำหนดอุณหภูมิ น้ำทะเลขาออก ที่มีค่าร้อยละ 6.03 และ 8.15 ตามลำดับ ที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ $T_{out@90C}$ มากกว่า $T_{out@70C}$

เนื่องมาจากการกำหนดอุณหภูมิน้ำทะเลขาออกที่สูงกว่า ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิน้ำทะเลขาเข้าและขาออกเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าพลังงานความร้อนขาออกจึงเพิ่มขึ้น ดังสมการที่ (2.10) และที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ $T_{out@90C}$ มากกว่าที่ไม่กำหนด T_{out} เป็นเพราะค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยของการทดลองที่ $T_{out@90C}$ น้อยกว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยของการทดลองที่ไม่กำหนด T_{out} ซึ่งค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีผลต่อกรณีนี้ เนื่องมาจาก $Q_{absorption}$ มีค่าใกล้เคียงกัน

โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล คือปริมาณความร้อนที่ถูกดูดซับโดยน้ำทะเล (การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ) และการลดลงของ heat losses ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าความร้อนถูกดูดซับได้น้อย จะทำให้ค่าพลังงานความร้อนขาออก (Q_{absorb}) น้อย ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลงเช่นเดียวกัน



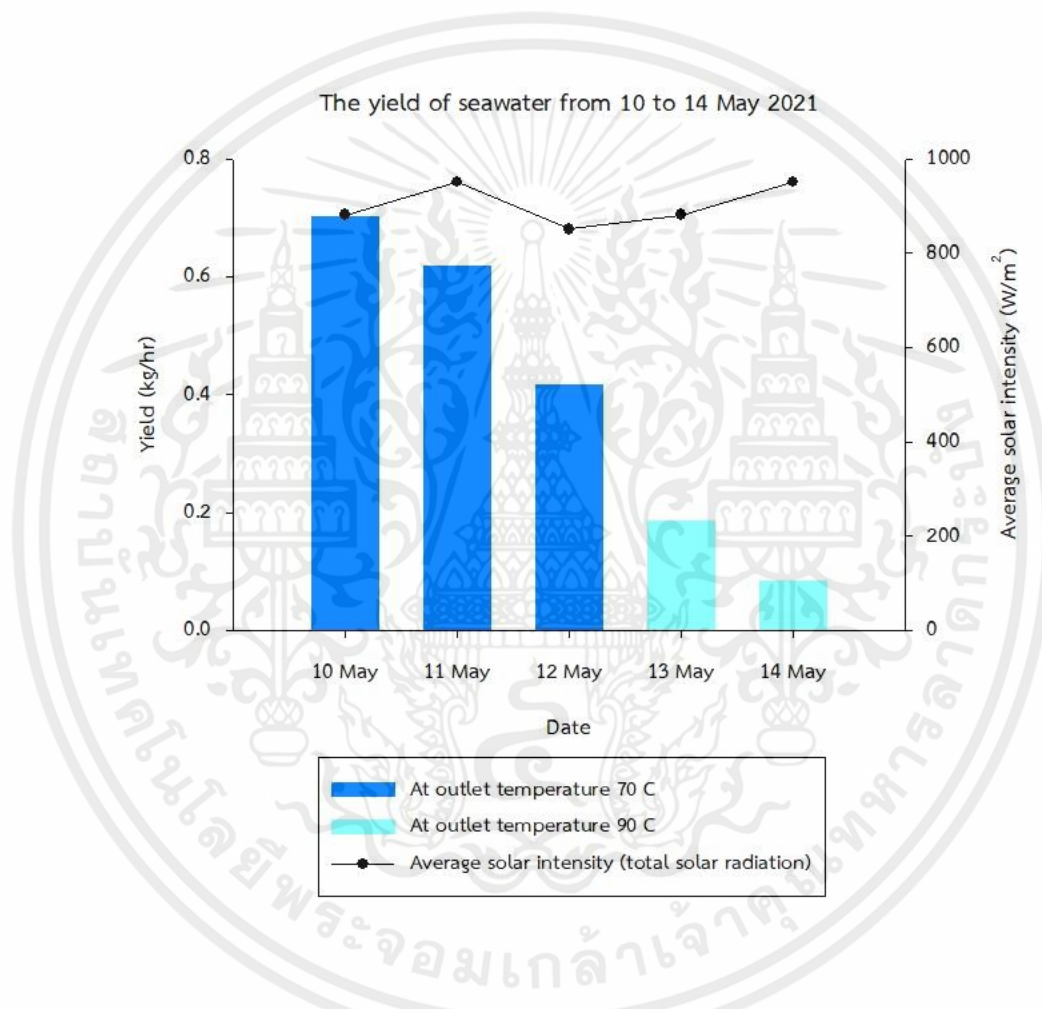
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ ที่อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 และ 90 องศาเซลเซียส และไม่กำหนดอุณหภูมิน้ำทะเลขาออก

การทดลอง	ความเข้ม แสงอาทิตย์เฉลี่ย (รังสีตรง) (วัตต์ ต่อตารางเมตร) สมการที่ 2.6	ประสิทธิภาพเชิง ความร้อนเฉลี่ย (ร้อยละ) สมการที่ 2.9	ประสิทธิภาพ โดยรวมสูงสุดเฉลี่ย (ร้อยละ) สมการที่ 2.12	ประสิทธิภาพการ ดูดซับเชิงทฤษฎี เฉลี่ย (ร้อยละ) สมการที่ 2.11
อุณหภูมิน้ำทะเล ขาออก 70 องศา เซลเซียส	2035.58	6.03	10.22	97.07
อุณหภูมิน้ำทะเล ขาออก 90 องศา เซลเซียส	2332.17	8.23	12.04	96.92
ไม่กำหนดอุณหภูมิ น้ำทะเลขาออก	2466.5	8.15	14.92	96.16

รูปที่ 4.8 แสดงสมรรถนะการผลิตน้ำทะเลที่อุณหภูมิขาออกเท่ากับ 70 และ 90 องศาเซลเซียส ในแต่ละวัน (10-14 พฤษภาคม) และความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ณ วันที่เก็บผลทดลอง พบว่าสมรรถนะการผลิตน้ำทะเลที่อุณหภูมิขาออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2564 มีค่า 0.7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในขณะที่วันที่ 11 มีค่า 0.62 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และวันที่ 12 มีค่า 0.42 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีทั้งหมด) เฉลี่ยเท่ากับ 880.58, 950.69 และ 850.53 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และที่สมรรถนะการผลิตน้ำทะเลที่อุณหภูมิขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส ในวันที่ 13 พฤษภาคม 2564 มีค่า 0.19 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และวันที่ 14 มีค่า 0.08 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีทั้งหมด) เฉลี่ยเท่ากับ 880.41 และ 950.74 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตน้ำทะเล ตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้ อย่างแรกที่เราเห็นได้อย่างชัดเจนจากรูปที่ 4.8 คือปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ณ วันที่เก็บผลการทดลอง เมื่อปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์มาก ทำให้สามารถผลิตน้ำทะเลตามอุณหภูมิที่

กำหนดได้มากเช่นเดียวกัน เมื่อเทียบกับอุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเดียวกัน อย่างที่สองคืออุณหภูมิน้ำทะเลขาออก สังเกตที่อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส จะผลิตปริมาณน้ำทะเลได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 องศา เนื่องจากการทำให้อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกที่ 90 องศาเซลเซียส ต้องใช้พลังงานความร้อนที่มากกว่าการอุณหภูมิน้ำทะเลขาออกที่ 70 องศาเซลเซียส ยกตัวอย่างวันที่ 12 และ 13 เนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยไม่ต่างกันมาก



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการผลิตน้ำทะเล ความเข้มแสงอาทิตย์ และวันที่เก็บผลการทดลอง

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

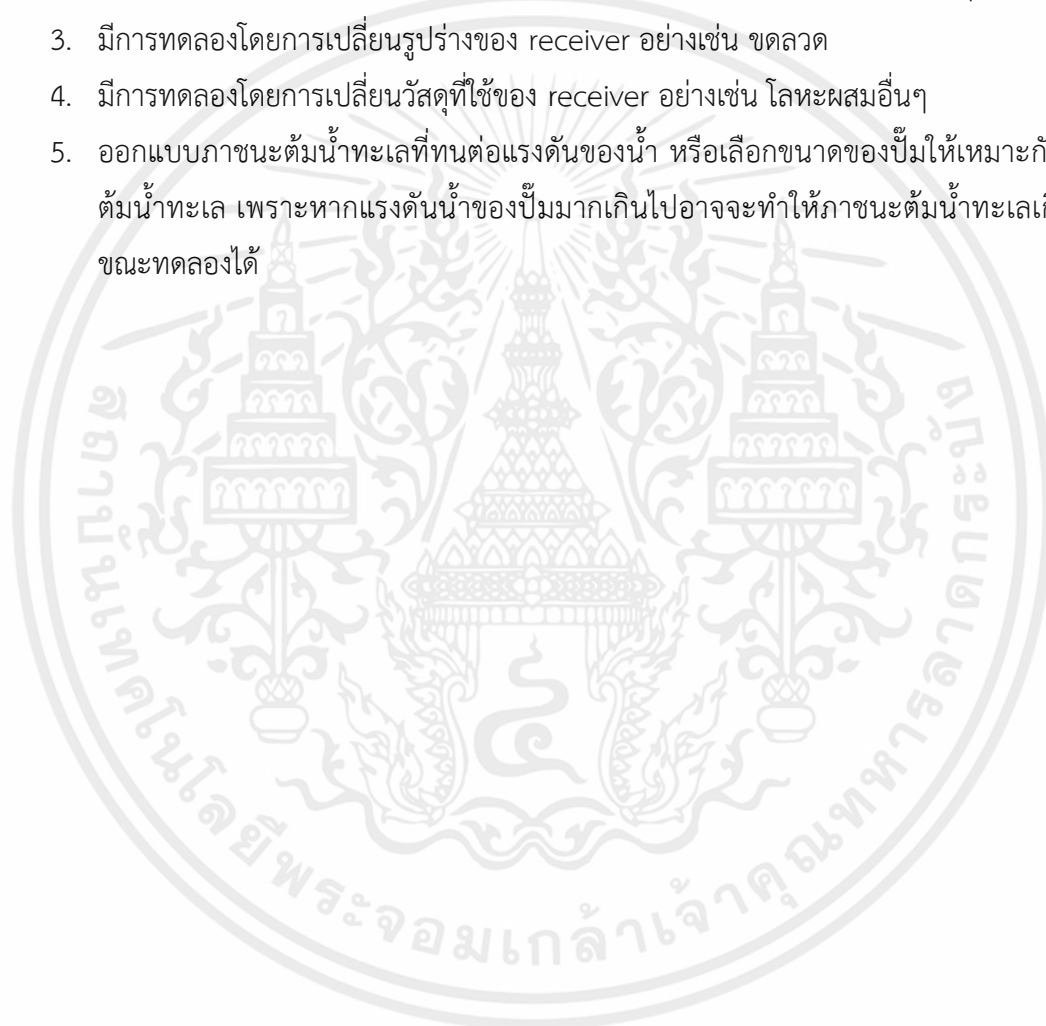
จากการศึกษาและทดลองเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล เพื่อต้มน้ำทะเล ให้ได้ 70 และ 90 องศาเซลเซียสอ้างอิงตามหลักการการกลั่นน้ำทะเลแบบ Solar Humidification-Dehumidification (HDH) และหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน และปริมาณน้ำทะเลที่สามารถผลิตได้ตามอุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งเท่ากับ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การทดลองเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล ที่อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยมีค่าร้อยละ 6.03 และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่าร้อยละ 12.181 ปริมาณน้ำทะเลที่สามารถผลิตได้เฉลี่ยวันละ 0.004 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 4 ลิตร
2. การทดลองเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล ที่อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยมีค่าร้อยละ 8.23 และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่าร้อยละ 27.56 ปริมาณน้ำทะเลที่สามารถผลิตได้เฉลี่ยวันละ 0.0095 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 0.95 ลิตร
3. การทดลองเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล ที่ไม่กำหนดอุณหภูมิน้ำทะเลขาออก พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยมีค่าร้อยละ 8.15 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่าร้อยละ 23.37 และพบว่าอุณหภูมิน้ำภายใน receiver ถึง 100 องศาเซลเซียส ในเวลา 13:00 นาฬิกาและสามารถขึ้นไปสูงสุดถึง 101.7 องศาเซลเซียส ในเวลา 14:30 นาฬิกา
4. เมื่อพิจารณาโดยรวมจากการศึกษาทั้งหมด พบว่าเครื่องต้มน้ำทะเลต้นแบบสามารถต้มน้ำที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียสได้ตลอดทั้งวัน ที่อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส สามารถผลิตปริมาณน้ำทะเลได้มากกว่าการทดลองต้มน้ำทะเล ที่อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิน้ำทะเลขาออกที่เท่า 70 องศาเซลเซียส

เป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล ถึงแม้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิน้ำทะเลขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากความไม่แน่นอนของความเข้มแสงอาทิตย์ ที่เกิดจากสภาพอากาศ จึงแนะนำให้นำระบบไฮบริด (พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการสันดาป) มาใช้ ซึ่งสามารถช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้
2. มีการทดลองโดยการเปลี่ยนของไหลทำงาน อย่างเช่น น้ำเค็มที่ความเข้มข้นต่างๆ
3. มีการทดลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของ receiver อย่างเช่น ขดลวด
4. มีการทดลองโดยการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ของ receiver อย่างเช่น โลหะผสมอื่นๆ
5. ออกแบบภาชนะต้มน้ำทะเลที่ทนต่อแรงดันของน้ำ หรือเลือกขนาดของปั๊มให้เหมาะกับภาชนะต้มน้ำทะเล เพราะหากแรงดันน้ำของปั๊มมากเกินไปอาจจะทำให้ภาชนะต้มน้ำทะเลเกิดการอวยรั่วขณะทดลองได้



เอกสารอ้างอิง

- [1] K. H. Solangi, M. R. Islam, R. Saidur, N. A. Rahim, and H. Fayaz, “A review on global solar energy policy,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 4, pp. 2149–2163, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.01.007.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์, “คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2,” 2557.
- [3] “สำหรับระบบหอคอยรวมแสงอาทิตย์ A Study on the Intensity Efficiency of a Solar Heliostat for a Central Receiver Solar Collector.”
- [4] R. E. Technology, C. Author, A. E. Yield, A. Standard, H. Pipe, and H. Pipe, “การประเมินค่าพลังงานความร้อนรายปี ที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ผลิตได้ ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงษ์ รัฐพร เงิน มีศรี นิพนธ์ เกตุจ้อย และ วิสุทธิ แซ่มสะอาด,” vol. 20, no. 1, pp. 16–23, 2012.
- [5] “สถานการณ์น้ำจืดของโลก และประเทศไทย | WWF.” .
- [6] Z. M. Omara and M. A. Eltawil, “Hybrid of solar dish concentrator, new boiler and simple solar collector for brackish water desalination,” *Desalination*, vol. 326, pp. 62–68, 2013, doi: 10.1016/j.desal.2013.07.019.
- [7] K. V. Modi, K. H. Nayi, and S. S. Sharma, “Influence of water mass on the performance of spherical basin solar still integrated with parabolic reflector,” *Groundw. Sustain. Dev.*, vol. 10, no. November 2019, p. 100299, 2020, doi: 10.1016/j.gsd.2019.100299.
- [8] T. RUANGRUNGCHAIKUL, “A Low-Cost Dual-Axis Solar Tracking System for Solar Home,” *Thail. Renew. Energy Community Conf.*, vol. 8, pp. 156–159, 2015.
- [9] P. Limsamphuncharoen, “การจัดทำเครื่องต้นแบบการกลั่นน้ำทะเลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จากจานรับแสงพาราโบล่า Seawater Solar Distillation by Parabolic Plate.”
- [10] E. Bellos, Z. Said, and C. Tzivanidis, “The use of nanofluids in solar concentrating

- technologies: A comprehensive review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 196, pp. 84–99, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.06.048.
- [11] M. Gwani, G. A. Abubakar, M. Abbas, M. N. Allah, and J. Danyaro E, “Design, Fabrication and Experimental Study of Solar Parabolic Dish Concentrator for Remote Area Application,” *Int. J. Sci. Basic Appl. Res.*, vol. 23, no. 1, pp. 230–241, 2015, [Online]. Available: <http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>.
- [12] S. A. Kalogirou, S. Karellas, K. Braimakis, C. Stanciu, and V. Badescu, “Exergy analysis of solar thermal collectors and processes,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 56, pp. 106–137, 2016, doi: 10.1016/j.pecs.2016.05.002.
- [13] Fitria, 済無 No Title No Title, vol. 53, no. 9. 2013.
- [14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.” https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=630 (accessed Sep. 18, 2020).
- [15] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย ปี 2560.” https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47941&filename=index (accessed Sep. 18, 2020).
- [16] “ฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ ระดับตำบล ปี 2560.” https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47941&filename=index (accessed Sep. 18, 2020).
- [17] K. Lovegrove and W. S. Csiro, “Introduction to concentrating solar power (CSP) technology,” *Conc. Sol. Power Technol.*, pp. 3–15, 2012, doi: 10.1533/9780857096173.1.3.
- [18] ญัฐวุฒิ วิสิษฐดำรงกุล และ ดร.อมรชัย อารณวิชานพ, “เทคโนโลยีการรวมความเข้มแสงอาทิตย์.” <http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/p55-58.pdf> (accessed Sep. 18, 2020).

- [19] W. Schiel and T. Keck, "Parabolic dish concentrating solar power (CSP) systems," *Conc. Sol. Power Technol.*, pp. 284–322, 2012, doi: 10.1533/9780857096173.2.284.
- [20] W. B. Stine and R. W. Harrigan, *Solar energy fundamentals and design*. United States: John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1985.
- [21] I. L. Mohammed, "Design and Development of a Parabolic Dish Solar Thermal Cooker," *Int. J. Eng. Res. Appl. www.ijera.com*, vol. 3, no. 1, pp. 1179–1186, 2013, [Online]. Available: www.ijera.com.
- [22] "Antenna Theory - Parabolic Reflector - Tutorialspoint." https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/antenna_theory_parabolic_reflector.htm (accessed Mar. 08, 2021).
- [23] J. Zhuang, "Lecture Notes on Statistical Seismology," vol. 2015, no. January, 2013.
- [24] M. H. Sharqawy, M. A. Antar, S. M. Zubair, and A. M. Elbashir, "Optimum thermal design of humidification-dehumidification-desalination systems," vol. 349, pp. 10–21, 2014, doi: 10.1016/j.desal.2014.06.016.
- [25] บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว, "หอกลิ้นเอทานอลขนาดเล็ก." pp. 6–8, 2009.
- [26] M. Kovendhan *et al.*, "Study of stainless steel electrodes after electrochemical analysis in sea water condition," *Environ. Res.*, vol. 173, no. November 2018, pp. 549–555, 2019, doi: 10.1016/j.envres.2019.03.069.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ตารางคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.1 แสดงค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำทะเล

Specific heat capacity of seawater
at constant pressure, J/kg K

P = P₀ (1 atm for t ≤ 100°C, Seawater vapor pressure for t > 100 °C)

Temp, °C	Salinity, g/kg													
	0	10	20	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0	4206.9	4141.8	4079.3	4019.2	3990.1	3961.7	3906.6	3853.9	3803.8	3756.1	3711.0	3668.3	3628.1	3590.3
10	4196.9	4136.7	4078.4	4022.2	3994.9	3968.1	3915.9	3865.8	3817.7	3771.6	3727.6	3685.6	3645.6	3607.7
20	4189.4	4132.9	4078.1	4024.9	3998.9	3973.4	3923.6	3875.4	3828.9	3784.1	3740.9	3699.4	3659.6	3621.4
25	4186.5	4131.5	4078.1	4026.2	4000.8	3975.8	3926.9	3879.5	3833.7	3789.3	3746.5	3705.2	3665.4	3627.1
30	4184.2	4130.6	4078.3	4027.5	4002.6	3978.0	3930.0	3883.3	3837.9	3794.0	3751.4	3710.3	3670.5	3632.1
40	4181.4	4129.8	4079.5	4030.3	4006.2	3982.3	3935.5	3889.8	3845.3	3801.9	3759.8	3718.8	3678.9	3640.2
50	4180.9	4130.8	4081.7	4033.7	4010.0	3986.6	3940.5	3895.5	3851.5	3808.5	3766.5	3725.5	3685.5	3646.5
60	4182.9	4133.6	4085.2	4037.8	4014.4	3991.2	3945.6	3900.8	3857.0	3814.1	3772.1	3731.0	3690.8	3651.6
70	4187.3	4138.3	4090.2	4042.9	4019.6	3996.5	3950.9	3906.2	3862.4	3819.4	3777.2	3736.0	3695.5	3656.0
80	4194.1	4145.0	4096.8	4049.4	4026.0	4002.8	3957.1	3912.2	3868.1	3824.9	3782.5	3740.9	3700.2	3660.3
90	4203.4	4153.9	4105.3	4057.5	4033.9	4010.5	3964.4	3919.1	3874.7	3831.1	3788.3	3746.4	3705.3	3665.1
100	4215.1	4165.0	4115.8	4067.4	4043.6	4019.9	3973.3	3927.5	3882.6	3838.6	3795.4	3753.1	3711.6	3671.1
110	4229.4	4178.5	4128.6	4079.5	4055.4	4031.4	3984.2	3937.8	3892.4	3847.9	3804.3	3761.5	3719.7	3678.8
120	4246.1	4194.5	4143.8	4094.1	4069.6	4045.3	3997.5	3950.5	3904.6	3859.5	3815.4	3772.3	3730.1	3688.8

รูปที่ ก.2 แสดงค่าความหนาแน่นของน้ำทะเล

Density of seawater, kg/m³

P = P0 (1 atm for t <=100°C, Seawater vapor pressure for t > 100 °C)

Temp, °C	Salinity, g/kg													
	0	10	20	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0	999.9	1007.9	1016.0	1024.0	1028.0	1032.0	1040.0	1048.0	1056.1	1064.1	1072.1	1080.1	1088.1	1096.2
10	999.5	1007.4	1015.2	1023.0	1027.0	1030.9	1038.7	1046.6	1054.4	1062.2	1070.1	1077.9	1085.7	1093.6
20	998.0	1005.7	1013.4	1021.1	1024.9	1028.8	1036.5	1044.1	1051.8	1059.5	1067.2	1074.9	1082.6	1090.3
25	996.9	1004.5	1012.2	1019.8	1023.6	1027.4	1035.0	1042.6	1050.3	1057.9	1065.5	1073.1	1080.7	1088.4
30	995.6	1003.1	1010.7	1018.2	1022.0	1025.8	1033.4	1040.9	1048.5	1056.1	1063.6	1071.2	1078.7	1086.3
40	992.2	999.7	1007.1	1014.6	1018.3	1022.1	1029.5	1037.0	1044.5	1052.0	1059.4	1066.9	1074.4	1081.8
50	988.1	995.5	1002.9	1010.3	1014.0	1017.7	1025.1	1032.5	1039.9	1047.3	1054.7	1062.1	1069.5	1076.9
60	983.2	990.6	998.0	1005.3	1009.0	1012.7	1020.0	1027.4	1034.7	1042.1	1049.5	1056.8	1064.2	1071.5
70	977.8	985.1	992.5	999.8	1003.5	1007.1	1014.5	1021.8	1029.1	1036.5	1043.8	1051.2	1058.5	1065.8
80	971.8	979.1	986.5	993.8	997.5	1001.1	1008.5	1015.8	1023.1	1030.5	1037.8	1045.1	1052.5	1059.8
90	965.3	972.6	980.0	987.3	991.0	994.7	1002.0	1009.4	1016.8	1024.1	1031.5	1038.8	1046.2	1053.5
100	958.3	965.7	973.1	980.5	984.2	987.9	995.2	1002.6	1010.0	1017.4	1024.8	1032.2	1039.6	1047.0
110	950.9	958.3	965.8	973.2	976.9	980.6	988.1	995.5	1003.0	1010.4	1017.8	1025.3	1032.7	1040.2
120	943.0	950.6	958.1	965.6	969.3	973.1	980.6	988.1	995.6	1003.1	1010.6	1018.1	1025.6	1033.1

รูปที่ ก.3 แสดงค่าความสามารถในการดูดซับและแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุ

NAME	SOLAR a	NORMAL e	Ratio a/e
BLACK COATINGS			
Anodize Black	0.88	0.88	1.00
Carbon Black Paint NS-7	0.96	0.88	1.09
Catalac Black Paint	0.96	0.88	1.09
Chemglaze Black Paint Z306	0.96	0.91	1.05
Delrin Black Plastic	0.96	0.87	1.10
Ebanol C Black	0.97	0.73	1.33
Ebanol C Black-384 ESH* UV	0.97	0.75	1.29
GSFC Black Silicate MS-94	0.96	0.89	1.08
GSFC Black Paint 313-1	0.96	0.86	1.12
Hughson Black Paint H322	0.96	0.86	1.12
Hughson Black Paint L-300	0.95	0.84	1.13
Martin Black Paint N-150-1	0.94	0.94	1.00
Martin Black Velvet Paint	0.91	0.94	0.97
3M Black Velvet Paint	0.97	0.91	1.07
Paladin Black Lacquer	0.95	0.75	1.27
Parsons Black Paint	0.98	0.91	1.08
Polyethylene Black Plastic	0.93	0.92	1.01
Pyramil Black on Beryllium Copper	0.92	0.72	1.28
Tedlar Black Plastic	0.94	0.90	1.04
Velesat Black Plastic	0.96	0.85	1.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเล ที่อุณหภูมิ น้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2564

เวลา	อุณหภูมิ น้ำทะเลขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ น้ำทะเลขาออก (องศาเซลเซียส)	มุมอาซิมุท (ดีกรี)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีทั้งหมด) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีกระจาย) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	พลังงานความร้อนขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานความร้อนขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
9:00	-	-	74.18	-	-	-	-	-	-
9:30	-	-	74.99	-	-	-	-	-	-
10:00	-	-	75.56	-	-	-	-	-	-
10:30	-	-	75.87	-	-	-	-	-	-
11:00	-	-	75.86	-	-	-	-	-	-
11:30	-	-	75.41	-	-	-	-	-	-
12:00	27	70	74.33	732	166.9	2092.19	-	155.51	-
12:30	30	70	72.14	866	153.5	2323.12	3119.41	144.66	4.64
13:00	32	70	67.78	887	197.7	1822.58	2928.94	137.43	4.69
13:30	32	70	58.2	893	181.7	1349.72	2241.23	137.43	6.13
14:00	33	70	32.77	945	142.9	953.86	1627.48	133.81	8.22
14:30	31	70	-20.89	1064	135.2	994.11	1376.24	141.05	10.25
15:00	31	70	-53.88	953	99.9	1447.16	1724.76	141.05	8.18
15:30	31	70	-65.95	873.1	110	1872.64	2345.44	141.05	6.01
16:00	32	70	-71.21	712.1	106.2	1881.09	2652.01	137.43	5.18
ปริมาณน้ำทะเลที่ผลิตได้เท่ากับ 0.0048 ลูกบาศก์เมตร									

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเล ที่อุณหภูมิ น้ำทะเลขาออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม 2564

เวลา	อุณหภูมิ น้ำทะเลขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ น้ำทะเลขาออก (องศาเซลเซียส)	มุมอาซิมุท (ดีกรี)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีทั้งหมด) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีกระจาย) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	พลังงานความร้อนขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานความร้อนขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
9:00	27	70	74.18	921	187	2692.59	-	155.51	-
9:30	27	70	74.99	984	194.5	3037.71	4048.46	155.51	3.84
10:00	27	70	75.56	992	150.8	3372.9	4529.09	155.51	3.43
10:30	27	70	75.87	1025	141.3	3620.24	4940.65	155.51	3.15
11:00	28	70	75.86	1044	176.5	3550.96	5066.45	151.9	3
11:30	28	70	75.41	1011	164.3	3361.25	4883.48	151.9	3.11
12:00	29	70	74.33	938	133.9	2977.05	4478.01	148.28	3.31
12:30	29	70	72.14	946	123.5	2681.77	3997.96	148.28	3.71
13:00	29	70	67.78	945.3	197.7	1976.73	3291.23	148.28	4.51
13:30	29	70	58.2	943	181.7	1444.59	2417.17	148.28	6.13
14:00	29	70	32.77	883	142.9	880.13	1642.42	148.28	9.03
14:30	29	70	-20.89	923	135.2	843.2	1217.53	148.28	12.18
15:00	28	70	-53.88	908	99.9	1370.82	1564.21	151.9	9.71
15:30	28	70	-65.95	963	94.7	2130.8	2473.9	151.9	6.14
16:00	28	70	-71.21	834.1	153.6	2112.7	2998.03	151.9	5.07
ปริมาณน้ำทะเลที่ผลิตได้เท่ากับ 0.0042 ลูกบาศก์เมตร									

ตารางที่ ข.3 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเล ที่อุณหภูมิ น้ำทะเลออกเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2564

เวลา	อุณหภูมิ น้ำทะเลขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ น้ำทะเลขาออก (องศาเซลเซียส)	มุมอาซิมุท (ดีกรี)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีทั้งหมด) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีกระจาย) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	พลังงานความร้อนขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานความร้อนขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
9:00	27.4	70	74.18	623	87.7	1963.68	-	154.07	-
9:30	27.4	70	74.99	652	194.5	1760.29	2631	154.07	5.86
10:00	27.4	70	75.56	713	150.8	2254.21	2836.25	154.07	5.43
10:30	27.6	70	75.87	848	141.3	2895.13	3638.01	153.34	4.22
11:00	27.6	70	75.86	843	176.5	2728.2	3972.88	153.34	3.86
11:30	27.6	70	75.41	945	164.3	3099.25	4117.09	153.34	3.72
12:00	27.6	70	74.33	984	123	3187.71	4441.73	151.9	3.42
12:30	28	70	72.14	1005	97	2960.55	4343.74	151.9	3.5
13:00	28	70	67.78	972	121	2250.13	3681.35	151.9	4.13
13:30	28	70	58.2	974	121	1618.6	2733.26	151.9	5.56
14:00	28	70	32.77	932	142.9	938.4	1806.52	151.9	8.41
14:30	28	70	-20.89	945	135.2	866.75	1275.34	151.9	11.91
15:00	28	70	-53.88	956	99.9	1452.25	1638.37	151.9	9.27
15:30	28	70	-65.95	745	120	1533.74	2109.6	151.9	7.2
16:00	28	70	-71.21	621	145	1477.8	2127.66	151.9	7.14
ปริมาณน้ำทะเลที่ผลิตได้เท่ากับ 0.0028 ลูกบาศก์เมตร									

ตารางที่ ข.4 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเล ที่อุณหภูมิ น้ำทะเลขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2564

เวลา	อุณหภูมิ น้ำทะเลขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ น้ำทะเลขาออก (องศาเซลเซียส)	มุมอาซิมุท (ดีกรี)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีทั้งหมด) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีกระจาย) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	พลังงานความร้อนขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานความร้อนขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
9:00	29	90	74.18	1043	196	3107.12	-	220.61	-
9:30	29	90	74.99	1003	194.5	3110.81	4330	220.61	5.02
10:00	29	90	75.56	994	150.8	3380.91	4586.4	220.61	4.81
10:30	29.3	90	75.87	944	141.3	3288.41	4711.88	219.53	4.66
11:00	29.3	90	75.86	977	176.5	3276.71	4638.25	219.53	4.73
11:30	29.3	90	75.41	975	164.3	3218.34	4588.75	219.53	4.78
12:00	29.5	90	74.33	993.1	92	3336.17	4630.76	218.8	4.73
12:30	29.5	90	72.14	979	92	2892.08	4400.26	218.8	4.97
13:00	29.6	90	67.78	966	92	2310.95	3675.94	218.44	5.94
13:30	29.6	90	58.2	1007	92	1736.24	2859.34	218.44	7.64
14:00	30	90	32.77	586	142.9	526.94	1598.94	217	13.57
14:30	30	90	-20.89	684	135.2	587.39	787.27	217	27.56
15:00	30	90	-53.88	700	160	916.03	1062.17	217	20.43
15:30	30	90	-65.95	701	160.1	1327.36	1584.96	217	13.69
16:00	29.7	90	-71.21	654	94.6	1736.73	2164.78	218.08	10.07
ปริมาณน้ำทะเลที่ผลิตได้เท่ากับ 0.0013 ลูกบาศก์เมตร									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเล ที่อุณหภูมิ น้ำทะเลขาออกเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2564

เวลา	อุณหภูมิ น้ำทะเลขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ น้ำทะเลขาออก (องศาเซลเซียส)	มุมอาซิมูท (ดีกรี)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีทั้งหมด) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีกระจาย) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	พลังงานความร้อนขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานความร้อนขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
9:00	31	90	74.18	804	87.7	2627.66	-	213.38	-
9:30	31	90	74.99	856	194.5	2545.21	3654.63	213.38	5.84
10:00	31	90	75.56	874	150.8	2899.76	3846.87	213.38	5.55
10:30	32	90	75.87	892	141.3	3075.38	4221.44	209.76	4.97
11:00	32	90	75.86	903	176.5	2973.8	4273.75	209.76	4.91
11:30	32	90	75.41	918	164.3	2992.06	4214.88	209.76	4.98
12:00	33	90	74.33	974	166.9	2988.15	4225.02	206.15	4.88
12:30	33	90	72.14	1016	124.3	2907.4	4165.21	206.15	4.95
13:00	33	90	67.78	1030	98.7	2462.45	3793.8	206.15	5.43
13:30	33	90	58.2	1097	81.7	1926.57	3100.84	206.15	6.65
14:00	33	90	32.77	1104	42.3	1262.58	2253.13	206.15	9.15
14:30	33	90	-20.89	973	135.2	896.71	1525.54	206.15	13.51
15:00	33.2	90	-53.88	1022	99.9	1564.21	1738.64	205.42	11.82
15:30	32	90	-65.95	987	94.7	2189.69	2652.13	209.76	7.91
16:00	32	90	-71.21	811.1	198.7	1901.27	2890.27	209.76	7.26
ปริมาณน้ำทะเลที่ผลิตได้เท่ากับ 0.0006 ลูกบาศก์เมตร									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเล โดยไม่กำหนด อุณหภูมิน้ำทะเลขาออก เมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2564 ($T_{in} = 28^{\circ}\text{C}$)

เวลา	อุณหภูมิ ภายใน receiver (องศา เซลเซียส)	อุณหภูมิ concentrator (องศา เซลเซียส)	มุมอาซิ มูธ (ดีกรี)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (รังสี ทั้งหมด) (วัตต์ต่อ ตาราง เมตร)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (รังสี กระจาย) (วัตต์ต่อ ตาราง เมตร)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (วัตต์ต่อ ตาราง เมตร)	พลังงาน ความ ร้อนขา เข้า (กิโล จูล)	พลังงาน ความ ร้อนขา ออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพ เชิงความ ร้อน
9:00	34	92.6	74.18	852	128.3	2654.81	-	21.7	-
9:30	81.6	64.3	74.99	772	147.4	2403.23	3573.5	193.85	5.42
10:00	89.6	63.3	75.56	931	155.6	3109.06	3894.44	222.78	5.72
10:30	78.7	61.4	75.87	341.3	118.6	912.33	2841.11	183.36	6.45
11:00	91.4	64.5	75.86	1082	173.3	3719.61	3272.46	229.29	7.01
11:30	96.1	66.8	75.41	1070	162.6	3602.22	5172.87	246.29	4.76
12:00	89.7	62.6	74.33	962	84	3250.65	4841.55	223.14	4.61
12:30	93.6	68.1	72.14	1025	72.4	3105.97	4490.95	237.25	5.28
13:00	100.7	62.2	67.78	1155	86.9	2824.17	4189.64	262.93	6.28
13:30	101.6	60.6	58.2	1056	76.1	1859.39	3308.93	266.18	8.04
14:00	99.5	60.1	32.77	1050	125.4	1099.536	2090.48	258.57	12.37
14:30	101.7	59.4	-20.89	553	71.8	515.04	1140.7	266.54	23.37
15:00	84.4	56.2	-53.88	1024	84.9	1593.05	1489.36	203.98	13.7
15:30	73.1	56.1	-65.95	987	99.2	2178.65	2664.7	163.11	6.12
16:00	67.7	56.1	-72.21	741.1	126.7	1907.48	2886.85	143.58	4.97

ตารางที่ ข.7 แสดงผลการทดลองของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเล โดยไม่กำหนด อุณหภูมิน้ำทะเลขาออก เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2564 ($T_{in} = 30^{\circ}\text{C}$)

เวลา	อุณหภูมิภายใน receiver (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ concentrator (องศาเซลเซียส)	มุมอาซิมุท (ดีกรี)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีทั้งหมด) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีกระจาย) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (วัตต์ต่อตารางเมตร)	พลังงานความร้อนขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานความร้อนขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
9:00	37.1	35.1	74.18	421	103.9	1163.24	-	25.68	-
9:30	46.6	50	74.99	895	177.4	2761.06	2772.52	60.04	2.17
10:00	61.6	54.7	75.56	558	170.5	1553.73	3048.4	114.28	3.75
10:30	67.6	57	75.87	1081	222.9	3515.36	3581.31	135.98	3.8
11:00	79.7	61.7	75.86	-	-	-	-	179.75	-
11:30	91.2	63.9	75.41	1344	252	4335.05	-	221.34	-
12:00	89.8	59.1	74.33	832	190.4	2375.42	4740.95	216.27	4.56
12:30	68	41.5	72.14	-	-	-	-	137.43	-
13:00	-	-	67.78	-	-	-	-	-	-
13:30	-	-	58.2	-	-	-	-	-	-
14:00	-	-	32.77	-	-	-	-	-	-
14:30	-	-	-20.89	-	-	-	-	-	-
15:00	-	-	-53.88	-	-	-	-	-	-
15:30	-	-	-65.95	-	-	-	-	-	-
16:00	-	-	-71.21	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการทดลองการเพิ่มของอุณหภูมิน้ำทะเลภายใน Chamber ทุกๆ 1 องศาเซลเซียส ของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเพื่อกลั่นน้ำทะเล เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2564

อุณหภูมิ ทะเล (องศา เซลเซียส)	เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (วัดต่อ ตารางเมตร)	มุมอาซิมุท (ดีกรี)	อุณหภูมิ ทะเล (องศาเซลเซียส)	เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (วัดต่อ ตารางเมตร)	มุมอาซิมุท (ดีกรี)
37	9:00	1163.24	74.18	54	9:45	-	-
38	9:05	-	-	55	9:46	-	-
39	9:09	-	-	56	9:47	-	-
40	9:12	-	-	57	9:48	-	-
41	9:15	-	-	58	9:50	-	-
42	9:17	-	-	59	9:51	-	-
43	9:18	-	-	60	9:53	-	-
44	9:20	-	-	61	9:55	-	-
45	9:25	-	-	62	10:03	1553.73	75.56
46	9:30	2761.06	74.99	63	10:11	-	-
47	9:33	-	-	64	10:20	-	-
48	9:36	-	-	65	10:22	-	-
49	9:39	-	-	66	10:25	-	-
50	9:40	-	-	67	10:28	-	-
51	9:42	-	-	68	10:31	3515.36	75.87
52	9:43	-	-	69	10:33	-	-
53	9:44	-	-	70	10:35	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

วัสดุอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

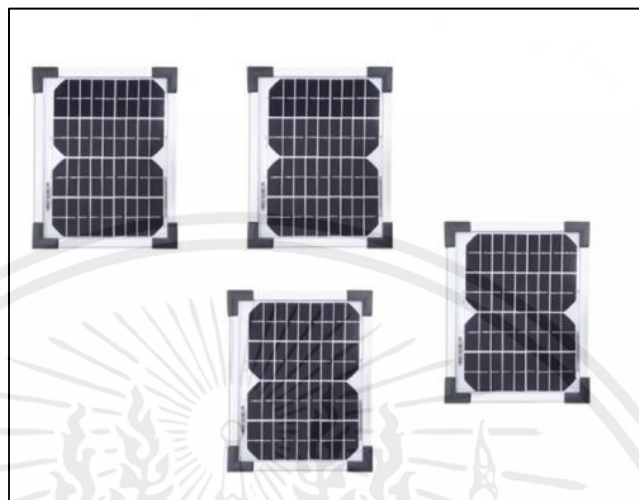
1. ชุดติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกน



รูปที่ ค.1 ชุดอุปกรณ์ติดตามแสงอาทิตย์แบบ 2 แกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 Solar panel (module type 36-18V-5W)



รูปที่ ค.2 แผงโซลาร์เซลล์

- Nominal electrical	25°C and STC
- Rated peak power (P_{max})	5W.
- Voltage at maximum power (V_{mp})	17.4V
- Current at maximum power (I_{mp})	0.28A
- Open circuit voltage (V_{oc})	21.6V
- Short circuit current (I_{sc})	0.31A
- Power tolerance	$\pm 3.0\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 Actuator HARL-3618+



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 Integrated circuit



รูปที่ ค.4 แผงวงจรรีเลย์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

1.3.1 Relays (Mhsiri MY2NJ)

- Input 10A 240VAC ,10A 28VDC
- Output 10A 240VAC ,10A 28VDC
- Coil 10A 250VAC

1.3.2 Diode

1.3.3 Fuse (5A-220V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 แบตเตอรี่ (3K VS150L - SMF)



รูปที่ ค.5 แบตเตอรี่

- ประเภทแบตเตอรี่ : ชนิดไม่ต้องดูแลน้ำกลั่น (แห้ง)
- โวลต์ : 12 โวลต์
- แอมป์ : 90 แอมป์
- แผ่น/ช่อง : 18
- ค่า CCA : 750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 เทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ ค.6 เทอร์โมมิเตอร์

Display หน้าจอแสดงผล 4 ค่าได้พร้อมกัน

Thermocouple type: Type K, J, T, E, R, S, Pt100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 แสดงช่วงอุณหภูมิที่เครื่องวัดอุณหภูมิสามารถวัดจากสายเทอร์โมคอปเปิลชนิดต่างๆได้

Sensor type	Range	Resolution	Accuracy
Type K	-50.1 to -100.0 °C	0.1°C	± (0.4% + 1°C)
	-50.0 to 999.9°C		± (0.4% + 0.5°C)
	1000 to 1300°C	1°C	± (0.4% + 1°C)
Type J	-50.1 to -100.0°C	0.1°C	± (0.4% + 1°C)
	-50.0 to 999.9°C		± (0.4% + 0.5°C)
	1000 to 1150°C	1°C	± (0.4% + 1°C)
Type T	-50.1 to -100.0°C	0.1°C	± (0.4% + 1°C)
	-50.0 to 400.0°C		± (0.4% + 0.5°C)
Type E	-50.1 to -100.0°C	0.1°C	± (0.4% + 1°C)
	-50.0 to 900.0°C		± (0.4% + 0.5°C)
Type R	0 to 1700°C	1°C	± (0.5% + 3°C)
Type S	0 to 1500°C	1°C	± (0.5% + 3°C)
PT 100 ohm (Probe TP-101)	-199.9 to 850.0°C	0.1°C	± (0.4% + 1°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 เทอร์โมคอปเปิล (Type K)



รูปที่ ค.7 เทอร์โมคอปเปิลแบบ type K

Type : Type K
 Connector.Type : OSTW-K-M
 Measure Scope : -30C-400C
 Material : Electronic Parts & Fabric
 Color : As Picture Shown
 Length : 3 Meters / 9.8ft

4 ปั้มน้ำ พร้อมระบบตัดน้ำอัตโนมัติ (INNTECH PRO-X SERIES 750W ITPS-180)



รูปที่ ค.8 ปั้มน้ำหยอโข่ง

- กำลัง 750W 1HP
- ไฟ 220V ความถี่ 50Hz
- ระยะส่งน้ำ แนวตั้ง 2-45 เมตร
- อัตราการไหลสูงสุด 45 ลิตร/นาที
- ระยะดูดน้ำ 10 เมตร
- ขนาดท่อส่ง-ออก 1 นิ้ว x 1 นิ้ว
- ความเร็วรอบ 3,550 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ ค.9 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

- Temperature measurement range: - 50 ~ 110°C
- Temperature control range: - 50 ~ 110°C
- Temperature measuring accuracy: ± 0.2 °C
- Temperature control precision: ± 0.1 °C
- Measuring input: NTC10K L = 1 meters waterproof probe
- Input power: 110V/220V
- Output power: 110V/220V
- Appearance size: about 60 * 45 * 31 mm

6 โซลินอยด์วาล์ว



รูปที่ ค.10 โซลินอยด์วาล์ว

- แรงดันไฟฟ้า : 12VDC
- รับแรงดันได้สูงสุด : 10 บาร์
- ระบบการทำงานที่ความร้อนสูงสุด : ทนอุณหภูมิได้สูงสุด 100 องศาเซลเซียส
- ระบบการทำงานที่แรงดันสูงสุด : ทนแรงดัน 0 - 10 บาร์

7 วาล์วกันไหลกลับ



รูปที่ ค.11 วาล์วกันไหลกลับ

- ตัวเรือน : ผลิตจากทองบรอนซ์ มีคุณสมบัติที่ทนการกัดกร่อนได้ดี
- ฝาปิด ผลิตจากทองเหลืองแท้ ทนไม่เป็นสนิม
- นอตปิดสลักลึนแกว่ง (อยู่ภายนอก) ทำจากทองเหลืองแท้ ทนไม่เป็นสนิม
- ลึนแกว่งซึ่งผลิตจากทองเหลืองแท้ ทนไม่เป็นสนิม และมี
- ซีลยางกันน้ำ ไม่ให้รั่วซึม

8 ถังใส่น้ำขนาด 6-10 ลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 เครื่องวัดความเข้มแสง



รูปที่ ค.13 เครื่องวัดความเข้มแสง

ช่วงการวัดแสง Solar Power: 40, 400, 2000 W/m² หรือ 13,127,634 Btu/ft².h

ความละเอียด: 0.01, 0.1, 1 W/m² หรือ 0.01, 0.1, 1 Btu/ft².h

ความแม่นยำ Accuracy: +/- 5%

ช่วงคลื่นความถี่: 400~1100nm



ภาคผนวก ง.

แบบขึ้นส่วนเตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำ

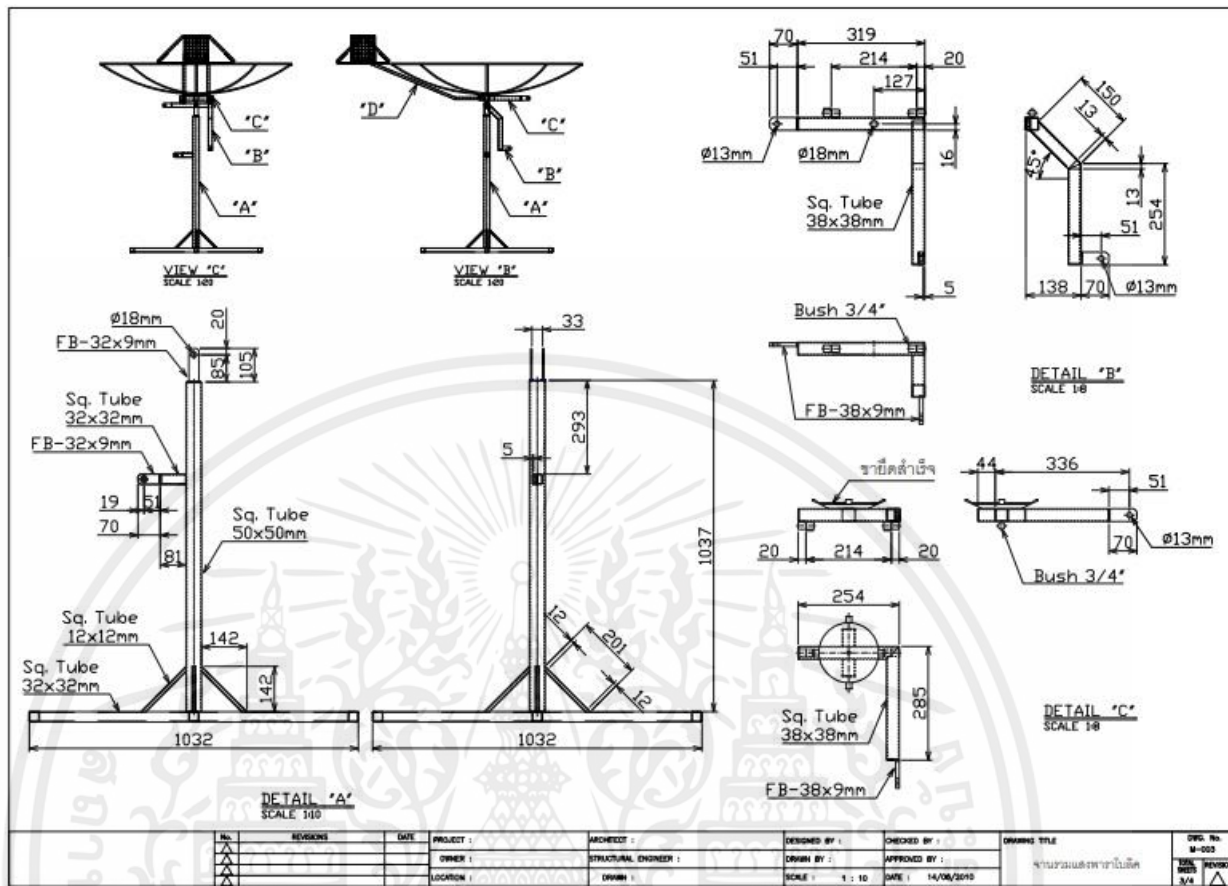
ทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



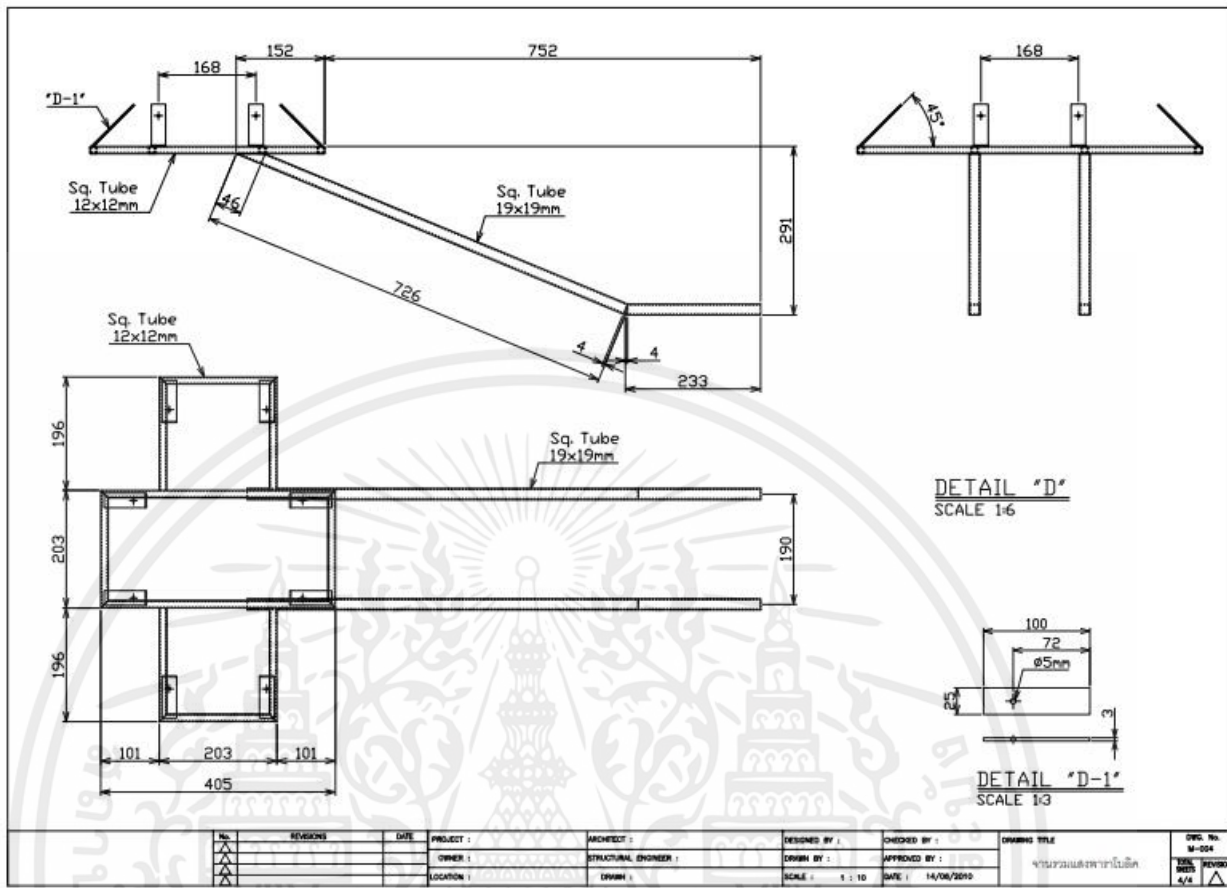
รูปที่ ง.1 เตาพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับการกลั่นน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



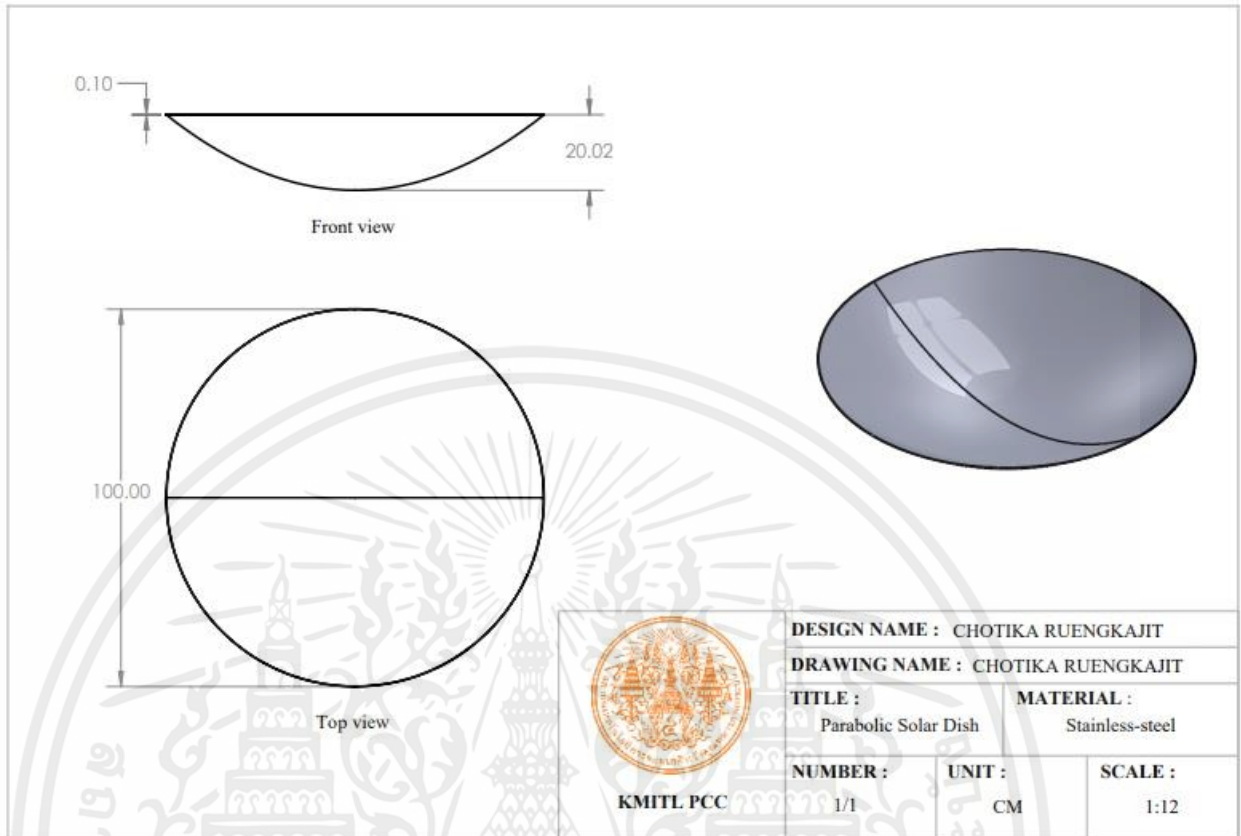
รูปที่ ง.2 โครงสร้างเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



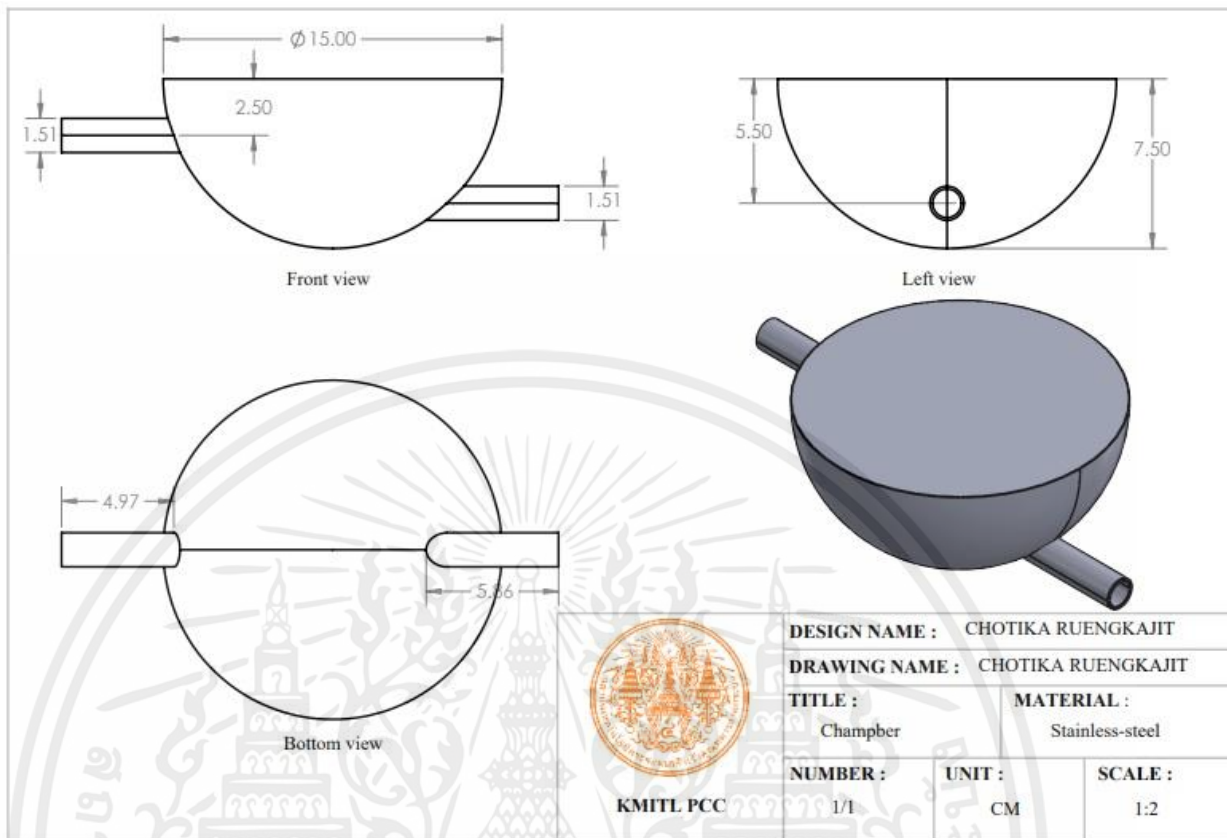
รูปที่ ง.3 โครงสร้างแท่นวางแผง Solar panels

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



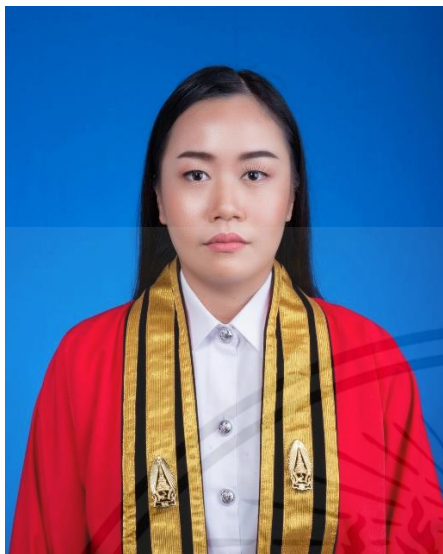
รูปที่ ง.4 งานรวมแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.5 receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวโชติกา เรืองขจิตร

วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2541

ภูมิลำเนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ 73/87 เขตบางแค แขวงบางไผ่
จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10160

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนสายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมกิจกรรม English Walk Rally

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายพงศ์พันธุ์ ไตรมาศ

วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 3 กันยายน พ.ศ.2542

ภูมิลำเนา จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ที่อยู่ 65/72 หมู่ที่ 2 ถนนตลาดกล้วย ซอย
ตลาดกล้วย ตำบลวัดประดู่ อำเภอ
เมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
แผนการเรียนสายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์-
ภาษาอังกฤษ (EEP) ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียน
พูนพิณพิทยาคม
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร
บัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา
2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมกิจกรรม English Walk Rally
- สมาชิกสโมสรนักศึกษาปี 2561 (ฝ่ายจัดการพัสดุ
และสถานที่)
- สมาชิกสโมสรนักศึกษาปี 2562 (ช่างภาพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้