สมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตภัณฑ์เกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

ว่าที่ร้อยโทชินภัทร แก้วโกมินทวงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

สมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตภัณฑ์เกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

ว่าที่ร้อยโทชินภัทร แก้วโกมินทวงษ์ ค.อ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.สันติ หวังนิพพานโต)

..... กรรมการ
(ดร.อนุศิษฏ์ อันมานะตระกูล)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.ณัฏฐ์ กาศยปนันทน์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผศ.ทวีวัฒน์ สุภารส)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สำนักหอสมุด
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตภัณฑ์เกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์
หน่วยกิต	6
ผู้วิจัย	ว่าที่ร้อยโทชินภัทร แก้วโกมินทวงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฏฐ์ กาศยปนันทน์
	ผศ.ทวีวัฒน์ สุภารส
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	ครุศาสตร์เครื่องกล
คณะ	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
พ.ศ.	2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีผิวกลั่นตัวเป็นกระจกเอียงด้านเดียว เปิด-ปิดได้ เอียงทำมุม 17 องศา กับแนวระดับ มีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 1 m^2 (1 m x 1 m) ติดตั้งกระจกรวมแสงทั้ง 2 ข้าง รอบด้านทั้ง 4 ข้าง และด้านล่างหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา 50 mm. ผลการวิจัยเปรียบเทียบ อัตราการกลั่นน้ำ และการผลิตเกลือ เทียบกับแสงอาทิตย์ โดยใช้ปริมาณน้ำเกลือ 2,000 ซี.ซี , 3,000 ซี.ซี และ 4,000 ซี.ซี กรณีใช้กระจกรวมแสง และไม่รวมแสง พบว่าปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 ซี.ซี กรณีใช้กระจกรวมแสง มีประสิทธิภาพสูงสุด การกลั่นน้ำเกลือ ประกอบด้วยน้ำ และเกลือ เมื่อสารละลายได้รับความร้อน จะมีแต่น้ำเท่านั้นที่กลายเป็นไอ ไอน้ำจะควบแน่นได้ของเหลวคือน้ำกลั่นบริสุทธิ์ แต่เกลือยังคงอยู่ในสารละลาย จึงทำให้สามารถแยกน้ำ กับเกลือออกจากกันได้ ปริมาณน้ำกลั่นเท่ากับ1,749 cc. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.3% ปริมาณเกลือเท่ากับ 1,060 กรัม ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.33% ความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 734.7 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 534 W/m^2 ผลรวมคิดเป็น 93.63% และการสูญเสีย 6.37% การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ อายุการใช้งาน 10 ปี ราคาน้ำกลั่น 10 บาท/ลิตร ราคาเกลือสินเธาว์ 3 บาท/กิโลกรัม ประเมินที่เวลา 1 ปี (คิด 300 วัน) รายได้สุทธิต่อปี 6,024 บาท/ปี จากการวิเคราะห์ราคาต้นทุนน้ำกลั่นและเกลือเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 3.05 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 2.97 ปี

คำสำคัญ : การออกแบบ / พลังงานแสงอาทิตย์ / การกลั่น / เกลือ

Thesis Title	The Thermal Performance of Medicinal Salt Machine Using Solar Energy
Thesis Credit	6
Candidate	Acting for Lieutenant Chinnapat Kaewgominthawong
Thesis Advisors	Asst. Prof. Dr. Nat Kasayapanand
	Asst. Prof. Taveewat Suparos
Program	Master of Science in Industrial Education
Field of Study	Mechanical Engineering
Department	Mechanical Technology Education
Faculty	Industrial Education and Technology
B.E.	2549

Abstract

The research aim was to design a medicinal salt machine using solar energy. The distillation unit was consisted an incline, 17° at horizontal, single glass with 1 m^2 area and installed the focus glass on both side. The area for absorb solar energy was 1m^2 (1 m x 1 m). It was installed convex mirror in two sides by four sides and was insulated by fiber glass 50 mm thicknesses. This research was compared experiments between distillation, medicinal salt and solar energy. The initial mass of salt water in system was 2,000 cc, 3,000 cc and 4,000 cc for focus glass and without focus glass. The results showed that the maximum system efficiency at salt water 3,000 cc and the salt water distillation was consisted with water and salt. When the solution was heated then only water was transformed into steam. The steam would be condensed to become liquid which was pure distilled water but salt was still in status of solution. That was the cause of separation water from salt. Volume of distilled water was equal to 1,749 cc, mean was equal to 58.3%. Volume of salt was equal to 1,060 gm, mean was equal to 35.33%. The highest intensity of solar energy was equal to 734.7 W/m^2, mean was equal to 534 W/m^2. Totality was equal to 93.63% and the loss was equal to 6.37%. For economic evaluation, the useful life would be 10 years; cost of distilled water was 10 Baht/Liter; cost of medicinal salt was 3 Baht/Kg. This was evaluated at one year time (calculated for 300 days). Net income per year was 6,024 Baht/year. From the analysis the principal cost between water and salt per annual was 3.05 Baht. The break-even time should be at 2.97 years.

Keywords: Design / Solar Energy / Distillation / Salts

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฏฐ์ กาศยปนันทน์, ผศ.ทวีวัฒน์ สุภารส อาจารย์ที่ปรึกษาการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางแก้ปัญหาต่างๆ ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณท่าน ผศ.ดร.สันติ หวังนิพพานโต และ ดร.อนุศิษฏ์ อันมานะตระกูล เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณวิทยาลัยเทคนิคหนองคายที่กรุณาให้ใช้สถานที่ในการทดลองเก็บข้อมูล ขอขอบพระคุณท่านรศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปกร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ รวมทั้งขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกคนที่ได้เป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งผู้บังคับ บัญชา เพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้มาตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตั้งแต่ต้นจนถึงปัจจุบัน ประโยชน์สิ่งใดที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัยครั้งนี้ เป็นผลจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมา ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง ณ โอกาสนี้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
กิตติกรรมประกาศ		ง
สารบัญ		จ
รายการตาราง		ช
รายการรูปประกอบ		ซ
รายการสัญลักษณ์		ญ
บทที่		
1. บทนำ		**1**
1.1	ที่มาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3	ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4	สมมติฐานการวิจัย	2
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		**3**
2.1	พลังงานแสงอาทิตย์	3
2.2	ทฤษฎีการถ่ายเทมวลของ Spalding	6
2.3	การวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนที่เข้าสู่เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์	10
2.4	การประเมินค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์	17
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
3. วิธีการทดลอง		**23**
3.1	การสร้างเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์	23
3.2	สถานที่ที่ใช้ในการทดลองและเก็บข้อมูล	24
3.3	เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย	25
3.4	วิธีการทดลอง	28

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
4. ผลการทดลอง		**32**
4.1	การทดลอง	32
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ		**50**
5.1	สรุปผลการทดลอง	50
5.2	ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง		**52**
ภาคผนวก		
ก.	ตารางข้อมูลผลการทดลอง	54
ข.	ตัวอย่างการคำนวณสมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์	73
ค.	ตัวอย่างการคำนวณอัตราพลังงานความร้อน	76
ง.	การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์	83
ประวัติผู้วิจัย		**89**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

ก.1 ข้อมูลการกลั่นน้ำทุกๆ 15 นาที จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ (แบบใช้กระจกรวมแสง) 55

ก.2 ข้อมูลการกลั่นน้ำทุกๆ 15 นาที จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ (แบบไม่ใช้กระจกรวมแสง) 58

ก.3 ข้อมูลการกลั่นน้ำทุกๆ 15 นาที จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ (แบบใช้กระจกรวมแสง) 65

ก.4 ข้อมูลการกลั่นน้ำทุกๆ 15 นาที จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ (แบบใช้กระจกรวมแสง) 72

ง.1 ข้อมูลการวิเคราะห์ต้นทุน และหาจุดคุ้มทุนของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ 88

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	รังสีตรงที่ตกกระทบพื้นราบและรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียง	5
2.2	การถ่ายเทและการสูญเสียความร้อนของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์	10
3.1	ภาพด้านหน้าเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์	23
3.2	รายละเอียดเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์	24
3.3	ภาพเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์	25
3.4	เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์ (Solar Integrator)	25
3.5	เครื่องมือวัดความเร็วลม	26
3.6	เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เทอร์โมคับเปิ้ล ชนิด k	26
3.7	นาฬิกาจับเวลายี่ห้อ Casio	27
3.8	ขวดแก้วใสสำหรับรองรับน้ำกลั่นมีสเกลบอกค่าวัดปริมาตร	27
3.9	แสดงจุดที่ติดตั้งสายเทอร์โมคับเปิ้ลตามจุดต่างๆ	29
3.10	แผนภูมิขั้นตอนการทดลอง	30
3.11	แผนภูมิสมการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน	31
4.1	ค่ารังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำเทียบกับเวลา กรณีไม่ใช้กระรวมแสง (26 พ.ย. 49)	32
4.2	ค่ารังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำเทียบกับเวลา กรณีใช้กระจกรวมแสง (5 ธ.ค.49)	33
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์การผลิตน้ำกลั่นเทียบกับเวลา กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสง (26 พ.ย.49)	34
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์การผลิตน้ำกลั่นเทียบกับเวลา กรณีใช้กระจกรวมแสง (5 ธ.ค.49)	35
4.5	กราฟเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ (18, 19, 23 ม.ค.50)	36
4.6	กราฟเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ (4, 5, 6 ธ.ค.49)	37
4.7	กราฟเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ (25, 29, 31 ม.ค.50)	37
4.8	กราฟเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสง (26, 27, 29 พ.ย.49)	38
4.9	กราฟเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ กรณีใช้กระจกรวมแสง (4,5,6 ธ.ค.49)	39
4.10	กราฟเปรียบเทียบอัตราการกลั่นเทียบกับแสงอาทิตย์ ใช้น้ำเกลือ 2,000cc. (23 ม.ค.50)	40

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.11 กราฟเปรียบเทียบอัตราการกลั่นเทียบกับแสงอาทิตย์ ใช้น้ำเกลือ 3,000cc. (5 ธ.ค.49) 41

4.12 กราฟเปรียบเทียบอัตราการกลั่นเทียบกับแสงอาทิตย์ ใช้น้ำเกลือ 4,000cc. (29 ม.ค.50) 41

4.13 กราฟเปรียบเทียบอัตราการกลั่น (2 , 3 , 4 ลิตร) เทียบกับแสงอาทิตย์ 42

4.14 กราฟเปรียบเทียบน้ำกลั่นและปริมาณเกลือเทียบกับค่ารังสีอาทิตย์ ใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 2,000 ,3,000 ,4,000cc. 43

4.15 การทดสอบสมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ ที่ช่วงเวลา 8.00-17.00 (5 ธ.ค.49) 44

4.16 ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 2,000cc. (23 ม.ค.50) 46

4.17 ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000cc. (5 ธ.ค.49) 47

4.18 ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 4,000cc. (31 ม.ค.50) 47

4.19 ปริมาณน้ำกลั่นที่ได้จากการใช้น้ำเกลือในการทดลอง 2,000cc. (23 ม.ค.50) 48

4.20 ปริมาณน้ำกลั่นที่ได้จากการใช้น้ำเกลือในการทดลอง 3,000cc. (5 ธ.ค.49) 48

4.21 ปริมาณน้ำกลั่นที่ได้จากการใช้น้ำเกลือในการทดลอง 4,000cc. (31 ม.ค.50) 49

รายการสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่, m^2
A_g	=	พื้นที่ผิวกระจก, m^2
A_w	=	พื้นที่ผิวชองน้ำภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์, m^2
B	=	Driving Force
D	=	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของมวลน้ำในอากาศ
E	=	สมการเวลา, นาที
f	=	สมบัติของของไหล
G	=	ความเข้มรังสีอาทิตย์, W/m^2
G_b	=	รังสีตรงที่ตกกระทบพื้นราบ, W/m^2
G_{bT}	=	รังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียง, W/m^2
G_{bn}	=	รังสีตรงที่ตกกระทบระนาบนอนและตั้งฉากกับรังสีนั้น, W/m^2
G_{bn}	=	รังสีตรงที่ตกกระทบระนาบนอนและตั้งฉากกับรังสีนั้น, W/m^2
G_r	=	Grashof Number
g	=	ความเร่งแรงโน้มถ่วงของโลก, 9.81 m/s^2
g^*	=	Mass Transfer Conductance, $kg/ m^2.s$
H	=	รังสีอาทิตย์รายวัน, $W/m^2{}^\circ C$
H_h	=	ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบ(ทิศเหนือ), $W/m^2{}^\circ C$
H_s	=	ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบ, $W/m^2{}^\circ C$
h_c	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากกระจกสู่สิ่งแวดล้อม, $W/m^2{}^\circ C$
h_{cb}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นรังสีไปยังสิ่งแวดล้อม, $W/m^2{}^\circ C$
h_{cf}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากฉนวนหน้าเครื่องกลั่น ไปยังสิ่งแวดล้อม, $W/m^2{}^\circ C$
h_{cg}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากกระจกสู่สิ่งแวดล้อม, $W/m^2{}^\circ C$
h_e	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยการระเหยจากผิวระเหยไปสู่อากาศ แวดล้อม, $W/m^2{}^\circ C$
h_{fg}	=	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, J/kg
h_r	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระจกสู่สิ่งแวดล้อม, $W/m^2{}^\circ C$
h_{rb}	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นรับรังสีไปยังสิ่งแวดล้อม, $W/m^2{}^\circ C$
h_{rf}	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากฉนวนด้านหน้าเครื่องกลั่นไปยัง สิ่งแวดล้อม, $W/m^2{}^\circ C$

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

h_{rg}	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระจกไปยังสิ่งแวดล้อม, W/m²°C
I	=	ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง, kJ/m²
I_b	=	ความเข้มของรังสีตรงบนพื้นราบ, W/m²
I_d	=	ความเข้มของรังสีกระจายบนพื้นราบที่ปรับแก้ค่าแล้ว, W/m²
i	=	อัตราดอกเบี้ยต่อปี,%
k	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน, W/m²°C
L	=	ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างผิวดูดรังสีกับกระจก, m
L_{local}	=	เส้นเมอริเดียนท้องถิ่น
L_{st}	=	เส้นเมอริเดียนมาตรฐานท้องถิ่น
m	=	มวลอากาศ
m_i	=	สัดส่วนโดยมวลของสาร i
$m^{*''}$	=	อัตราการกลั่นน้ำเกลือ, kg/m².s
m''	=	อัตราการกลั่นน้ำ, kg/m².s
m_i''	=	อัตราการกลั่นน้ำรายชั่วโมง, L/m².h
$\left(mc_p\right)_g$	=	ค่าความจุความร้อนของกระจก, J/°C
$m_{w,c}$	=	Mass Fraction ของน้ำเกลือที่ผิวกระจก (ผิวกลั่นตัว)
$m_{w,e}$	=	Mass Fraction ของน้ำเกลือที่ผิวน้ำเกลือในอ่าง (ผิวระเหย)
N	=	ความยาวนานของวัน, h
n	=	วันลำดับที่ n ของปี
	=	อายุการใช้งานเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์
	=	ระยะเวลาคุ้มทุน, ปี
P	=	ความดันไอน้ำอิ่มตัว, kPa
	=	ต้นทุนเครื่องกลั่น, บาท
P_c	=	ความดันไออิ่มตัวที่ผิวกระจก, bar
P_g	=	ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิผิวกลั่นตัว, bar
P_T	=	ความดันบรรยากาศ, bar
P_w	=	ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิผิวระเหย, N/m²
Q	=	อัตราพลังงานความร้อนต่อพื้นที่, W/m²°C
q	=	อัตราพลังงานความร้อน, W

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

q_c	=	อัตราการพาความร้อนโดยอากาศภายในเครื่องกลั่น, W
q_{ca}	=	ความร้อนสูญเสียโดยการพาที่ผิวกระจก, W
q_e	=	การถ่ายเทความร้อนโดยการระเหย, W
q_L	=	อัตราการสูญเสียความร้อน, W
q_r	=	การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี, W
q_{ra}	=	ความร้อนสูญเสียโดยการแผ่รังสีที่ผิวกระจก, W
R	=	ความเข้มรวมรังสีรวมบนพื้นเอียง, W/m^2
R_b	=	อัตราส่วนรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนพื้นราบ
R_1	=	ต้นทุนเครื่องกลั่นรายปี, บาท/ปี
R_2	=	มูลค่าซาก, บาท/ปี
S	=	มูลค่าซาก, บาท
S_{ci}	=	Schmidt Number สำหรับไอน้ำในอากาศ (0.6)
T	=	อุณหภูมิ, อุณหภูมิเฉลี่ย, °C
T_a	=	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, °C
T_{av}	=	อุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกและผิวน้ำ, °C
T_g	=	อุณหภูมิของผิวการกลั่นตัว, °C
T_p	=	อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสี, °C
T_{sky}	=	อุณหภูมิท้องฟ้า, °C
T_w	=	อุณหภูมิของผิวระเหย, °C
U	=	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม, $W/m^2°C$
V	=	ความเร็วลม, m/s
V_w	=	อัตราการกลั่นรายปี, ลิตร/ปี
W	=	ความชื้นที่จำเพาะ
W_c	=	อัตราส่วนความชื้นที่ผิวกระจก
W_e	=	อัตราส่วนความชื้นที่ผิวน้ำเกลือ
X	=	เงินได้ต่อปี, บาท/ปี
Y	=	ค่าใช้จ่ายและการบำรุงรักษาต่อปี, บาท/ปี
α	=	ค่าการดูดกลืนรังสี
α_g	=	ค่าการดูดกลืนรังสีของกระจก

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

α_w	=	ค่าการดูดกลืนรังสีความร้อนให้แก่น้ำ
β	=	มุมเอียงระหว่างพื้นผิวของแนวระนาบกับแนวระดับ, องศา
γ	=	มุมอะซิมุทพื้นดิน, องศา
δ	=	มุมเดคลิเนชั่น, องศา
ε	=	ค่าการแผ่รังสี
ε_g	=	ค่าการแผ่รังสีของของกระจก (0.88)
ε_p	=	ค่าการแผ่รังสีของแผ่นดูดรังสี
ε_s	=	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของฉนวน
ε_w	=	ค่าการแผ่รังสีของน้ำ
ϕ	=	มุมละติจูด, องศา
η	=	ประสิทธิ์ภาพของระบบกลั่นน้ำ และเกลือสินเธาว์
μ	=	ความหนืดสัมบูรณ์ของไอน้ำ, kg/m.s
θ	=	มุมตกกระทบ, องศา
θ_z	=	มุมซีนิธ, องศา
ρ	=	สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจากพื้นดิน (0.2)
σ	=	Stafan-Boltzman Constant, $\left(5.669\times10^{-8}\,\mathrm{W/m^2K^4}\right)$
τ	=	ค่าการส่งผ่านรังสี
τ_{ac}	=	ค่าการส่งผ่านรังสีที่ฉนวนเครื่องกลั่น
τ_g	=	ค่าการส่งผ่านรังสีที่ผิวกระจก
ω	=	มุมชั่วโมง, องศา
ΔT	=	ค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวกระจกกับอุณหภูมิผิวน้ำ, °C

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ในปัจจุบันมีความจำเป็นจะต้องใช้พลังงาน รูปแบบต่างๆ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ ซึ่งในอนาคตอาจจะเกิดการขาดแคลนขึ้นได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องหาพลังงาน ชนิดอื่นขึ้นมาทดแทน ซึ่งความร้อนจากแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้ ให้เกิดประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ให้แสงสว่าง ให้ความร้อนในการอบหรือตากแห้ง การผลิตน้ำร้อน และการกลั่นน้ำเป็นต้น

เกลือนั้นเป็นทรัพยากรอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญในชีวิตประจำวัน และใช้ในงานอุตสาหกรรมรูปแบบต่าง ๆเกลือที่ใช้อยู่ในประเทศนั้นจะมีอยู่ 2 อย่างด้วยกันคือ เกลือสมุทร และเกลือสินเธาว์ ซึ่งเกลือสมุทรจะนิยมใช้ในการบริโภค เป็นส่วนใหญ่ แต่ เกลือสินเธาว์จะนิยมใช้ในการบริโภค และ ในงานอุตสาหกรรม เช่น ห้องเย็น ฟอกย้อม สี โซดาไฟ ฟอกหนัง ฯลฯ ในการผลิตเกลือนั้น จะมีรูปแบบการทำอยู่ 2 แบบ เรียกว่า การตาก และการต้ม ซึ่งในการผลิตเกลือสินเธาว์นั้นจะนิยมใช้การต้มเป็นส่วนใหญ่ซึ่งจะต้องใช้เชื้อเพลิงในการต้มเกลือเป็นจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันก็หายาก มีราคาแพง และก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ขบวนการผลิตทั้ง 2 แบบนี้จะมีปัญหาการแพร่กระจายของน้ำเค็มและผลกระทบต่อพื้นที่เกษตรกรรมในบริเวณใกล้เคียงที่เกิดจากการผลิตเกลือสินเธาว์

ดังนั้นผู้วิจัย ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของเกลือสินเธาว์ และ ต้องการหาวิธีการผลิต ในรูปแบบอื่นเพื่อลดปัญหาการใช้เชื้อเพลิง และ ปัญหาผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้พลังงานในรูปแบบอื่นซึ่งแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานความร้อนอย่างหนึ่งที่นำประโยชน์จากแสงอาทิตย์ มาใช้งานเนื่อง จากเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ ต่อสิ่งแวดล้อม ยังเป็นการช่วยประหยัดพลังงานรูปแบบต่างๆ และทดแทนการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ

งานวิจัยนี้ จึงเป็นการหาสมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การทดสอบเมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจก กระทบกับพื้นถาดแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนถ่ายเทให้กับน้ำเกลือ อุณหภูมิของน้ำเกลือจะสูงขึ้นและระเหยกลายเป็น ไอน้ำที่ระเหยจากผิวน้ำจะลอยขึ้นไปกระทบ กับผิวด้านในของกระจกที่มีอุณหภูมิเย็นกว่า เนื่องจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอกของกระจกด้านนอก จะถ่ายเทความร้อน ของกระจกที่ได้รับจากไอน้ำ ที่มากระทบไอน้ำก็จะกลั่นตัวเป็นน้ำกลั่น ไหลลงมาตามแนวเอียงของกระจกไปยังรางรับน้ำกลั่น และน้ำเกลือเมื่อเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นไอ แล้วก็จะทำให้มีความเข้มข้น และ รวมตัวกัน ตกเป็นผลึกกลายเป็นเกลือ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบสร้างเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ และ ศึกษาสมรรถนะทางความร้อน
2. เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์
3. เพื่อศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ แบบอ่าง ซึ่งมีผิวการกลั่นตัว กระจกเอียงด้านเดียวทำมุม 17 องศา กับแนวระดับโดยมีผิวรับพลังงานความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์อยู่ในแนวนอน
2. เริ่มทดลองเวลา 8.00น. วางเครื่องหันหน้าด้านลาดเอียงไปทางทิศใต้
3. ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 2,000 ,3,000 และ 4,000 cc.
4. ปรับตั้งมุมกระจกกรณีใช้กระจกรวมแสง และไม่ใช้กระจกรวมแสง
5. บันทึกค่ารังสีอาทิตย์, ความเร็วลม, อุณหภูมิทั้งหมด 10 จุด และปริมาณน้ำกลั่นทุกๆ 15 นาที และ 1 ชั่วโมง
6. เสร็จสิ้นการทดลองเวลา 17.00 น. เก็บผลที่ได้จากการทดลอง

1.4 สมมติฐานการวิจัย

1. เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตเกลือได้ 1,000 กรัม/วัน
2. เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตน้ำกลั่นได้ 1,500 cc./วัน
3. เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิ์ภาพรวมสูงสุดไม่ต่ำกว่า 75 %

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้เครื่องต้นแบบในการผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
2. ได้น้ำกลั่น และ เกลือสินเธาว์ที่สะอาดบริสุทธิ์ มีประโยชน์หลายๆ ด้าน เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม ห้องปฏิบัติการเคมี และ เพื่อการบริโภค
3. ลดปัญหามลภาวะ และ รักษาสิ่งแวดล้อม
4. ประหยัดพลังงานจากเชื้อเพลิง
5. สามารถพัฒนาต่อไปในเชิงพาณิชย์ได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ [1]

2.1.1 ประเภทของรังสีอาทิตย์ที่ผิวโลกและมวลอากาศ

2.1.1.1 รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) คือ รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและ ตกกระทบบนผิวรับแสงซึ่งมีทิศทางที่แน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์

2.1.1.2 รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือ รังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงทำให้รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า

2.1.1.3 รังสีรวม (Total or Global Radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรง และรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับแสง ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและผิวโลก เรียกรังสีรวมนี้ว่า Total Radiation สำหรับกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นราบ รังสีรวมจะมาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ไม่มีส่วนที่มาจากผิวโลก เรียกรังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global Radiation สำหรับการวัดค่ารังสีรวมสามารถวัดได้จาก Pyranometer ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดรังสีรวม

2.1.2 เวลาสุริยะ

เวลาสุริยะ (Solar Time) เป็นเวลาที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เวลาเที่ยงสุริยะ (Solar Noon) คือ เวลาที่ดวงอาทิตย์ข้ามเส้นเมอริเดียนของตำแหน่งที่สังเกต ไม่ใช่เส้นเมอริเดียนที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น การกวัดแกว่งของแกนหมุนของโลก ซึ่งมีผลต่อเวลาที่ดวงอาทิตย์ข้ามเส้นเมอริเดียนของตำแหน่งที่สังเกต ทำให้มีค่าชดเชย (Correction Factor) ที่เรียกว่า สมการเวลา (Equation of Time) โดยสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{Solar Time} = \text{Standard Time} \pm 4\left(L_{st} - L_{local}\right) + E \quad (2.1)$$

โดยที่

$$E = 9.87\sin 2B - 7.53\cos B - 1.5\sin B \quad (2.2)$$

$$B = \left(n - 81\right)\frac{360}{365} \quad (2.3)$$

เมื่อ L_{st} = เส้นเมอริเดียนที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น, องศา

L_{local} = เส้นเมอริเดียนของตำแหน่งที่ต้องการหาเวลาสุริยะ, องศา

E = สมการเวลา, นาที

2.1.3 ทิศทางของการแผ่รังสี

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในแต่ละสถานที่ ณ เวลาใด ๆ ของโลกจะมีค่าไม่เท่ากันโดยจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และมุมต่าง ๆ ของดวงอาทิตย์ ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบการหมุนของโลกที่เวลาใดๆ กับรังสีตรง หรือ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบ สามารถอธิบายได้โดยใช้มุมต่าง ๆ ดังนี้

2.1.3.1 มุมละติจูด (Latitude, ϕ) คือ มุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวก และเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง -90° ถึง 90°

2.1.3.2 มุมเอียง (Slope, β) คือ มุมระหว่างพื้นผิวของระนาบรับแสงกับแนวระดับ มีค่าอยู่ระหว่าง 0° ถึง 180°

2.1.3.3 มุมชั่วโมง (Hour Angle, ω) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมริเดียนท้องถิ่น ไปทางตะวันออกหรือตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงก่อนเวลาเที่ยงสุริยะ และเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15° ต่อชั่วโมง สามารถคำนวณได้จาก

$$\omega = 15\left(t_s - 12\right) \tag{2.4}$$

เมื่อ t_s = เวลาสุริยะ, ชั่วโมง

2.1.3.4 มุมเดคลิเนชั่น (Declination Angle, δ) คือ มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร กำหนดให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชั่นมีค่าเปลี่ยนไปทุกวัน มีค่าอยู่ระหว่าง -23.45° ถึง 23.45° สามารถคำนวณได้จากสมการ

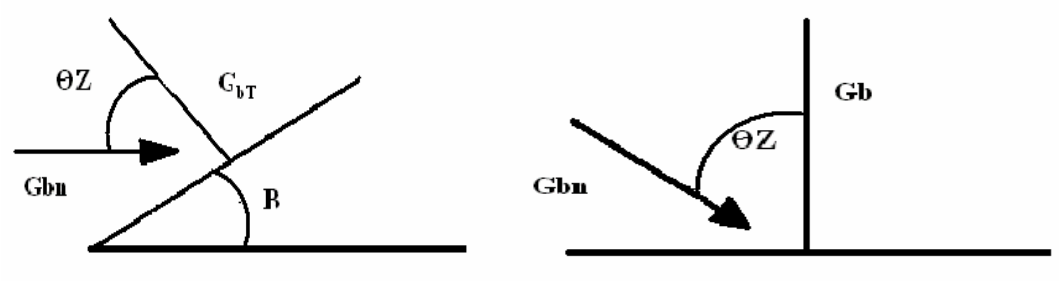
$$\delta = 23.45\sin\left(360\frac{(284+n)}{365}\right) \quad (2.5)$$

เมื่อ δ = มุมเดคลิเนชั่น, องศา

n = วันลำดับที่ n ของปี $(1 \le n \le 365)$

2.1.4 ปริมาณรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นราบ

มุมตกกระทบของรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนพื้นราบ ซึ่งอัตราส่วนรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นราบ (R_b)ที่เวลาใดๆ ตามที่แสดงในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 รังสีตรงที่ตกกระทบพื้นราบและรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียง

จากรูปที่ 2.1 สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_b = \frac{G_{bT}}{G_b} = \frac{G_{bn}\cos\theta}{G_{bn}\cos\theta_z} \quad (2.6)$$

เมื่อ R_b = อัตราส่วนรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนพื้นราบ

G_b = รังสีตรงที่ตกกระทบพื้นราบ, W/m²

G_{bT} = รังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียง, W/m²

G_{bn} = รังสีตรงที่ตกกระทบระนาบนอนและตั้งฉากกับรังสีนั้น, W/m²

แผงรับแสงที่หันหน้าไปทางทิศใต้ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_b = \frac{\cos(\phi-\beta).\cos\delta.\cos\omega + \sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos\phi.\cos\delta.\cos\omega. + \sin\phi.\sin\delta} \quad (2.7)$$

แผงรับแสงที่หันหน้าไปทางทิศเหนือ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_b = \frac{\cos(\phi+\beta).\cos\delta.\cos\omega + \sin(\phi+\beta)\sin\delta}{\cos\phi.\cos\delta.\cos\omega. + \sin\phi.\sin\delta} \quad (2.8)$$

เมื่อ ϕ = มุมละติจูด, องศา

β = มุมเอียงระหว่างพื้นผิวของระนาบกับแนวระดับ, องศา

δ = มุมเดคลิเนชั่น, องศา

ω = มุมชั่วโมง, องศา

2.1.5 ปริมาณรังสีรวมที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อรังสีรวมที่ตกกระทบพื้นราบ

อัตราส่วนรังสีที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อรังสีรวมที่ตกกระทบพื้นราบ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R = \frac{I_t}{I} \quad (2.9)$$

$$R = I_b R_b + I_d\left[\frac{1+\cos\beta}{2}\right] + \rho(I_b + I_d)\left[\frac{1-\cos\beta}{2}\right] \quad (2.10)$$

เมื่อ R = ความเข้มรวมของรังสีรวมบนพื้นเอียง, W/m²

I_b = ความเข้มของรังสีตรงบนพื้นราบ, W/m²

I_d = ความเข้มของรังสีกระจายบนพื้นราบที่ปรับแก้ค่าแล้ว, Wm²

R_b = อัตราส่วนของรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อพื้นราบ, W/m²

ρ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจากพื้นดิน (0.2)

β = มุมของพื้นเอียงที่ทำกับพื้นราบ, องศา

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทมวลของ Spalding [2]

การถ่ายเทมวล หมายถึง การถ่ายโอนมวลที่ผ่านผิวสัมผัสของเหลวและไอในปรากฏการกลั่น และการเผาไหม้โดย Spalding ได้ศึกษาและพัฒนาทฤษฎีนี้ขึ้นมาเพื่อทำนายอัตราการถ่ายเทมวลโดยการพาและการแพร่ระหว่าง 2 สถานะ ภายในปริมาตรควบคุม โดยใช้ทฤษฎี Reynolds Flow และ Modified Reynolds Flow ที่ใช้สำหรับทำนายอัตราการกลั่น ซึ่งการพิจารณาการถ่ายเทมวลที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$m^{*''} = g^{*} \ln(1+B) \quad (2.11)$$

เมื่อ $m^{*''}$ = อัตราการกลั่นน้ำเกลือ, kg/m².s

g^{*} = Mass Transfer Conductance, kg/m².s

B = Driving Force

$$B = \frac{m_{w,c} - m_{w,e}}{m_{w,e} - 1} \quad (2.12)$$

เมื่อ B = Driving Force

$m_{w,c}$ = Mass Fraction ของน้ำเกลือที่ผิวกระจก (ผิวกลั่นตัว)

$m_{w,e}$ = Mass Fraction ของน้ำเกลือที่ผิวน้ำเกลือในอ่าง (ผิวระเหย)

$$m_{w,c} = \frac{W_c}{(1+W_c)} \quad (2.13)$$

เมื่อ $m_{w,c}$ = Mass Fraction ของน้ำเกลือที่ผิวกระจก (ผิวกลั่นตัว)

W_c = อัตราส่วนความชื้นที่ผิวกระจก

$$m_{w,e} = \frac{W_e}{(1+W_e)} \quad (2.14)$$

$m_{w,e}$ = Mass Fraction ของน้ำเกลือที่ผิวน้ำเกลือในอ่าง (ผิวระเหย)

W_e = อัตราส่วนความชื้นที่ผิวน้ำเกลือ

$$W_c = \frac{0.622P_c}{(P_T P_c)} \quad (2.15)$$

W_c = อัตราส่วนความชื้นที่ผิวกระจก

P_c = ความดันไออิ่มตัวที่ผิวกระจก, bar

P_T = ความดันบรรยากาศ, bar

$$W_e = \frac{0.622P_e}{(P_T P_e)} \quad (2.16)$$

W_e = อัตราส่วนความชื้นที่ผิวน้ำเกลือ

P_e = ความดันไออิ่มตัวที่ผิวน้ำเกลือ, bar

P_T = ความดันบรรยากาศ, bar

การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวราบในแนวนอน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$g^* = 0.095\left(Gr.Sci\right)^{0.33}\frac{\rho_D}{L} \qquad (2.17)$$

เมื่อ g^* = Mass Transfer Conductance, kg/m²s

Gr = Grashof Number

Sci = Schmidt Number สำหรับไอน้ำในอากาศ (0.6)

ρ = ความหนาแน่นของไอน้ำผสมอากาศ, kg/m³

D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของมวลน้ำในอากาศ

L = ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างผิวรับรังสีกับผิวกระจก, ºC

$$Gr = \frac{L^3\rho^2 g\beta\Delta T}{\mu^2} \qquad (2.18)$$

เมื่อ Gr = Grashof Number

L = ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างผิวรับรังสีกับผิวกระจก, ºC

ρ = ความหนาแน่นของไอน้ำผสมอากาศ, kg/m³

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก, m²/s

β = สัมประสิทธิ์การขยายตัวโดยมีปริมาตรของน้ำ, K^{-1}

ΔT = ค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวกระจกกับอุณหภูมิผิวน้ำ, ºC

μ = Absolute Viscosity ของไอน้ำผสมอากาศ, kg/m-s

$$D = \left(\frac{0.926}{101.325}\right)\left[\frac{\left(T+273\right)^{2.5}}{\left(T+518\right)}\right]\times 10^{-6} \qquad (2.19)$$

เมื่อ D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของมวลน้ำในอากาศ

$$\beta = \frac{1}{T_{av}} \quad (2.20)$$

เมื่อ β = สัมประสิทธิ์การขยายตัวโดยมีปริมาตรของน้ำ, K^{-1}

T_{av} = อุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกและผิวน้ำ, ºC

2.2.1 ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ [3]

การหาประสิทธิเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ของอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการระเหย สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$q_c = \sum\left(m_i'' h_{fg} A_w\right) \quad (2.21)$$

เมื่อ q_c = อัตราการพาความร้อนโดยอากาศภายในเครื่องกลั่น,W

m_i'' = อัตราการกลั่นน้ำรายชั่วโมง $L/m^2.h$

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ,J/kg

A_w = พื้นที่ผิวของน้ำภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์,m^2

การหาประสิทธิภาพรวมรายวันของระบบกลั่นน้ำ และเกลือสินเธาว์ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta = \frac{\sum\left(m'' h_{fg}\right)}{(\alpha\tau) H_s} \times 100 \quad (2.22)$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพของระบบกลั่นน้ำ และเกลือสินเธาว์

m'' = อัตราการกลั่นน้ำ, $kg/m^2.s$

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ,J/kg

α = ค่าการดูดกลืนรังสี

τ = ค่าการส่งผ่านรังสี

H_s = ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบ,$W/m^2ºC$

การหาประสิทธิ์ภาพรวมชั่วโมงของระบบกลั่นน้ำ และเกลือสินเธาว์ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta = \frac{\sum\left(m'' h_{fg}\right)}{(\alpha\tau)_I} \times 100 \qquad (2.23)$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพของระบบกลั่นน้ำ และเกลือสินเธาว์

m'' = อัตราการกลั่นน้ำ, kg/ m².s

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ,J/kg

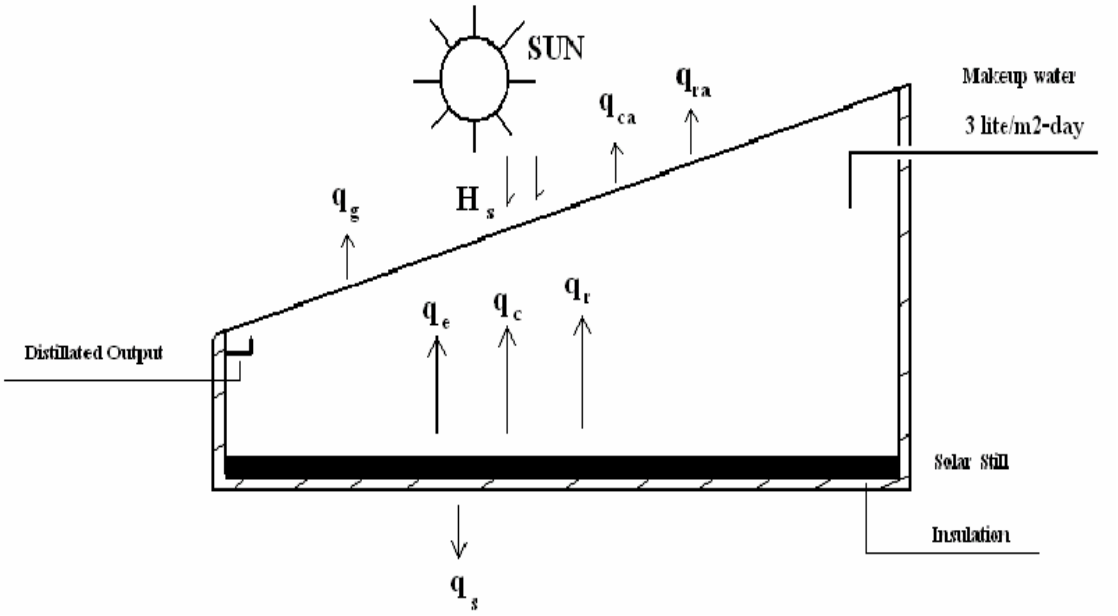
α = ค่าการดูดกลืนรังสี

τ = ค่าการส่งผ่านรังสี

I = ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง, kJ/ m²

2.3 การวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนที่เข้าสู่เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ [4]

การสมดุลพลังงานของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ ภายในเครื่องจะเป็นระบบปิด ที่มีการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนการแผ่รังสีความร้อนและการระเหย ตามที่แสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 การถ่ายเทและการสูญเสียความร้อนของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

การสมดุลพลังงานที่เข้าสู่เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์บริเวณกระจก

$$\alpha_g A_g H_s + q_e + q_c + q_r = q_{ra} + q_{ca} + \left(mc_p\right)_g \frac{dT_g}{dt} \quad (2.24)$$

เมื่อ α_g = Absorptivity ของกระจก

A_g = พื้นที่ผิวกระจก,m^2

H_s = ปริมาณรังสีอาทิตย์,W/m^2

q_e = การถ่ายเทความร้อนโดยการระเหย,W

q_c = การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน, W

q_r = การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี, W

q_{ra} = ความร้อนสูญเสียโดยการแผ่รังสีที่ผิวกระจก, W

q_{ca} = ความร้อนสูญเสียโดยการพาที่ผิวกระจก, W

$\left(mc_p\right)_g$ = ค่าความจุความร้อนของกระจก, J/°C

2.3.1 ค่าพลังงานความร้อนที่สะสมของน้ำภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

$$q_{in,top} = \alpha_w \tau_g H_s A_w \quad (2.25)$$

เมื่อ $q_{in,top}$ = อัตราการรับพลังงานความร้อนด้านบนเครื่องกลั่น,W

α_w = ค่าการดูดกลืนรังสีความร้อนให้แก่น้ำ

τ_g = ค่าส่งผ่านรังสีที่ผิวกระจก

H_s = ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบ, $W/m^2°C$

A_w = พื้นที่ผิวของน้ำภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์,m^2

2.3.3 ค่าพลังงานความร้อนที่ฉนวนด้านหลังเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

$$q_{in,back} = \alpha_w \tau_{ac} H_h A_{back} \quad (2.26)$$

เมื่อ $q_{in,back}$ = อัตราพลังงานความร้อนที่สะสมด้านหลังเครื่องกลั่น,W

α_w = ค่าการดูดกลืนรังสีความร้อนให้แก่น้ำ

τ_{ac} = ค่าส่งผ่านรังสีที่ฉนวนเครื่องกลั่น

H_h = ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบ(ทิศเหนือ),W/ m²°C

A_{back} = พื้นที่ผิวด้านหลังเครื่องกลั่น,m²

2.3.4 การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ พลังงานแสงอาทิตย์สามารถหาได้ดังนี้

$$q_c = h_c A_w \left(T_w - T_g \right) \tag{2.27}$$

$$h_c = 0.884 \left[T_w - T_g + \frac{(P_w - P_g)(T_w + 273)}{268.9 \times 10^3 - P_w} \right]^{1/3} \tag{2.28}$$

เมื่อ q_c = การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน,W

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากกระจกสู่สิ่งแวดล้อม,W/m²°C

A_w = พื้นที่ผิวของน้ำเกลือภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์,m²

T_w = อุณหภูมิของผิวระเหย,°C

T_g = อุณหภูมิของผิวการกลั่นตัว,°C

P_w = ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิผิวระเหย, N/m^2

P_g = ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิผิวกลั่นตัว, N/m^2

2.3.5 การถ่ายเทความร้อนโดยการระเหยภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถหาได้ดังนี้

$$q_e = h_e A_w \left(T_w - T_g \right) \tag{2.29}$$

$$h_e = 16.273 \times 10^{-3} h_c \frac{P_w - P_g}{T_w - T_g} \tag{2.30}$$

เมื่อ q_e = การถ่ายเทความร้อนโดยการระเหย,W

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากกระจกสู่สิ่งแวดล้อม, W/m²°C

h_e = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยการระเหยจากผิวระเหยไปสู่อากาศแวดล้อม, W/m²°C

A_w = พื้นที่ผิวของน้ำเกลือภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์,m²

P_g = ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิผิวกลั่นตัว, N/m^2

P_w = ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิผิวระเหย, N/m^2

T_g = อุณหภูมิของผิวกลั่นตัว,°C

T_w = อุณหภูมิของผิวระเหย,°C

2.3.6 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถหาได้ดังนี้

$$q_r = h_r A_w \left(T_w - T_g \right) \tag{2.31}$$

$$h_r = \frac{\varepsilon_w \sigma \left[\left(T_w + 273 \right)^4 - \left(T_g + 273 \right)^4 \right]}{\left(T_w - T_g \right)} \tag{2.32}$$

เมื่อ q_r = การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี,W

h_r = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระจกสู่สิ่งแวดล้อม, W/m²°C

A_w = พื้นที่ผิวของน้ำเกลือภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์,m²

T_w = อุณหภูมิของผิวระเหย,°C

T_g = อุณหภูมิของผิวกลั่นตัว,°C

ε_w = ค่าการแผ่รังสีของน้ำ

σ = Stafan – Bohzman Constant $\left(5.669 \times 10^{-8} \, W/m^2 K^4 \right)$

2.3.7 การสูญเสียความร้อนที่กระจกของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถหาได้ดังนี้

การสูญเสียความร้อนที่กระจกด้านบนของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$q_{L,top} = \left[h_{cg} \left(T_g - T_a \right) + h_{rg} \left(T_g - T_a \right) \right] A_g \tag{2.33}$$

$$h_{cg} = 2.8 + 3V \quad (2.34)$$

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระจกสู่สิ่งแวดล้อม สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h_{rg} = \frac{\varepsilon_g \sigma \left[\left(T_g + 273 \right)^4 - \left(T_{sky} + 273 \right)^4 \right]}{\left(T_g - T_a \right)} \quad (2.35)$$

$$T_{sky} = 0.0552 \left(T_a + 273 \right)^{1.5} - 273 \quad (2.36)$$

เมื่อ $q_{L,top}$ = อัตราการสูญเสียความร้อนที่กระจกด้านบนเครื่องกลั่น, W

h_{cg} = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากกระจกไปยังสิ่งแวดล้อม, W/m²°C

h_{rg} = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระจกไปยังสิ่งแวดล้อม, W/m²°C

T_g = อุณหภูมิของผิวกลิ่นตัว,°C

T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม,°C

T_{sky} = อุณหภูมิท้องฟ้า,°C

A_g = พื้นที่ผิวกระจก, m²

V = ความเร็วลม, m/s

ε_g = ค่าการแผ่รังสีของกระจก (0.88)

σ = Stafan – Bohzman Constant $\left(5.669 \times 10^{-8} \, W/m^2 K^4 \right)$

2.3.8 การสูญเสียความร้อนที่ฉนวนใต้เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$U_{bottom} = \left[\frac{L}{k} + \frac{1}{\left(h_{cb} + h_{rb} \right)} \right]^{-1} \quad (2.37)$$

$$h_{cb} = 2.8 + 3V \quad (2.38)$$

$$h_{rb} = \frac{\varepsilon_p \sigma \left[\left(T_p + 273 \right)^4 - \left(T_a + 273 \right)^4 \right]}{\left(T_p - T_a \right)} \quad (2.39)$$

$$q_{L,bottom} = U_{bottom}\left(T_w - T_a\right)A_{in,bottom} \quad (2.40)$$

เมื่อ $q_{L,bottom}$ = อัตราการสูญเสียความร้อนด้านใต้เครื่องกลั่น, W

U_{bottom} = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านใต้เครื่องกลั่น, W/m²°C

L = การสูญเสียความร้อน

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน, W/m²°C

h_{cb} = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นรังสีไปยังสิ่งแวดล้อม, W/m²°C

h_{rb} = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นรับรังสีไปยังสิ่งแวดล้อม, W/m²°C

V = ความเร็วลม, m/s

ε_p = ค่าการแผ่รังสีของแผ่นดูดรังสี

σ = Stafan – Bohzman Constant $\left(5.669\times10^{-8}\,W/m^2K^4\right)$

T_p = อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสี,°C

T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม,°C

T_w = อุณหภูมิของผิวระเหย,°C

$A_{in,bottom}$ = พื้นที่การรับความร้อนด้านใต้เครื่องกลั่น,m²

2.3.9 การสูญเสียความร้อนที่ฉนวนด้านหน้าเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$U_{front} = \left[\frac{L}{k} + \frac{1}{\left(h_{cf} + h_{rf}\right)}\right]^{-1} \quad (2.41)$$

$$h_{cf} = 2.8 + 3V \quad (2.42)$$

$$h_{rf} = \frac{\varepsilon_{ac}\sigma\left[\left(T_{front}+273\right)^4 - \left(T_a+273\right)^4\right]}{\left(T_{front} - T_a\right)} \quad (2.43)$$

$$q_{L,front} = U_{front}\left(T_w - T_a\right)A_{in,front} \quad (2.44)$$

เมื่อ U_{front} = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมด้านหน้าเครื่องกลั่น, W/m²°C

L = การสูญเสียความร้อน

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน, W/m²°C

h_{cf} = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากฉนวนหน้าเครื่องกลั่นไปยังสิ่งแวดล้อม, W/m²°C

h_{rf} = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากฉนวนด้านหน้าเครื่องกลั่นไปยังสิ่งแวดล้อม, W/m²°C

V = ความเร็วลม, m/s

ε_p = ค่าการแผ่รังสีของแผ่นดูดรังสี

σ = Stafan – Bohzman Constant $\left(5.669\times10^{-8}\,W/m^2K^4\right)$

T_{front} = อุณหภูมิด้านหน้าเครื่องกลั่น,°C

T_w = อุณหภูมิของผิวระเหย,°C

T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม,°C

$q_{L,front}$ = อัตราการสูญเสียความร้อนด้านหน้าเครื่องกลั่น, W

$A_{in,front}$ = พื้นที่การรับความร้อนด้านหน้าเครื่องกลั่น,m²

2.3.10 การสูญเสียความร้อนที่ฉนวนด้านหลังเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h_{c,back} = 2.8 + 3V \tag{2.45}$$

$$h_{r,back} = \frac{\varepsilon_s\sigma\left[\left(T_{back}+273\right)^4-\left(T_{sky}+273\right)^4\right]}{\left(T_{back}-T_a\right)} \tag{2.46}$$

$$q_{L,back} = \left[h_{c,back}\left(T_{back}-T_a\right)+h_{r,back}\left(T_{back}-T_a\right)\right]A_{back} \tag{2.47}$$

เมื่อ $q_{L,back}$ = อัตราการสูญเสียความร้อนด้านหลังเครื่องกลั่น, W

$h_{c,back}$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยอากาศจากผิวระเหยไปยังผิวกลั่นตัวด้านหลังเครื่องกลั่น, W/m²°C

$h_{r,back}$ = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากผิวระเหยไปยังผิวกลั่นตัวด้านหลังเครื่องกลั่น, W/m²°C

T_{back} = อุณหภูมิด้านหลังเครื่องกลั่น,°C

T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม,°C

T_{sky} = อุณหภูมิท้องฟ้า,°C

A_{back} = พื้นที่ด้านหลังเครื่องกลั่น,m²

V = ความเร็วลม, m/s

ε_p = ค่าการแผ่รังสีของแผ่นดูดรังสี

σ = Stafan – Bohzman Constant $\left(5.669\times10^{-8}\,\mathrm{W/m^2K^4}\right)$

2.4 การประเมินค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ [5]

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการลงทุนของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ โดยคิดที่ราคาน้ำกลั่นต่อลิตร และราคาเกลือสินเธาว์ต่อกิโลกรัม สามารถทำได้โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนรายปี (Uniform Annual Cost Method) และการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน (Break-even Point Method) ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องรู้ค่าพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. เงินลงทุนครั้งแรก (First cost)
2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และซ่อมบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Costs)
3. มูลค่าซากเมื่อหมดอายุในการใช้งาน (Salvage value)
4. รายได้ (Income)
5. อายุการใช้งาน (Life time)
6. อัตราดอกเบี้ย (Rate of interest)

2.4.1 การวิเคราะห์ต้นทุนรายปี (Uniform Annual Cost Method)

เป็นวิธีการแปลงค่าเงินทุกอย่างของโครงการให้มาอยู่ในรูปของค่าเงินรายปีอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$R_1 = P\left(CRF\right) \qquad (2.48)$$

เมื่อ R_1 = ราคาต้นทุนของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นรายปี

P = ราคาต้นทุนของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

CRF = Capital Recovery Factor

$$= \frac{i\left(1+i\right)^n}{\left(1+i\right)^n - 1}$$

$$R_2 = S\left(SFF\right) \qquad (2.49)$$

เมื่อ R_2 = มูลค่าซากรายปี

S = มูลค่าซาก

SFF = Sinking-Fund Factor

$$= \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

เมื่อ i = อัตราดอกเบี้ยรายปี (%)

n = อายุการใช้งาน (ปี)

จากสมการที่ 1 และ 2 จะหาต้นทุนสุทธิรายปี (R) จากสมการดังนี้คือ

$$R = R_1 - R_2 + \text{Operating Cost} \qquad (2.50)$$

ถ้าให้ V_w เป็นอัตราการกลั่นน้ำ และการผลิตเกลือสินเธาว์โดยเฉลี่ย ตลอดปี ดังนั้นราคาต้นทุนหาได้จากสมการดังนี้คือ

$$\text{ราคาต้นทุนน้ำกลั่น และเกลือสินเธาว์} = \frac{R}{V_w}$$

2.4.2 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน (Break - even Point Method)

เป็นวิธีที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนปีที่คุ้มทุน (Break even) ของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ กำหนดให้ X เป็นเงินรายได้ต่อปี หาได้จาก อัตราการกลั่นน้ำ และการผลิตเกลือสินเธาว์ต่อปี X ราคาน้ำกลั่น และราคาเกลือสินเธาว์ กำหนดให้ Y เป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และซ่อมบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Costs) ค่าเงินได้สุทธิและเงินลงทุนต่อปี จะเท่ากันที่ระยะเวลาคุ้มทุนพอดีสามารถวิเคราะห์คำนวณหาระยะเวลาคุ้มทุน ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R_1 - R_2 = X - Y \qquad (2.51)$$

จากสมการ (1) จะได้

$$\frac{Pi(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} - \frac{Si}{(1+i)^n - 1} = X - Y$$

จัดรูปสมการใหม่เพื่อหา n เป็นระยะเวลาที่คุ้มทุนตามสมการดังต่อไปนี้

$$n = \frac{\ln E}{\ln(1+i)} \quad (2.52)$$

เมื่อ $$E = \frac{S_i - X + Y}{P_i - X + Y} \quad (2.53)$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกลือที่ใช้อยู่ในประเทศนั้นมีเกลือสมุทรและเกลือสินเธาว์ เกลือสมุทรนิยมใช้บริโภค เกลือสินเธาว์นิยมใช้บริโภคและในงานอุตสาหกรรม เช่น ห้องเย็น ฟอกย้อม สี โซดาไฟ ฟอกหนัง เกลือสินเธาว์จะผลิตอยู่ในภาคอีสานเป็นส่วนใหญ่ในการผลิตนั้นมีอยู่ 2 วิธีคือการตาก และการต้ม ซึ่งนิยมใช้การต้มเป็นส่วนใหญ่และจะต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเอาความร้อนจากแสงอาทิตย์ มาใช้ในขบวนการกลั่นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มากลั่นน้ำเกลืออยู่ใต้ดินเพื่อให้ได้เกลือสินเธาว์ และเป็นวิธีกลั่นตัวของไอน้ำ ซึ่งมีต้นทุนการผลิตต่ำ เพราะไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงและไฟฟ้า ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม ผลงานวิจัยที่ผ่านมาพอสรุปได้ดังนี้

อนนท์ โพธิ์หอม [6] ได้พัฒนาออกแบบสร้างเครื่องกลั่นน้ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจกเอียงด้านเดียว มีมุมเอียง 14 องศากับแนวนอน โดยเลือกใช้วัตถุทำตัวถังแตกต่างกันระหว่างอิฐถือปูนและอลูมิเนียม สำหรับเครื่องกลั่นแบบอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนย้ายได้พื้นเครื่องกลั่น ฉาบผิวด้วยไออ้อน ออกไซด์ สีดำ หรือปูด้วยยางดำทนความร้อน เพื่อเป็นตัวดูดแสงอาทิตย์ ปรากฏว่าแบบที่สร้างด้วยอิฐถือปูน ผลิตน้ำกลั่นถูกกว่า การกลั่นโดยใช้พลังงานจากน้ำมัน หรือไฟฟ้ามากการทำนายอัตราการกลั่นด้วยทฤษฎีของ แมส ทรานสเฟอร์ ปรากฏว่าอัตราการกลั่นโดยเฉลี่ยประมาณ 45%

กมล อุปลานนท์ [7] ได้ออกแบบสร้างเครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์ แบบอยู่กับที่มีกระจกเอียงสองด้าน แบบอยู่กับที่มีกระจกเอียงด้านเดียว ซึ่งทำมุมเอียง 14 องศา กับแนวระดับ โดยตัวถังของเครื่องกลั่นทั้งสองทำด้วย อิฐฉาบปูน พื้นถังฉาบผิวด้วยไออ้อนออกไซด์สีดำเพื่อทำเป็นผิวรับแสง ผลปรากฏว่าเครื่องกลั่นแบบกระจกเอียงด้านเดียว ผลิตน้ำกลั่นได้ประหยัดกว่าการผลิตน้ำกลั่นโดยใช้พลังงานไฟฟ้ามาก การทำนายอัตราการกลั่นของเครื่องกลั่นแบบกระเอียงสองด้านโดยใช้ทฤษฎีของ Heat และ Mass Transfer ให้ผลต่างจากการทดลองประมาณ 8.6 และ 32%

สุวรรณ สุนทรัตน์ [8] ได้ออกแบบสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังแสงอาทิตย์โดยใช้พลาสติกเป็นฝาปิดเอียงด้านเดียว ให้มีมุมต่างๆ คือ 20 , 30 , 35 , 40 , 45 และ 50 พื้นรับความร้อนปูด้วยยางสีดำทนความร้อนเพื่อดูดพลังแสงอาทิตย์ ในการทดลองเพื่อหามุมเอียงของเครื่องกลั่นที่จะให้อัตราการกลั่นที่จะให้อัตราการกลั่นที่ดีที่สุด ปรากฏว่ามุม 40 องศา ให้อัตราการกลั่นดีที่สุด ประมาณ 2 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ราคาค่าน้ำกลั่นประมาณ 0.374 บาทต่อลิตร การทำนายอัตราการกลั่นทางทฤษฎีด้วย แมสทรานสเฟอร์ และทางความร้อนปรากฏว่าให้อัตราการกลั่นเฉลี่ยใกล้เคียงกับอัตราการกลั่นจริง

บุญสร้าง ดิเรกสถาพร [9] ได้ออกแบบสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบผิวรับแสงอยู่ในแนวดิ่ง เพื่อศึกษาระบบการทำงานและอัตราการกลั่นที่เครื่องสามารถกลั่นได้นำผลจากการทดลองมาประเมินผลเปรียบเทียบกับเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจกเอียงด้านเดียวและเครื่องกลั่นชนิดอื่น เครื่องกลั่นน้ำแบบผิวรับแสงอยู่ในแนวดิ่งให้อัตราการกลั่นเฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 1.73 ลิตรต่อตารางเมตร ต่อวัน และน้ำกลั่นที่ผลิตได้ราคาลิตรละ 1.07 บาท ทำนายอัตราการกลั่นของทฤษฎี Mass และ Heat Transfer ปรากฏว่า สามารถทำนายอัตราการกลั่นได้ถูกต้องโดยเฉลี่ยประมาณ 74.7% และ 91.4%

ทองใบ อรรถเศรษฐ [10] ได้ออกแบบสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในแนวดิ่งแบบแผ่นราบโดยใช้ฝาครอบเป็นกระจกและแผ่นอคริลิค วางหันหน้าเข้าสู่แนวเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก มีพื้นที่ระเหย 0.6 ตารางเมตร ผลปรากฏว่าเมื่อปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 16.9 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์หันหน้าสู่แนวเหนือ-ใต้ มีสมรรถนะสูงสุดโดยให้อัตราการกลั่นเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 2.28 และ 1.97 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 32.4% และ 27.9% สำหรับฝาครอบที่เป็นกระจกและแผ่น อคริลิคตามลำดับ โดยมีระยะห่างระหว่างฝาครอบใสกับผิวดูดรังสีประมาณ 207 มิลลิเมตร

มานะ คงดีจันทร์ [11] ได้ออกแบบสร้างกลั่นเอธานอลพลังงานแสงอาทิตย์แบบอ่าง โดยมีผิวกลั่นตัวเป็นกระจกเอียงด้านเดียว มีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 0.9108 ตารางเมตร และเอธานอลที่นำมาใช้ในการกลั่น ได้มาจากการหมักกากน้ำตาล และแป้งมันสำปะหลัง อัตราการกลั่นเฉลี่ยรายวัน ของ เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าประมาณ 3.14 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับกากน้ำตาล และ 1.62 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับแป้งมันสำปะหลัง ในขณะที่ความเข้มข้นเฉลี่ย ของเอธานอล ที่กลั่นได้จากการหมักกากน้ำตาลและแป้งมันสำปะหลัง ประมาณ 14.3% เครื่องกลั่นมีประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยรายวัน ประมาณ 23%

สำรวย ภูบาล [12] ได้ทำการปรับปรุงเครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์แบบอ่างฝาครอบเป็นกระจกเอียงลาดด้านเดียวโยเพิ่มพื้นที่ผิวรับแสงอาทิตย์ทางด้านข้างและหลังเครื่องกลั่นซึ่งจากเดิมรับแสงเพียงด้านบนด้านเดียว ผลการวิจัยพบว่า มีความร้อนเพิ่มเข้ามาทางด้านหลัง 38.4% และเกิดการสูญเสียออก 20.2% โดยเทียบกับความร้อนที่เข้าทางด้านบน เครื่องกลั่นมีประสิทธิภาพรายวันเฉลี่ย 44.7% ที่ปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 20.0 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ผลการเพื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยทฤษฎีการถ่ายเทมวลได้ว่าอัตราการกลั่นเฉลี่ยรายชั่วโมง 0.189 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงน้อยกว่าการคำนวณโดยทฤษฎีการถ่ายเทมวล 4.4% และผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ได้ราคาต้นทุนน้ำกลั่น 1.86-2.15 บาทต่อลิตร มีระเวลาคุ้มทุนเฉลี่ย 0.74 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 6-12%

Wibulswas และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาออกแบบเครื่องกลั่นน้ำแบบกระจกเอียงด้านเดียว ผิวดูดรังสีอาทิตย์เป็นยางเรียบทนความร้อนสีดำ ขนาดพื้นที่ 0.5 ตารางเมตร และเครื่องกลั่นน้ำในแนวตั้งใช้แผ่นอคริลิคพลาสติก ทำเป็นฝาครอบทรงกระบอกผ่าซีก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลิเมตร ด้านบนทำมุมเอียง 40 องศากับแนวระดับ ภายในเป็นผิวดูดรังสีรูปท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 198 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร หุ้มด้วยยางทนความร้อนและผ้าสำลีสีดำมีพื้นที่ขนาด 0.31 ตารางเมตร ให้อัตราการกลั่นเฉลี่ยต่อปี 1.73 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวันประสิทธิภาพ 24.5% ขณะที่เครื่องกลั่นแบบกระจกเอียงด้านเดียวให้อัตราการกลั่นที่ 2.7 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ประสิทธิภาพ 34.8% ที่ความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดปี 16.7 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน

Farid และ Hamad [14] ได้ทำการวิจัยหาสมรรถนะของเครื่องกลั่นน้ำแบบอ่างเดียว โดยทำการทดลองเครื่องกลั่นน้ำที่มีขนาดพื้นที่อ่าง 1.5 ตารางเมตร ผนังเครื่องกลั่นทำด้วยแผ่นเหล็ก ใช้กระจกเป็นฝาปิด ได้ทำการทดลองทั้งในฤดูร้อนและในฤดูหนาว ผลปรากฏว่าประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงขึ้น และลดลงเมื่อมีกระแสลมพัดแรงในขณะที่ทำการทดลอง

Khalil และ Abu-abdou [15] ได้ทำการวิจัยวิเคราะห์การไหลต่อเนื่องของน้ำแบบฟิล์มบางในเครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์ โดยทำการทดสอบถึงการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของเครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์ ที่มีขนาดพื้นที่อ่าง 1 ตารางเมตร และมีการเก็บน้ำสำรองรวมทั้งปั๊มหมุนเวียนน้ำ โดยทำการทดลอง ณ เมือง Riyard ประเทศซาอุดิอาระเบีย ทำการทดลองช่วงฤดูร้อนภายใต้อุณหภูมิสภาพแวดล้อมประมาณ 35 องศาเซลเซียส ส่วนฤดูหนาวทำการทดลองภายใต้อุณหภูมิสภาพแวดล้อมประมาณ 20 องศาเซลเซียส โดยมีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 4 เมตรต่อวินาที จากผลการทดลองพบว่าเครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์ที่มีการไหลของน้ำต่อเนื่องแบบฟิล์มบาง จะได้อัตราการกลั่นน้ำมากกว่าเครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์ที่มีระดับความลึกของน้ำภายในเครื่องกลั่นที่สูงกว่า

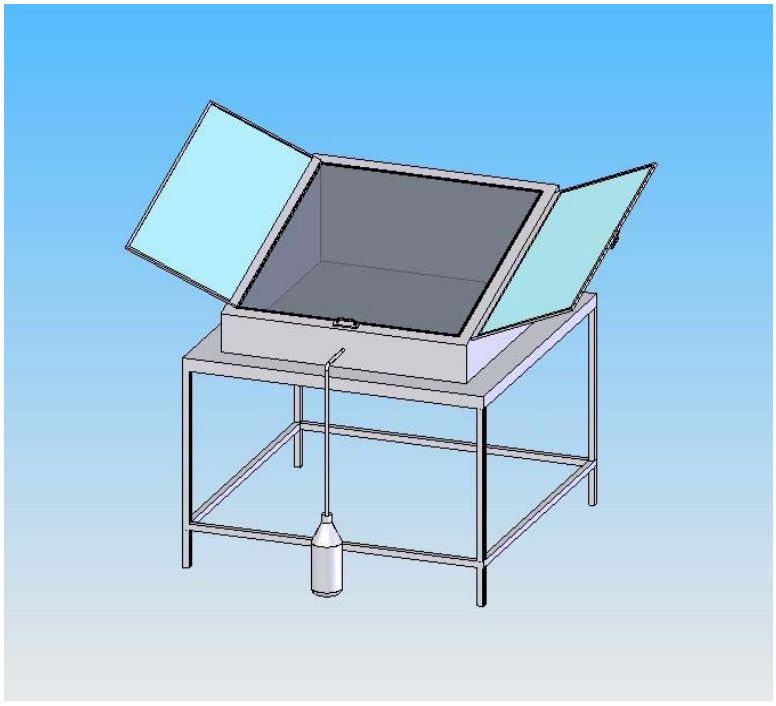
Chaturuedi และ Venkatesh [16] ได้ทำการวิจัยศึกษาปัญหาของเครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายได้ โดยสร้างเครื่องกลั่นขนาด 1 ตารางเมตร และทดลองภายใต้สภาวะต่างๆ กัน ในห้องทดลอง จากผลการทดลองพบว่า ปัญหาของเครื่องกลั่นน้ำส่วนมากขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น ระดับความลึกของน้ำในอ่าง คุณสมบัติของฉนวนที่ใช้ การรั่วซึมซึ่งเกิดจากการซีลรอยต่อต่างๆ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงหรือต่ำลง

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

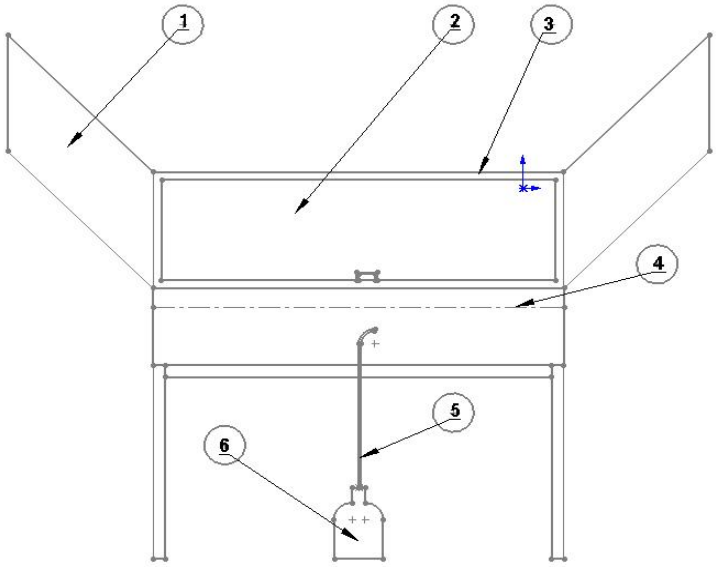
งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบหาสมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ และ ศึกษาความเป็นไปได้โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การสร้างเครื่องเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

ได้ทำการออกแบบสร้างเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นแบบอ่างชนิดกระจกเอียงด้านเดียว มีพื้นที่ในการรับแสงขนาด 1x1 m^2 มีความสูงด้านหน้า 15 cm และด้านหลังสูง 45 cm เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาของเกลือกับวัสดุที่จะนำมาใช้ทำเป็นอ่างรับน้ำเกลือ จึงเลือกใช้สเตนเลส (Stainless Steel) ด้านบนของเครื่องกลั่นถูกปิดด้วยกระจกเอียงทำมุม 17 องศากับแนวระดับ หนาขนาด 5 mm และมีกระจกรวมแสง 2 บาน อ่างกลั่นน้ำเกลือทำจากแผ่นสเตนเลสพับขึ้นรูปสี่เหลี่ยม หนา 1 mm ทาด้วยสี Epoxy สีดำด้าน บุด้วยฉนวนใยแก้วที่บริเวณผิวล่างและด้านข้างหนา 5 cm และปิดทับด้วยแผ่นสังกะสีอีกชั้นหนึ่ง การรองน้ำกลั่นใช้รางสเตนเลสรูปตัว U ติดไว้ใต้กระจกด้านหน้าของเครื่องกลั่น และมีทางออกของน้ำกลั่นเป็นรูเล็กๆ 1 จุด (ทิศใต้) การทำกรวยรับน้ำกลั่นได้เจาะรูที่ด้านข้างของอ่างกลั่นน้ำเกลือ และต่อสายยางไปยังขวดรับน้ำกลั่น



รูปที่ 3.1 ภาพด้านหน้าเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

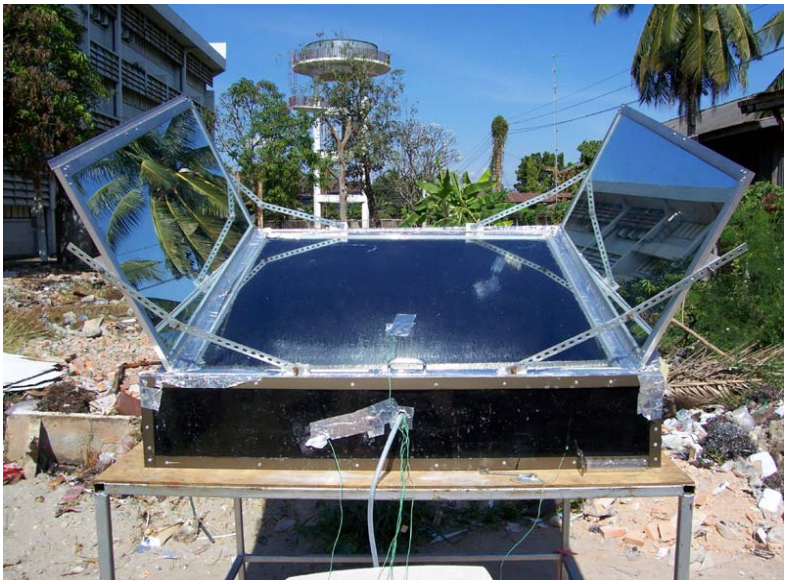


รูปที่ 3.2 รายละเอียดเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

1. กระจกใส เปิด-ปิดได้ เอียงด้านเดียวทำมุม 17 องศา หนา 5 mm
2. ตัวเครื่องกลั่นทำจากสเตนเลส หนา 1 mm ด้านหน้าสูง 15 cm ด้านหลังสูง 45 cm
3. รอบเครื่องกลั่น ด้านล่างและด้านข้างทั้ง 4 ด้านหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว หนา 5 cm และปิดทับด้วยแผ่นสังกะสีทาสีดำ
4. รางรับน้ำกลั่นเป็นรางสเตนเลส กว้าง 6 cm ยาว 95 cm
5. สายยางทางออกน้ำกลั่น
6. ขวดภาชนะรองรับน้ำกลั่น

3.2 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองและเก็บข้อมูล

ในการทดลองครั้งนี้ ได้ใช้พื้นที่ภายในวิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ต.โพธิ์ชัย อ.เมือง จ.หนองคาย เป็นสถานที่สำหรับทดลองเก็บข้อมูล โดยให้เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ นี้ได้ทำการติดตั้งและหันหน้าไปทางด้านทิศใต้ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.3 ภาพเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

3.3 เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย

1. เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์ (Solar Integrator)
2. เครื่องวัดความเร็วลมยี่ห้อ (Digicon) รุ่น DA-40
3. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เทอร์โมคับเปิ้ล ชนิด k ยี่ห้อ (Digicon) รุ่น DP-50A สำหรับวัดอุณหภูมิ และบันทึกค่าทุกๆ 15 นาที
4. นาฬิกาจับเวลายี่ห้อ Casio
5. ขวดแก้วใสสำหรับรองรับน้ำกลั่น มีสเกลบอกค่าปริมาตรไว้เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (cc.)

รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์ (Solar Integrator)

รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดความเร็วลม

รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เทอร์โมคับเปิ้ล ชนิด k

รูปที่ 3.7 นาฬิกาจับเวลายี่ห้อ Casio

รูปที่ 3.8 ขวดแก้วใสสำหรับรองรับน้ำกลั่น มีสเกลบอกค่าวัดปริมาตร

3.4 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองได้ทำการทดลองและเก็บผลการทดลองจากเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลองที่แตกต่างกันคือ 2,000, 3,000 และ 4,000 cc. โดยเปรียบเทียบกับกรณีใช้กระจกรวมแสงและไม่ใช้กระจกรวมแสง ว่าแบบใดที่สามารถกลั่นน้ำ และผลิตเกลือได้ดีที่สุดโดยมีขั้นตอนในการทดลองดังต่อไปนี้

1. ทำการปรับตั้งค่าต่างๆ ของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ก่อนทำการทดลองตั้งแต่เวลา 7.00 น.

2. วางเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แบบอ่างกระจกเอียงลาดด้านเดียว ให้อยู่ในทิศทางเหนือ และใต้ โดยให้หันหน้าเครื่องไปในทางทิศใต้

3. เติมน้ำเกลือเข้าเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้ตามปริมาณที่กำหนดเอาไว้ ในการทดลองคือ 2,000 , 3,000 และ 4,000 cc.

4. ต่อสายเทอร์โมคับเปิ้ลตามจุดต่างๆ ของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะทำการวัดเข้ากับเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ ทีละจุด และทำการวัดซึ่งมีทั้งหมดอยู่ 10 จุด คือ

จุดที่ 1 ทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวกลั่นตัวด้านนอก $\left(T_{go}\right)$

จุดที่ 2 ทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวกลั่นตัวด้านใน $\left(T_{gi}\right)$

จุดที่ 3 ทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวระเหย $\left(T_{w}\right)$

จุดที่ 4 ทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวดูดรังสี $\left(T_{p}\right)$

จุดที่ 5 ทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวหน้าเครื่องกลั่น (ทิศใต้) อยู่ภายในเครื่องกลั่น $\left(T_{si}\right)$

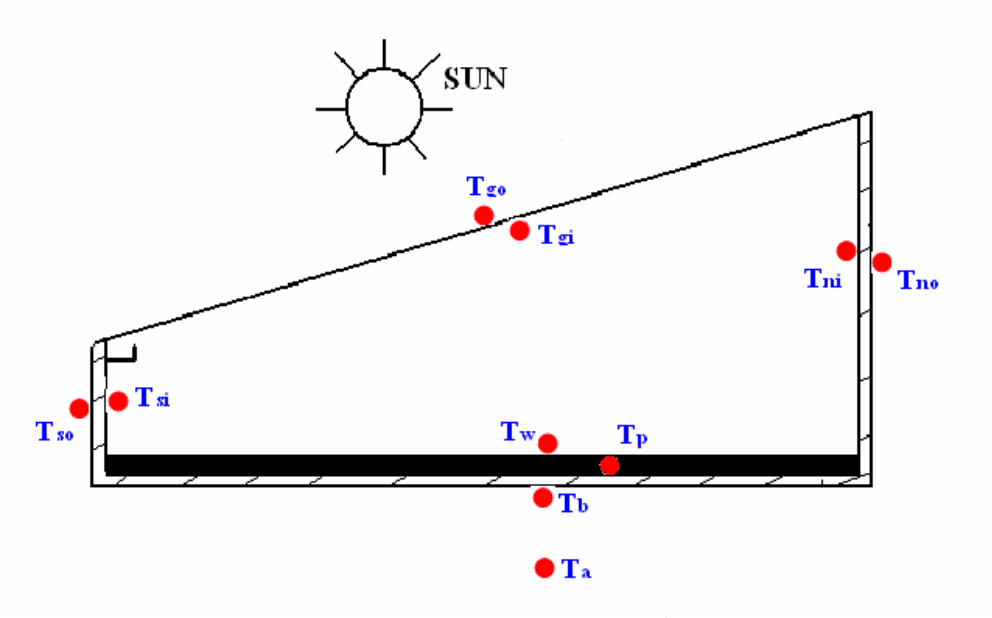
จุดที่ 6 ทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวหลังเครื่องกลั่น (ทิศเหนือ) อยู่ภายในเครื่องกลั่น $\left(T_{ni}\right)$

จุดที่ 7 ทำการวัดอุณหภูมิฉนวนภายนอกหน้าเครื่องกลั่น $\left(T_{so}\right)$

จุดที่ 8 ทำการวัดอุณหภูมิฉนวนภายนอกหลังเครื่องกลั่น $\left(T_{no}\right)$

จุดที่ 9 ทำการวัดอุณหภูมิฉนวนภายนอกใต้เครื่องกลั่น $\left(T_{b}\right)$

จุดที่ 10 ทำการวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม $\left(T_{a}\right)$



รูปที่ 3.9 แสดงจุดที่ติดตั้งสายเทอร์โมคับเปิ้ลตามจุดต่างๆ

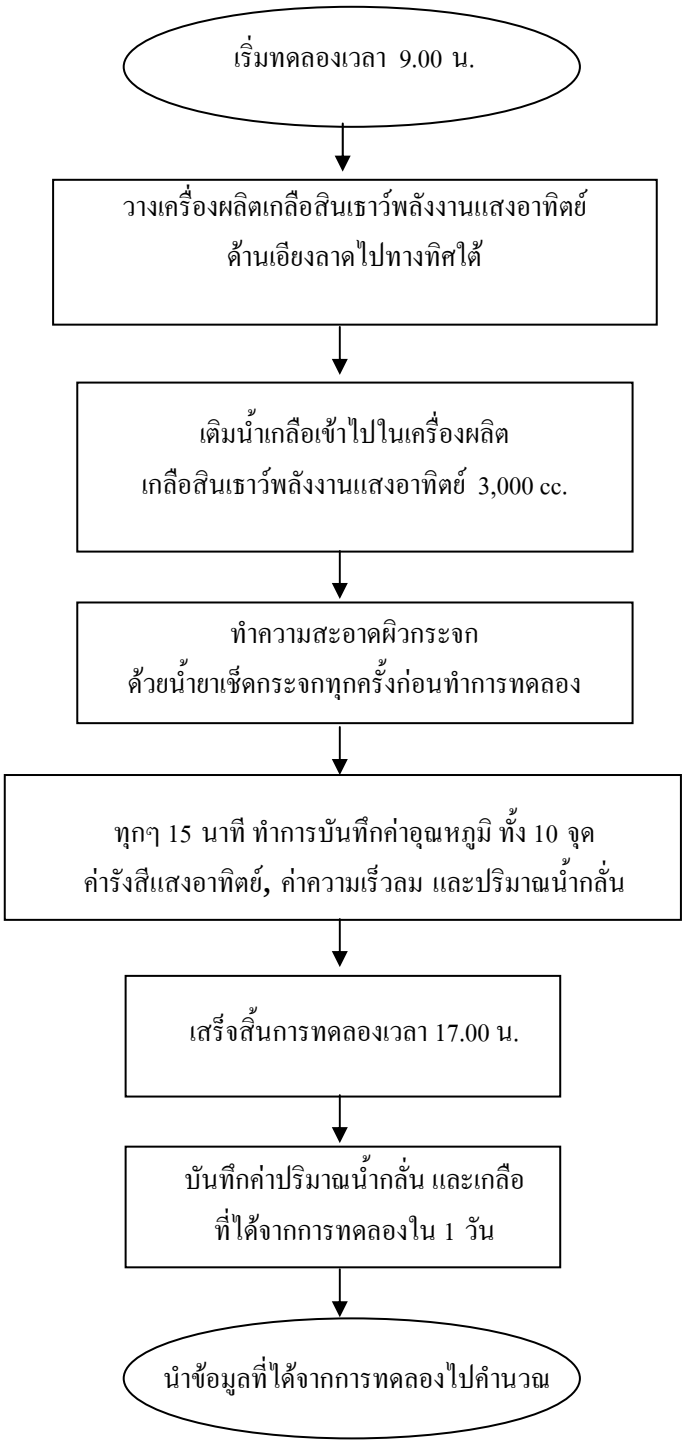
5. ต่อสายยางท่อจากรางกลั่นน้ำ เพื่อเก็บน้ำกลั่นรวบรวมเอาไว้ในขวดแก้วใส มีสเกลบอกค่าปริมาตรน้ำเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

6. เริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 08.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น. และ ต้องทำการบันทึกค่าผลการทดลองต่างทุกๆ 15 นาที ดังต่อไปนี้

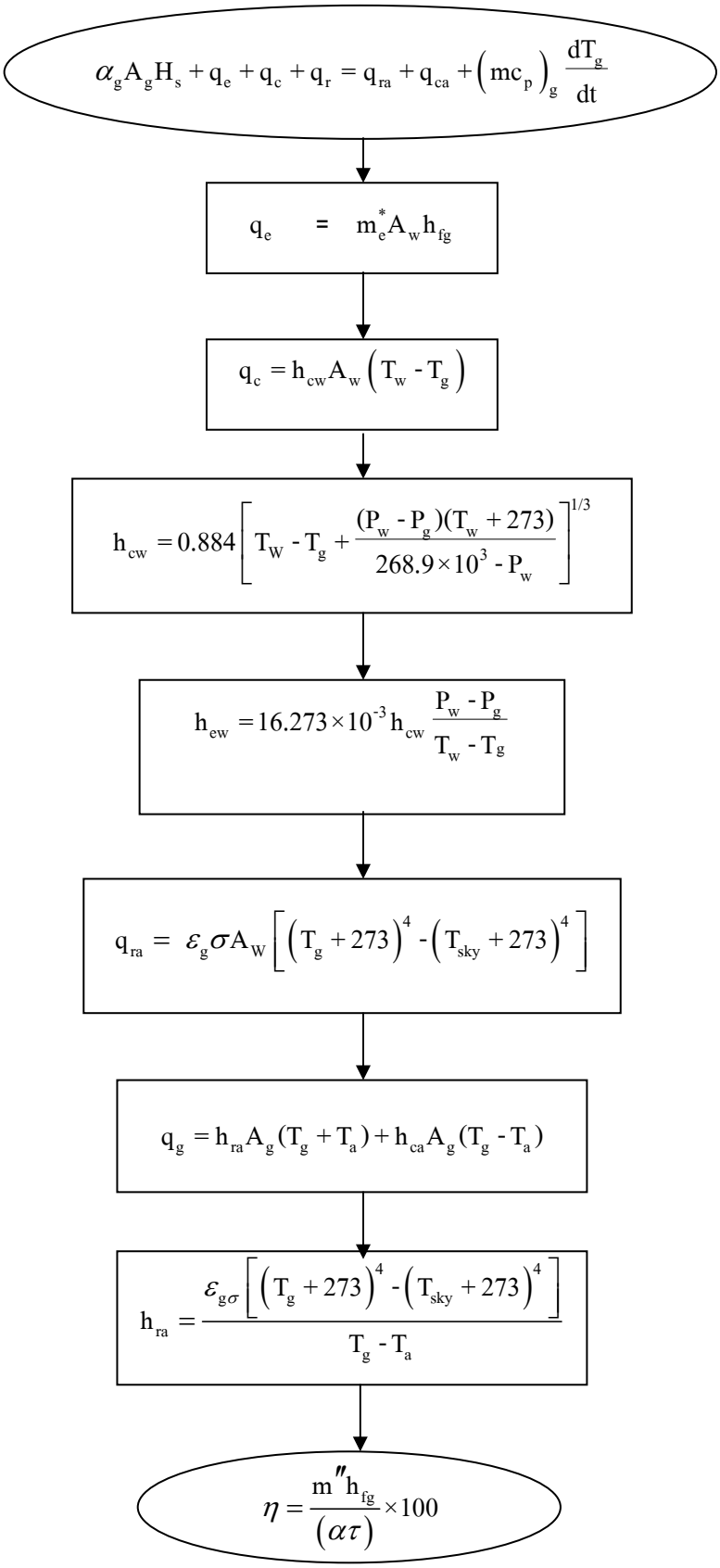
- ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์
- ค่าความเร็วลม
- อุณหภูมิที่ทำการวัดตามจุดต่างๆ ติดตั้งเอาไว้ทั้งหมด 10 จุด
- ปริมาณน้ำกลั่นที่ได้
- ปริมาณเกลือที่ได้

7. เมื่อเวลา 17.00 น. ของทุกวันที่ทำการทดลอง เก็บผลของน้ำกลั่น และเกลือที่ได้จากเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อหาปริมาตรน้ำกลั่น และน้ำหนักของเกลือที่ได้จากการทดลองในแต่ละวัน

8. นำค่าปริมาณน้ำที่กลั่นได้จากการทดลองใน 1 วัน และคำนวณหาอัตราการกลั่นต่อพื้นที่ผิวการกลั่น สำหรับเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ นั้นมีพื้นที่ผิวการกลั่นเท่ากับ 1 m^2



รูปที่ 3.10 แผนภูมิขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.11 แผนภูมิสมการการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน

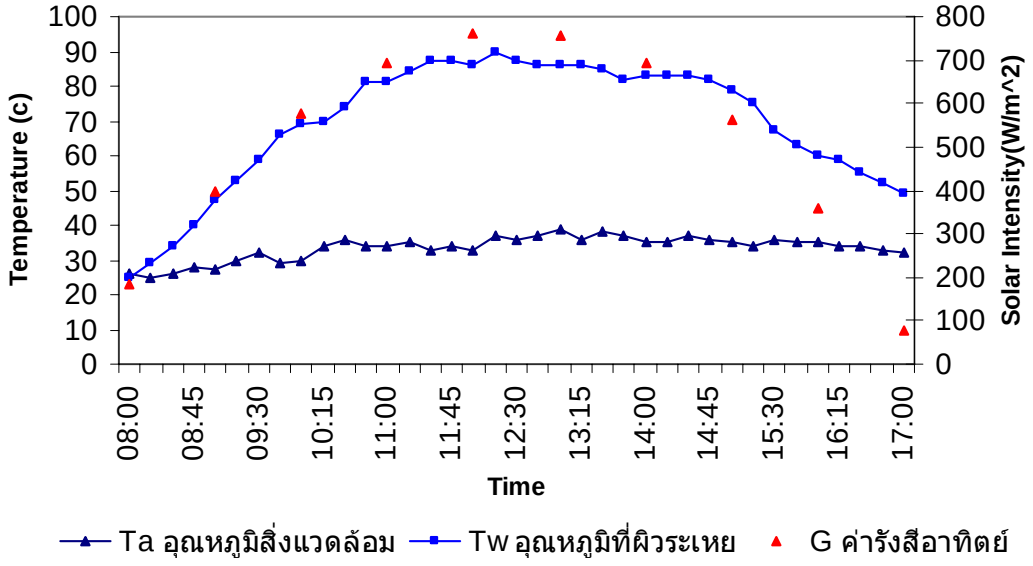
บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

ทำการทดลอง และเก็บผลการทดลองเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วงระหว่างวันที่ 26 พ.ย. 49 ถึง 31 ม.ค. 50 โดยทำการวัดปริมาณน้ำกลั่น ความเร็วลม ทุกๆ 15 นาที ค่ารังสีอาทิตย์ทุกๆ 1 ชั่วโมง ปริมาณเกลือทุกๆวัน สำหรับเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์นี้มีพื้นที่การกลั่นเท่ากับ 1 ตารางเมตร ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น.ของทุกๆวัน และนำผลการทดลองที่ได้มาทำการเปรียบเทียบซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

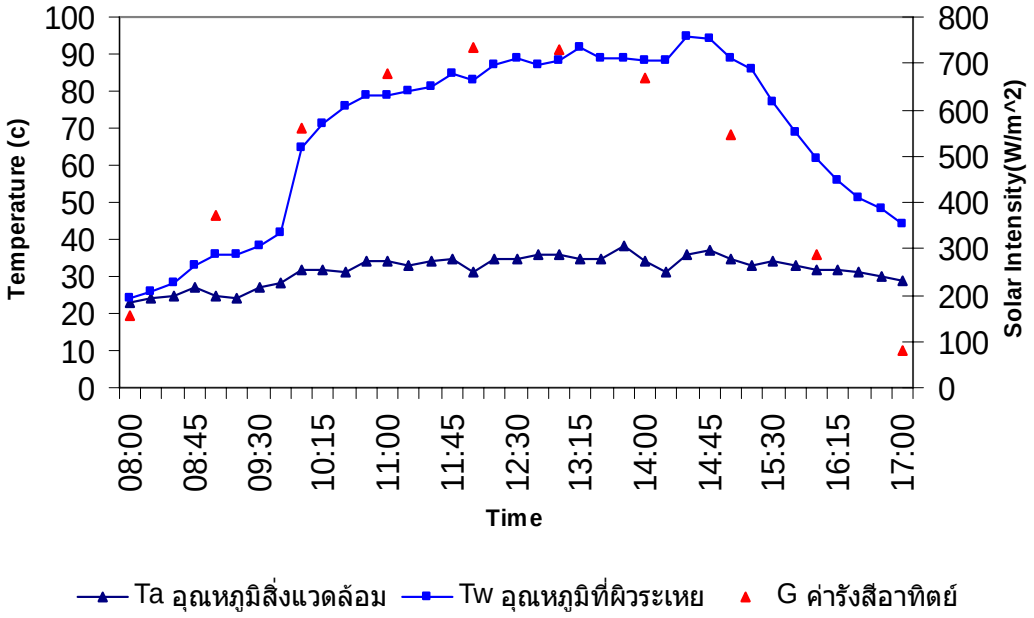
4.1.1 เปรียบเทียบผลการทดลองจากค่ารังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำเทียบกับเวลา

การทดลองหาสมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการทดลอง 2 แบบ คือ ใช้กระจกรวมแสง กับ ไม่ใช้กระจกรวมแสง โดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลองที่แตกต่างกัน คือ 2,000 , 3,000 และ 4,000 cc. ตามลำดับ และได้ทำการทดลอง ณ สถานที่เดียวกันโดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. ซึ่งรายละเอียดและผลการทดลองของทั้ง 2 แบบ สามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 ค่ารังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำเทียบกับเวลา กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสง (26 พ.ย. 49)

จากกราฟรูปที่ 4.1 อุณหภูมิผิวระเหย T_w อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม T_a จะมีสูงขึ้น และลดลงตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ G ค่าอุณหภูมิผิวระเหย T_w สูงสุดเท่ากับ 90 ^{o}C ที่ เวลา 12.15 น. และ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม T_a สูงสุด เท่ากับ 39 ^{o}C ที่เวลา 13.00 น.ความเข้มรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนถึงประมาณ 12.00 น. จึงค่อยๆ ลดลงตามเวลา มีค่าสูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 759 W/m^2



รูปที่ 4.2 ค่ารังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำเทียบกับเวลา กรณีใช้กระจกรวมแสง (5 ธ.ค.49)

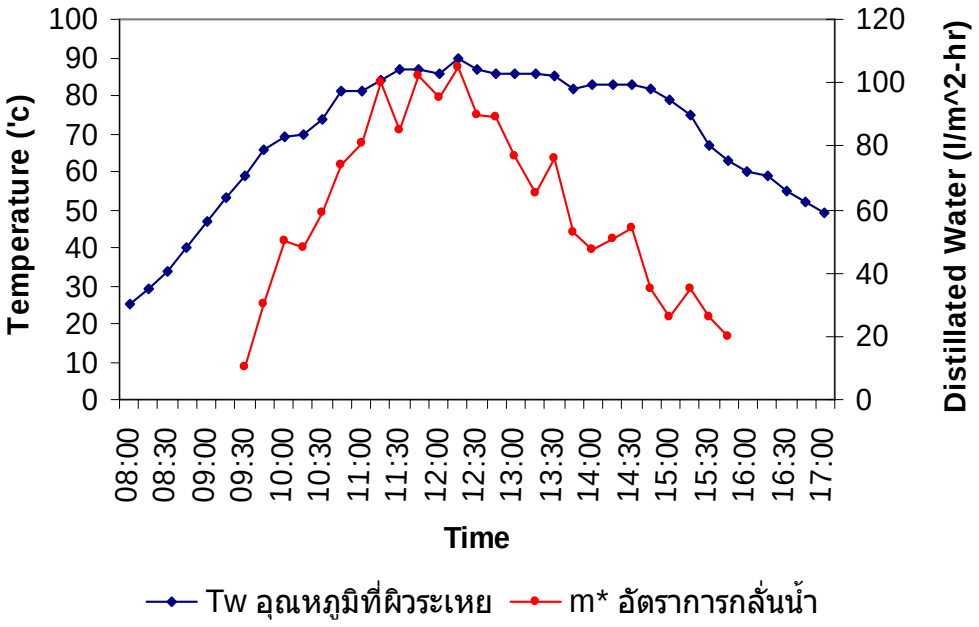
จากกราฟรูปที่ 4.2 อุณหภูมิผิวระเหย T_w อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม T_a จะมีค่ามากขึ้น และลดลงตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ G ค่าอุณหภูมิผิวระเหย T_w สูงสุดเท่ากับ 95 ^{o}C ที่ เวลา 14.30 น. และ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม T_a สูงสุด เท่ากับ 38 ^{o}C ที่เวลา 13.45 น.ความเข้มรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนถึงประมาณ 12.00 น. จึงค่อยๆ ลดลงตามเวลา มีค่าสูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 734 W/m^2

จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่ารังสีอาทิตย์ กับอุณหภูมิน้ำเทียบกับเวลา กรณีใช้กระจกรวมแสงและไม่ใช้กระจกรวมแสง โดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. พบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนถึงประมาณ 12.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ดวงอาทิตย์มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มากที่สุด และค่อยๆ ลดลงตามเวลา กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสงจะมีค่ารังสีอาทิตย์สูงกว่า แต่อุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวดูดรังสีจะมีค่าน้อยกว่า กรณีใช้กระจกรวมแสงทั้งสองข้าง ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มอุณหภูมิให้กับผิวกลั่นตัว และผิวดูดรังสี ให้มีค่าสูงขึ้นตามค่ารังสีอาทิตย์ กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสงจะมีค่ารังสีอาทิตย์เท่ากับ 759 W/m^2 ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้กระจกรวมแสงเท่ากับ 734 W/m^2 และมีค่าแตกต่างกัน 25

W/m^2 อุณหภูมิผิวระเหย T_w ไม่ใช้กระจกรวมแสงสูงสุดเท่ากับ 90 °C ใช้กระจกรวมแสงสูงสุดเท่ากับ 95 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่าเท่ากับ 5 °C และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม T_a ไม่ใช้กระจกรวมแสงจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 39°C ใช้กระจกรวมแสงมีค่าสูงสุด เท่ากับ 38°C ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

4.1.2 เปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตน้ำกลั่นเทียบกับเวลา

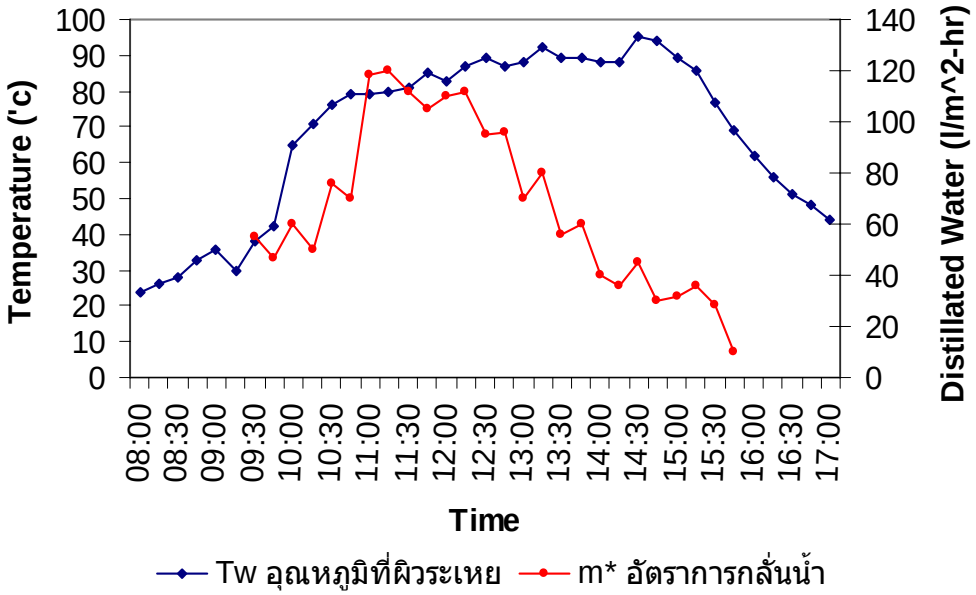
การเปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตน้ำกลั่นเทียบกับเวลาได้นำข้อมูลที่ดีที่สุดของทั้ง 2 แบบ คือ ทำการทดลองในวันที่ 26 พฤศจิกายน 2549 ไม่ใช้กระจกรวมแสง และทำการทดลองในวันที่ 5 ธันวาคม 2549 ใช้กระจกรวมแสง โดยเปรียบเทียบกับ ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลองที่ คือ 3,000 cc. การทดลองในกรณีนี้ได้ทำการทดลอง ณ สถานที่เดียวกันโดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. ซึ่งรายละเอียดผลการทดลอง สามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์การผลิตน้ำกลั่นเทียบกับเวลา กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสง (26 พ.ย.49)

จากกราฟรูปที่ 4.3 เปรียบเทียบอัตราการผลิตน้ำกลั่นเทียบกับเวลา ไม่ใช้กระจกรวมแสง น้ำจะเริ่มกลั่นตัวที่เวลา 9.30-15.45 น.ค่าอุณหภูมิผิวระเหย T_w เริ่มที่ 59 - 63 °C ค่าอุณหภูมิผิวระเหย T_w สูงสุดเท่ากับ 90 °C ที่เวลา 12.15 น. ค่าอุณหภูมิผิวระเหย T_w เฉลี่ยเท่ากับ 69°C ได้อัตราการลั่นน้ำมากที่สุด

ที่เวลาประมาณ 12.00 น.เท่ากับ 0.382 L/m².h เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะได้อัตราการกลั่นเท่ากับ 0.175 L/m².h อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ 1.583 L/m².d



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์การผลิตน้ำกลั่นเทียบกับเวลา กรณีใช้กระจกรวมแสง (5 ธ.ค.49)

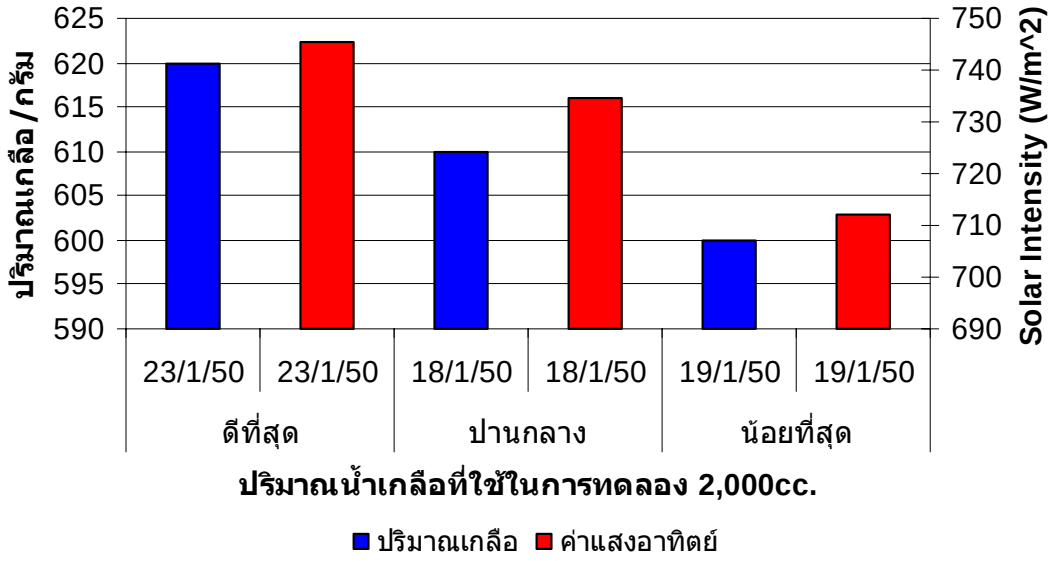
จากกราฟรูปที่ 4.4 เปรียบเทียบอัตราการผลิตน้ำกลั่นเทียบกับเวลา ใช้กระจกรวมแสง น้ำจะเริ่มกลั่นตัวที่เวลา 9.30-15.45 น.ค่าอุณหภูมิผิวระเหย T_w เริ่มที่ 38 - 69 °C ค่าอุณหภูมิผิวระเหย T_w สูงสุดเท่ากับ 95 °C ที่เวลา 14.30 น. ค่าอุณหภูมิผิวระเหย T_w เฉลี่ยเท่ากับ 68°C ได้อัตราการลั่นน้ำมากที่สุดที่เวลาประมาณ 12.00 น.เท่ากับ 0.387 L/m².h เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะได้อัตราการกลั่นเท่ากับ 0.194 L/m².h อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ 1.749 L/m².d

จากผลการทดลองเปรียบเทียบความสัมพันธ์การผลิตน้ำกลั่นเทียบกับเวลา กรณีใช้กระจกรวมแสงและไม่ใช้กระจกรวมแสง โดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. น้ำจะเริ่มกลั่นตัวที่เวลา 9.30 - 15.45 น. เท่ากัน อุณหภูมิผิวระเหยจะเริ่มสูงขึ้นตามเวลาที่ 11.00 – 13.00 น. และจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ตามเวลาได้ค่าอุณหภูมิที่ผิวระเหย T_w ที่แตกต่างกัน กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสงจะมีค่าอุณหภูมิผิวระเหย T_w สูงสุดเท่ากับ 90 °C กรณีใช้กระจกรวมแสงจะมีค่าอุณหภูมิผิวระเหย T_w สูงสุดเท่ากับ 95 °C ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 5 °C กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสงได้อัตราการลั่นน้ำมากที่สุดเท่ากับ 0.175 L/m².h อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ 1.583 L/m².d กรณีใช้กระจกรวมแสงจะได้อัตราการลั่นน้ำมากที่สุดเท่ากับ 0.194 L/m².h อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ 1.749 L/m².d ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ใกล้เคียงกัน แต่หากอุณหภูมิผิวระเหยแตกต่างกันซึ่งจะมีผลทำให้อัตราการกลั่นน้ำมาก

หรือน้อยแตกต่างกันไปด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรณีใช้กระจกรวมแสงจะมีประสิทธิ์ดีกว่า และได้อัตราการกลั่นน้ำที่สูงกว่า

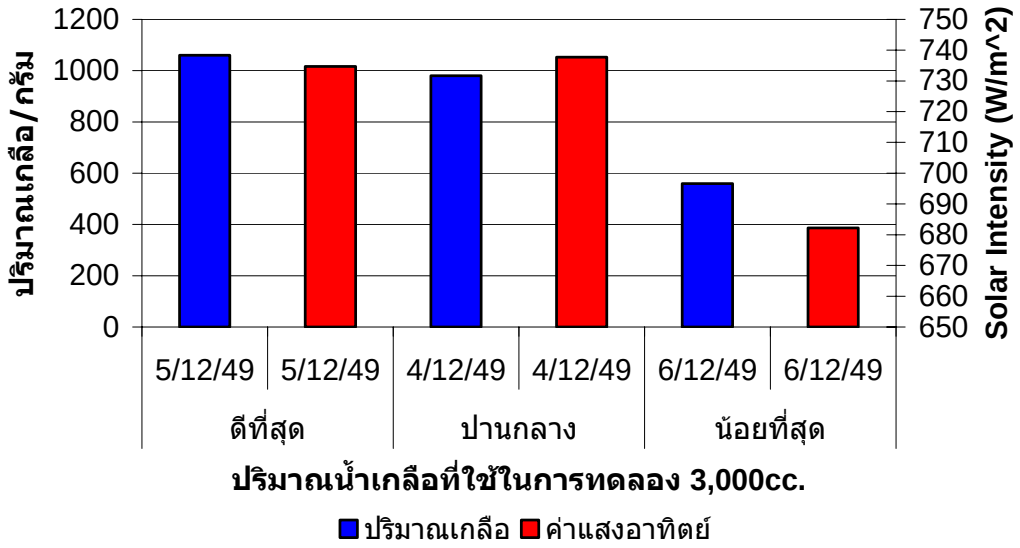
4.1.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง การผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์

การเปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ เพื่อหาประสิทธิ์ภาพในการผลิตเกลือในวันที่มีปริมาณเกลือมากที่สุด ปานกลาง และน้อยที่สุดเทียบกับค่ารังสีอาทิตย์โดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลองที่แตกต่างกันคือ 2,000 ,3,000 และ 4,000cc. การทดลองนี้ได้ทำการทดลอง ณ. สถานที่เดียวกันโดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. ซึ่งรายละเอียดและผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้



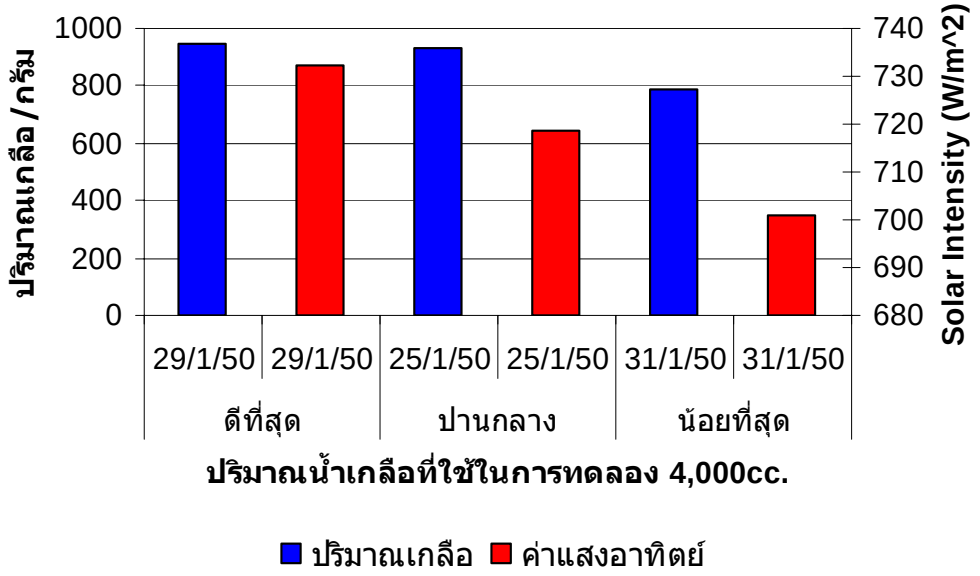
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ (18,19,23 ม.ค.50)

จากกราฟ รูปที่ 4.5 การผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ โดยใช้ปริมาณเกลือในการทดลอง 2,000cc. ปริมาณเกลือสูงสุดคือวันที่ 23 มกราคม 2550 ได้ปริมาณเกลือเท่ากับ 620 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 745.3 W/m² วันที่ได้ปริมาณเกลือปานกลางคือวันที่ 18 มกราคม 2550 ปริมาณเกลือเท่ากับ 610 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 734.7 W/m² วันที่ได้ปริมาณเกลือน้อยที่สุดคือวันที่ 19 มกราคม 2550 ปริมาณเกลือเท่ากับ 600 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 722.9 W/m²



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ (4, 5, 6 ธ.ค.49)

จากกราฟ รูปที่ 4.6 การผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ โดยใช้ปริมาณเกลือในการทดลอง 3,000cc. ปริมาณเกลือสูงสุดคือวันที่ 5 ธันวาคม 2549 ได้ปริมาณเกลือเท่ากับ 1,060 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 734.7 W/m² วันที่ได้ปริมาณเกลือปานกลางคือวันที่ 4 ธันวาคม 2549 ปริมาณเกลือเท่ากับ 980 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 13.00 น. เท่ากับ 737.7 W/m² วันที่ได้ปริมาณเกลือน้อยที่สุดคือวันที่ 6 ธันวาคม 2549 ปริมาณเกลือเท่ากับ 560 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 682.2 W/m²

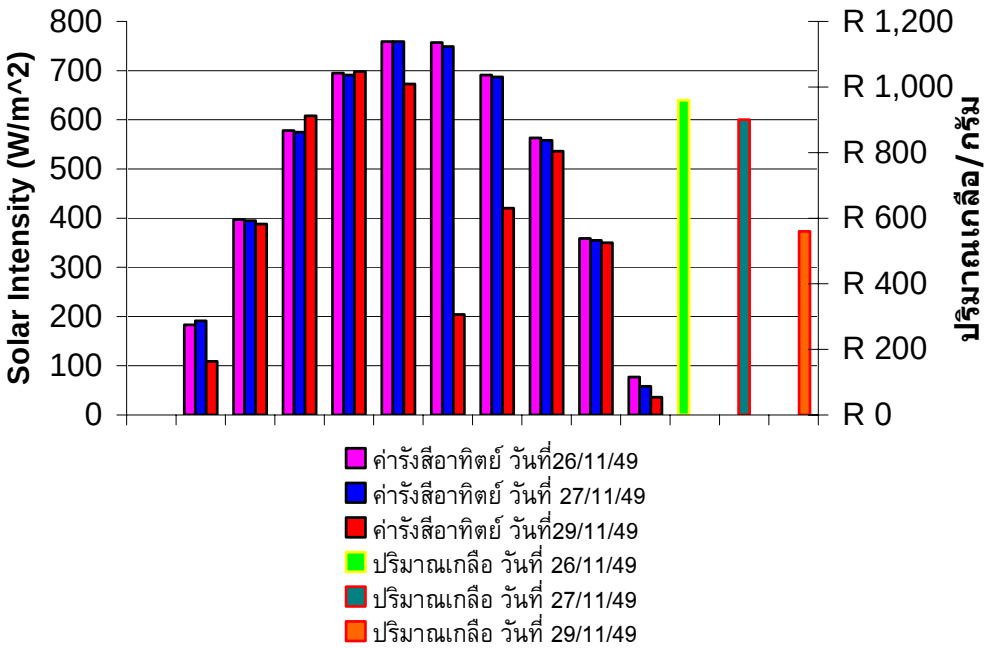


รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ (25, 29, 31 ม.ค.50)

จากกราฟ รูปที่ 4.7 การผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ โดยใช้ปริมาณเกลือในการทดลอง 4,000cc. ปริมาณเกลือสูงสุดคือวันที่ 29 มกราคม 2550 ได้ปริมาณเกลือเท่ากับ 950 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 732.3 W/m² วันที่ได้ปริมาณเกลือปานกลางคือวันที่ 25 มกราคม 2550 ปริมาณเกลือเท่ากับ 930 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 718.8 W/m² วันที่ได้ปริมาณเกลือน้อยที่สุดคือวันที่ 31 มกราคม 2550 ปริมาณเกลือเท่ากับ 790 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 13.00 น. เท่ากับ 700.8 W/m²

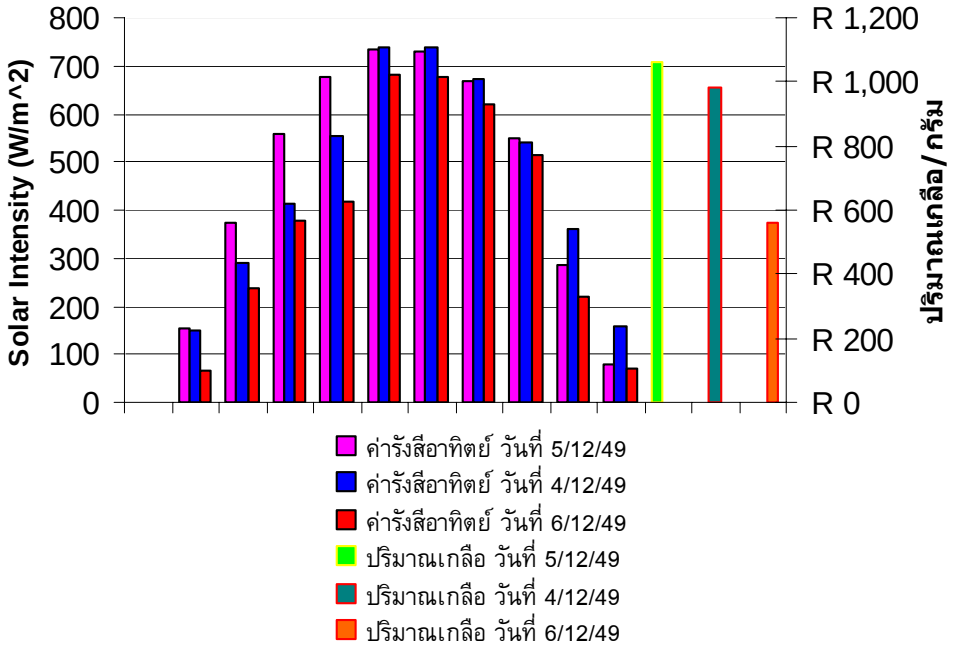
4.1.3.1 เปรียบเทียบผลการทดลอง การผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสง และใช้กระจกรวมแสง โดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 3,000 cc.

การเปรียบเทียบผลการทดลองจากการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ เพื่อหาประสิทธิ์ภาพในการผลิตเกลือ ในวันที่มีปริมาณมากที่สุด ปานกลาง และน้อยที่ สุดเทียบกับค่ารังสีอาทิตย์ ทำการทดลองในวันที่ 26 พ.ย. – 9 ธ.ค. 2549 โดยกรณีใช้กระจกรวมแสง และไม่ใช้กระจกรวมแสง เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 3,000 cc. การทดลองนี้ได้ทำการทดลอง ณ สถานที่เดียวกันโดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น.ซึ่งรายละเอียดและผลการทดลอง สามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสง (26,27,29 พ.ย.49)

จากกราฟ รูปที่ 4.8 การผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ กรณีไม่ใช้กระจกรวมแสง ปริมาณเกลือสูงสุดคือวันที่ 26 พฤศจิกายน 2549 น้ำเกลือ 3,000 cc. ได้ปริมาณเกลือเท่ากับ 960 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 759.1 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 506.29 W/m² ปริมาณเกลือปานกลางคือวันที่ 27 พฤศจิกายน 2549 ปริมาณเกลือเท่ากับ 900 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 759.4 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 506.16 W/m² ปริมาณเกลือน้อยที่สุดคือวันที่ 29 พฤศจิกายน 2549 ปริมาณเกลือ 560 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 11.00 น. เท่ากับ 698 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 412.54 W/m²



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ กรณีใช้กระจกรวมแสง (4, 5, 6ธ.ค.49)

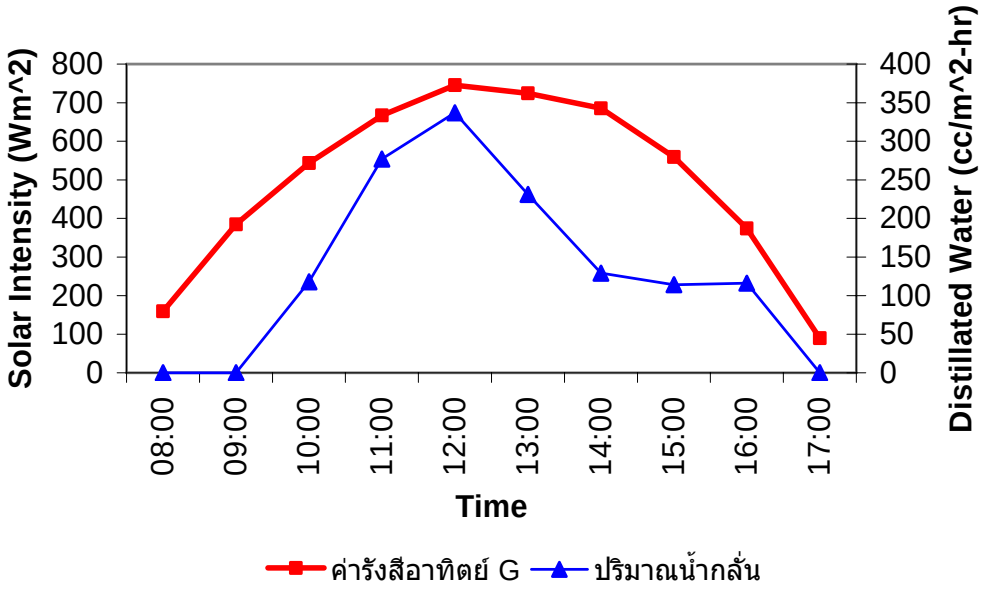
จากกราฟรูปที่ 4.9 การผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ กรณีใช้กระจกรวมแสง ปริมาณเกลือสูงสุดคือวันที่ 5 ธันวาคม 2549 ใช้น้ำเกลือ 3,000cc. ได้ปริมาณเกลือเท่ากับ 1,060 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 734.7 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 481.13 W/m² ปริมาณเกลือปานกลางคือวันที่ 4 ธันวาคม 2549 ปริมาณเกลือเท่ากับ 900 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 13.00 น. เท่ากับ 737.7 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 461.68 W/m² ปริมาณเกลือน้อยที่สุดคือวันที่ 6 ธันวาคม 2549 ปริมาณเกลือ 560 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 682.2 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 388.77 W/m²

จากผลการทดลองเปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ กรณีใช้กระจกรวมแสง และไม่ใช้กระจกรวมแสง โดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. เปรียบเทียบการผลิตเกลือเทียบกับ

แสงอาทิตย์พบว่าปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. กรณีใช้กระจกรวมแสง มีประสิทธิ์ภาพดีกว่าไม่ใช้กระจกรวมแสง วันที่ได้ปริมาณเกลือมากที่สุดแตกต่างกันเท่ากับ 100 กรัม ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่ แตกต่างกันเท่ากับ 24.4 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันแตกต่างกันเท่ากับ 25.16 W/m² วันที่ได้ปริมาณเกลือปานกลางมีความแตกต่างเท่ากัน ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่แตกต่างกันเท่ากับ 21.7 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันแตกต่างกัน เท่ากับ 44.48 W/m² วันที่ได้ปริมาณเกลือน้อยที่สุดมีความแตกต่างเท่ากัน ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่ แตกต่างกันเท่ากับ 15.8 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันแตกต่างกัน เท่ากับ 23.77 W/m²

4.1.4 เปรียบเทียบอัตราการกลั่น (2 ,000, 3,000 , 4,000cc.) เทียบกับแสงอาทิตย์

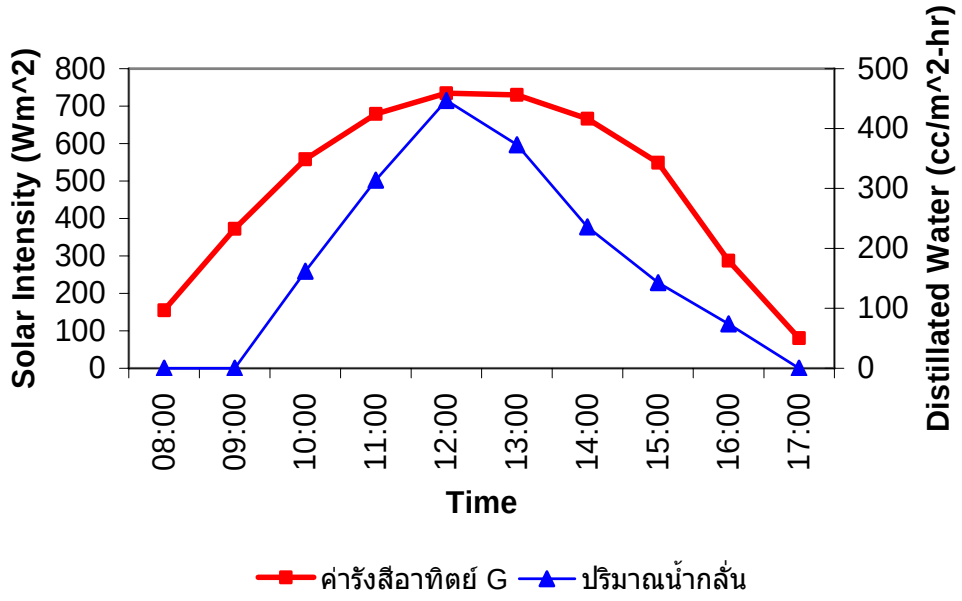
การเปรียบเทียบอัตราการกลั่นปริมาณ 2,000, 3,000 และ 4,000 cc. เทียบกับค่ารังสีแสงอาทิตย์ เพื่อหาประสิทธิ์ภาพที่ดีที่สุดจากการทดลอง ของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ การทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลอง ณ สถานที่เดียวกันโดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. ซึ่งรายละเอียดและผลการทดลอง สามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบอัตราการกลั่นเทียบกับแสงอาทิตย์ ใช้น้ำเกลือ 2,000cc. (23 ม.ค.50)

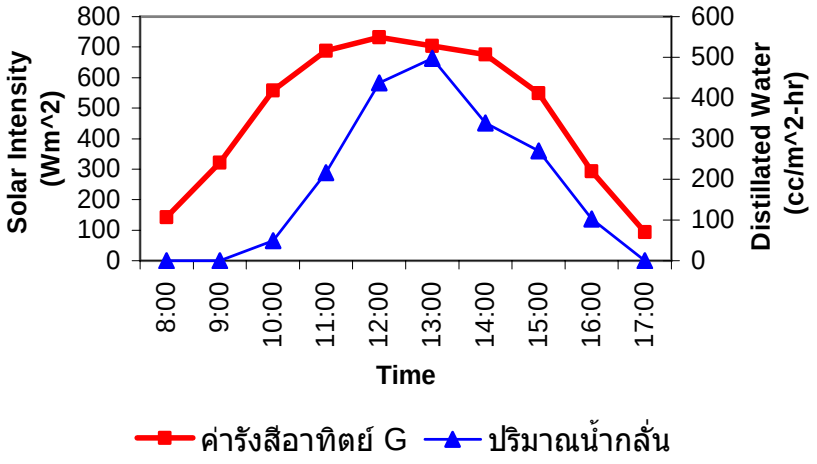
จากกราฟรูปที่ 4.10 เปรียบเทียบอัตราการกลั่นน้ำเทียบกับแสงอาทิตย์ จากการทดลองวันที่ 23 มกราคม 2550 ใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 2,000cc. โดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. น้ำจะเริ่มกลั่นตัวที่เวลา 9.30-16.00 น. อุณหภูมิผิวระเหย (T_w) สูงสุดเท่ากับ 90 °C และอุณหภูมิผิวดูดรังสี (T_p) สูงสุดเท่ากับ 105 °C อัตราการกลั่นน้ำสูงสุดเท่ากับ 0.337 L/m².h อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ

1.292 L/m².d ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 745.3 W/m² ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 459.59 W/m²



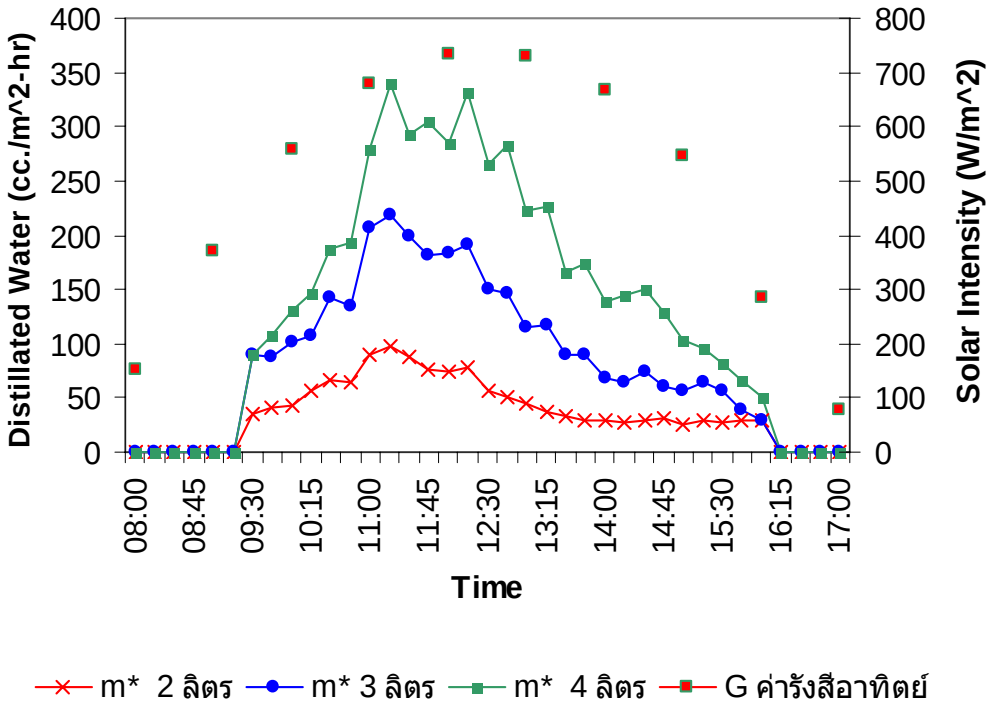
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบอัตราการกลั่นเทียบกับแสงอาทิตย์ ใช้น้ำเกลือ 3,000cc. (5 ธ.ค.49)

จากกราฟรูปที่ 4.11 เปรียบเทียบอัตราการกลั่นน้ำเทียบกับแสงอาทิตย์ จากการทดลองวันที่ 5 ธันวาคม 2549 ใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 3,000cc. โดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. น้ำจะเริ่มกลั่นตัวที่เวลา 9.30-15.45 น. อุณหภูมิผิวระเหย (T_w) สูงสุดเท่ากับ 92 °C และอุณหภูมิผิวดูดรังสี (T_p) สูงสุดเท่ากับ 99 °C อัตราการกลั่นน้ำสูงสุดเท่ากับ 0.447 L/m².h อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ 1.749 L/m².d ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 734.7 W/m² ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 481.13 W/m²



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบอัตราการกลั่นเทียบกับแสงอาทิตย์ ใช้น้ำเกลือ 4,000cc. (29 ม.ค.50)

จากกราฟรูปที่ 4.12 เปรียบเทียบอัตราการกลั่นน้ำเทียบกับแสงอาทิตย์ จากการทดลองวันที่ 29 มกราคม 2550 ใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 4,000cc. โดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. น้ำจะเริ่มกลั่นตัวที่เวลา 9.45-16.00 น. อุณหภูมิผิวระเหย (T_w) สูงสุดเท่ากับ 79 °C และอุณหภูมิผิวดูดรังสี (T_p) สูงสุดเท่ากับ 82 °C อัตราการกลั่นน้ำสูงสุดเท่ากับ 0.497 L/m².h อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ 1.911 L/m².d ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 732.3 W/m² ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 475.71 W/m²



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบอัตราการกลั่น (2 , 3 , 4 ลิตร) เทียบกับแสงอาทิตย์

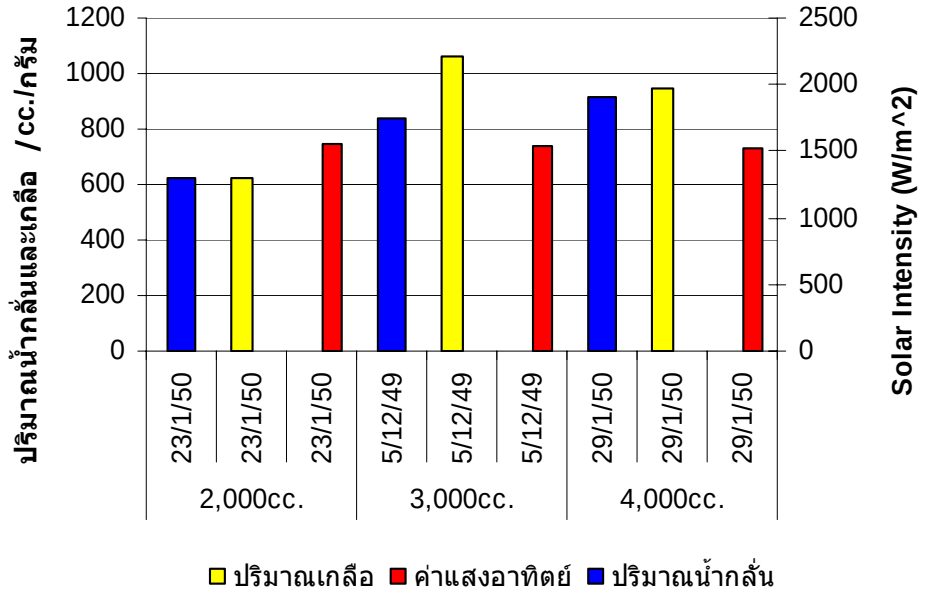
จากผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการกลั่น 2,000, 3,000 และ 4,000 cc. เทียบกับแสงอาทิตย์จากกราฟรูปที่ 4.13 เปรียบเทียบอัตราส่วนการกลั่น กับค่ารังสีอาทิตย์ที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ใช้ปริมาณน้ำเกลือ 2,000cc.ในการทดลอง ได้อุณหภูมิผิวระเหย (T_w) สูงสุดเท่ากับ 90°C อุณหภูมิผิวดูดรังสี (T_p) สูงสุดเท่ากับ 105°C ซึ่งอุณหภูมิสูงมาก แต่ได้อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ 1.292 L/m².d ซึ่งมีปริมาณน้อย ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 745.3 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 459.59 W/m² ใช้ปริมาณน้ำเกลือ 3,000cc.ในการทดลอง ได้อุณหภูมิผิวระเหย (T_w) สูงสุดเท่ากับ 92°C อุณหภูมิผิวดูดรังสี (T_p) สูงสุดเท่ากับ 99°C ได้อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ 1.749 L/m².d ซึ่งมีปริมาณปานกลางค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 734.7 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 481.13 W/m² ใช้ปริมาณน้ำเกลือ 4,000cc.ในการทดลอง ได้

อุณหภูมิผิวระเหย (T_w) สูงสุดเท่ากับ 79°C อุณหภูมิผิวดูดรังสี (T_p) สูงสุดเท่ากับ 82°C ได้อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ 1.991 L/m².d ซึ่งได้ปริมาณสูงสุด ได้ค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 732.3 W/m² ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 475.71 W/m² คิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำที่กลั่นตัวได้ เท่ากับ 64.6% , 56.3 % และ 47.7 % ตามลำดับ

สรุปผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการกลั่นน้ำที่แตกต่างกันเทียบค่ารังสีอาทิตย์ที่มีค่าใกล้เคียงกัน พบว่าการใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลองน้อยจะทำให้อุณหภูมิผิวระเหย (T_w) และอุณหภูมิผิวดูดรังสี (T_p) มีอุณหภูมิสูง ได้อัตราการกลั่นน้ำปริมาณน้อย แต่ถ้าเพิ่มปริมาณน้ำเกลือในการทดลองมากขึ้น ก็จะทำให้อุณหภูมิผิวระเหย (T_w) และอุณหภูมิผิวดูดรังสี (T_p) อุณหภูมิลดลง แต่ได้อัตราการกลั่นน้ำเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการทดลองจะต้องพิจารณาถึงปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง และอุณหภูมิผิวระเหย และผิวดูดรังสีให้มีความเหมาะสมมากที่สุด

4.1.5 เปรียบเทียบปริมาณน้ำกลั่นและปริมาณเกลือเทียบกับค่ารังสีอาทิตย์ โดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 2,000, 3,000 , 4,000cc.

การเปรียบเทียบผลการทดลองปริมาณน้ำกลั่น และปริมาณเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ โดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลองที่แตกต่างกัน คือ 2,000 ,3,000 ,4,000 cc. การทดลองนี้ได้ทำการทดลอง ณ สถานที่เดียวกันโดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. ซึ่งรายละเอียดและผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้

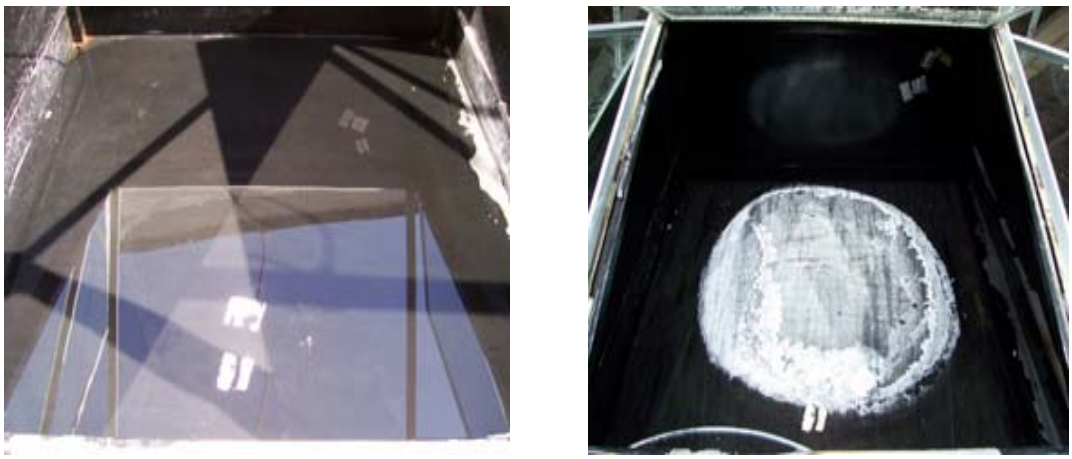


รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำกลั่น และปริมาณเกลือเทียบกับค่ารังสีอาทิตย์ใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 2,000 ,3,000 และ 4,000 cc.

จากรูปกราฟ รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบผลการทดลองปริมาณน้ำกลั่นและปริมาณเกลือเทียบกับแสงอาทิตย์ โดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลองที่แตกต่างกัน คือ 2,000 ,3,000 ,4,000 cc.พบว่าจากการทดลองในวันที่ 23 มกราคม 2550 ใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 2,000 cc. จะได้ปริมาณน้ำกลั่น 1,292 cc. ปริมาณเกลือ 620 กรัม เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ปริมาณน้ำกลั่นเท่ากับ 64.6% ปริมาณเกลือเท่ากับ 31% ผลรวมคิดเป็น 95% ค่าการสูญเสียเท่ากับ 4.4% ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 745.3 W/m² จากการทดลองในวันที่ 5 ธันวาคม 2549 ใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 3,000 cc. จะได้ปริมาณน้ำกลั่น 1,749 cc. ปริมาณเกลือ 1,060 กรัม เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ปริมาณน้ำกลั่นเท่ากับ 58.3% ปริมาณเกลือเท่ากับ 35.33% ผลรวมคิดเป็น 93.63% ค่าการสูญเสียเท่ากับ 6.37% ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 734.7 W/m² จากการทดลองในวันที่ 29 มกราคม 2550 ใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 4,000 cc. จะได้ปริมาณน้ำกลั่น 1,911 cc. ปริมาณเกลือ 950 กรัม เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ปริมาณน้ำกลั่นเท่ากับ 47.77% ปริมาณเกลือเท่ากับ 28.25% ผลรวมคิดเป็น 76.02% ค่าการสูญเสียเท่ากับ 23.98% ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 732.3 W/m²

4.1.6 ลักษณะการตกผลึกของเกลือสินเธาว์

ทำการทดลอง และเก็บผลการทดลองที่ได้จากเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ โดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. และใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 3,000cc. เปรียบเทียบความแตกต่างของการตกผลึกเกลือทุกๆ ชั่วโมง โดยแสดงไว้ในรูปด้านล่าง



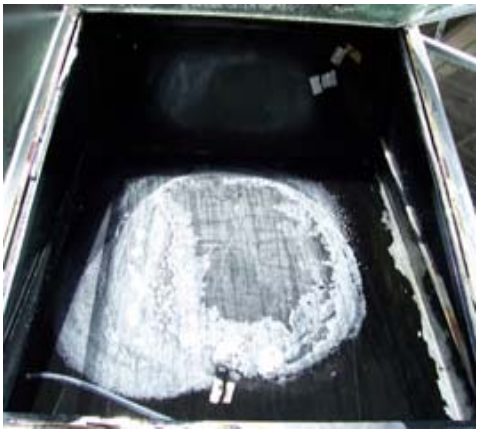
(ก) เริ่มทำการทดลอง 8.00 น.

(ข) เวลา 8.00-9.00 น.

รูปที่ 4.15 การทดสอบสมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ช่วงเวลา 8.00-17.00 น. (5 ธ.ค.49)

(ค)

เวลา 9.00-10.00 น.



(ง)

เวลา 10.00-11.00 น.

(จ)

เวลา 11.00-12.00 น.

(ฉ)

เวลา 12.00-13.00 น.

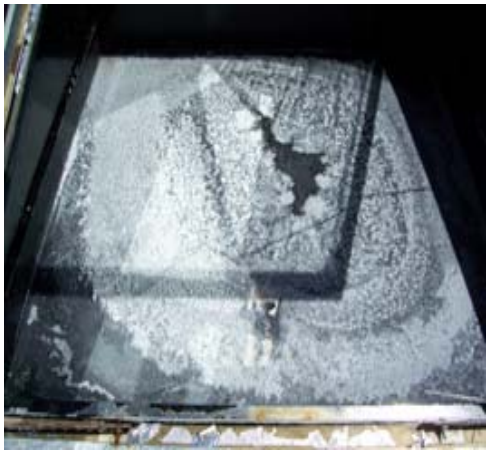
(ช)

เวลา 13.00-14.00 น.

(ซ)

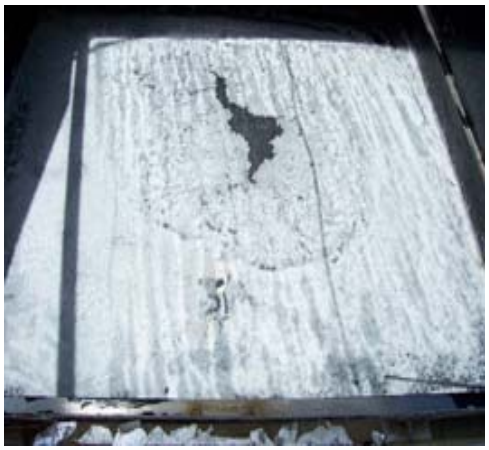
เวลา 14.00-15.00 น.

รูปที่ 4.15 (ต่อ)



(ฌ)

เวลา 15.00-16.00 น.



(ญ)

เวลา 16.00-17.00 น.

รูปที่ 4.15 (ต่อ)

4.1.7 การเปรียบเทียบการตกผลึกเกลือโดยใช้ปริมาณน้ำเกลือที่แตกต่างกัน

การเปรียบเทียบการตกผลึกเกลือจากปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลองที่แตกต่างกันคือ2,000, 3,000 และ 4,000 cc.

รูปที่ 4.16 ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 2,000 cc. (23 ม.ค. 50)

จากรูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบการตกผลึกเกลือจากปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 2,000 cc. ได้อัตราการกลั่นเท่ากับ 1.292 $L/m^2.d$ ได้ปริมาณเกลือเท่ากับ 620 กรัม

รูปที่ 4.17 ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. (5 ธ.ค.49)

จากรูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบการตกผลึกเกลือจากปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 3,000 cc. ได้อัตราการกลั่นเท่ากับ 1.689 L/m².d ได้ปริมาณเกลือเท่ากับ 1,060 กรัม

รูปที่ 4.18 ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 4,000 cc. (31 ม.ค.50)

จากรูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบการตกผลึกเกลือจากปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 4,000 cc. ได้อัตราการกลั่นเท่ากับ 1.911 L/m².d ได้ปริมาณเกลือเท่ากับ 950 กรัม

4.1.8 การเปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตน้ำกลั่นโดยใช้ปริมาณน้ำเกลือที่แตกต่างกัน

การเปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตน้ำกลั่นโดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลองที่แตกต่างกันคือ 2,000 ,3,000 ,4,000 cc.

รูปที่ 4.19 ปริมาณน้ำกลั่นที่ได้จากการใช้น้ำเกลือในการทดลอง 2,000 cc. (23 ม.ค. 50)

จากรูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตน้ำกลั่นโดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 2,000 cc. ได้อัตราการกลั่นเท่ากับ 1.292 $L/m^2.d$

รูปที่ 4.20 ปริมาณน้ำกลั่นที่ได้จากการใช้น้ำเกลือในการทดลอง 3,000 cc. (5 ธ.ค.49)

จากรูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตน้ำกลั่นโดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 3,000 cc. ได้อัตราการกลั่นเท่ากับ 1.689 L/m².d

รูปที่ 4.21 ปริมาณน้ำกลั่นที่ได้จากการใช้น้ำเกลือในการทดลอง 4,000 cc. (31 ม.ค.50)

จากรูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตน้ำกลั่นโดยใช้ปริมาณน้ำเกลือในการทดลอง 4,000 cc. ได้อัตราการกลั่นเท่ากับ 1.911 L/m².d

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับ กรณีใช้กระจกรวมแสง และไม่ใช้กระจกรวมแสงเทียบกับปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลองที่แตกต่างกันคือ 2,000 , 3,000 และ 4,000 cc. ทำการทดลองในช่วงเวลาเดียวกันและใช้สถานที่ในการทดลองที่เดียวกันโดยเปรียบเทียบจากอุณหภูมิผิวระเหย (T_w) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_a) ค่ารังสีอาทิตย์ (G) ปริมาณน้ำกลั่น และเกลือที่ได้จากการทดลองพบว่า

การทดลองในวันที่ 5 ธันวาคม 2549 ตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. ค่าอุณหภูมิผิวระเหย(T_w) สูงสุดเท่ากับ 95 °C ที่เวลา 14.30 น. อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_a) สูงสุดเท่ากับ 38 °C ที่เวลา 13.45 น. ค่ารังสีอาทิตย์ (G) จะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนถึงเวลาประมาณ 12.00 น.จึงค่อยๆ ลดลง มีค่าสูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ 734.7 W/m² ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 481.13 W/m² และน้ำเริ่มตัวที่เวลา 9.30 – 15.45 น. ได้อัตราการกลั่นน้ำมากที่สุดที่เวลาประมาณ 12.00 น. เท่ากับ 0.387 L/m².h เมื่อคิดค่าเฉลี่ยจะได้อัตราการกลั่นเท่ากับ 0.187 L/m².h อัตราการกลั่นน้ำรวมเท่ากับ 1.749 L/m².d และปริมาณเกลือที่ได้เท่ากับ 1,060 กรัม

การเปรียบเทียบผลการทดลองจากปริมาณน้ำเกลือที่แตกต่างกันคือ 2,000, 3,000 และ 4,000 cc. พบว่าการทดลองในวันที่ 5 ธันวาคม 2549 กรณีใช้กระจกรวมแสง และปริมาณน้ำเกลือ 3,000 cc. เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ปริมาณน้ำกลั่น 58.3% ปริมาณเกลือ 35.33% ผลรวมคิดเป็น 93.63% และการสูญเสีย 6.37% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำเกลือ 2,000 และ 4,000 cc. ซึ่งน้ำเกลือ 2,000 cc. เมื่อเทียบกับ 3,000 cc. พบว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์รวมมีค่าสูงกว่า แต่เมื่อเทียบกับผลผลิตที่ได้มีค่าน้อยกว่ามาก และมีข้อเสียคือ ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยทำให้สามารถกลั่นน้ำได้เร็ว และภายในเครื่องกลั่นมีอุณหภูมิสูง ทำให้เกลือตกผลึกและเกาะติดแน่นกับผิวดูดรับความร้อนทำให้เก็บผลผลิตเกลือได้ยาก ปริมาณน้ำเกลือ 4,000 cc. เมื่อเทียบกับ 3,000 cc. พบว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์มีค่าน้อยกว่ามาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำกลั่นที่ได้มีมากกว่า แต่ปริมาณเกลือจะได้น้อยกว่าและยังเหลือส่วนที่เป็นน้ำปนอยู่กับเกลือภายในเครื่องกลั่น

ดังนั้นผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า กรณีใช้กระจกรวมแสง และปริมาณน้ำเกลือ 3,000 cc. นั้น มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุด ในการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งปริมาณความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่ารังสีอาทิตย์ และจะมีความเข้ม

ค่อยๆ สูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 12.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับกระจกด้านบนมากที่สุด และใช้กระจกรวมแสงทั้ง 2 ข้างเพื่อเพิ่มความเข้มค่ารังสีอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิภายในสูงเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าในช่วงเวลาเช้า หรือ เย็น

ผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ และราคาต้นทุนการผลิตน้ำกลั่น และเกลือ ถ้าอัตราดอกเบี้ยเพิ่มสูงขึ้น ก็จะทำให้ราคาต้นทุนในการผลิตน้ำกลั่น และเกลือ สูงขึ้นตามไปด้วย ถ้าราคาน้ำกลั่น และเกลือในท้องตลาดมีราคาสูงขึ้นหรือลดลง ก็จะทำให้ระยะเวลาในการคุ้มทุนเร็วขึ้น หรือช้าลงตามไปด้วย ดังนั้นการวิเคราะห์และการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน เพื่อที่จะสร้างเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะต้องคำนึงถึงราคาน้ำกลั่นและเกลือ ในสภาวะเศรษฐกิจที่เป็นอยู่ในปัจจุบันว่ามีความเหมาะสมในการลงทุนหรือไม่

ราคาต้นทุนในการสร้างเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสิ้น 14,460 บาท อัตราการกลั่นน้ำ และผลิตเกลือจากเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถทำการกลั่นน้ำได้เฉลี่ยวันละ 1.689 ลิตร/ตารางเมตร ประเมินให้เวลา 1 ปี (คิด 300 วัน) ได้อัตราการกลั่นน้ำเท่ากับ 507 ลิตร/ปี และสามารถผลิตเกลือได้เท่ากับ 1.060 กิโลกรัม/วัน ถ้าประเมินให้เวลา 1 ปี (คิด 300 วัน) จะได้ปริมาณเกลือเท่ากับ 318 กิโลกรัม/ปี

ประเมินอายุการใช้งานเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ไว้ที่ 10 ปีน้ำกลั่นที่ขายในท้องตลาดราคา 10 บาท/ลิตร เกลือสินเธาว์ที่ขายในท้องตลาดราคา 3 บาท/กิโลกรัมรายได้สุทธิต่อปีเท่ากับ 6,024 บาท/ปี จากการวิเคราะห์ราคาต้นทุนน้ำกลั่น และราคาเกลือรายปีเท่ากับ 3.05 บาท โดยมีระยะเวลาคุ้มทุน 2.97 ปี โดยคิดอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ 7.75% ต่อปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. **การสร้าง**

- ควรหาวัสดุอื่นที่มีผิวดูดรังสีได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนของเกลือได้ดี และมีราคาถูกกว่าสแตนเลส เพื่อที่จะสามารถพัฒนานำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้จริง

2. **การออกแบบ**

- ควรออกแบบขนาดให้มีความเหมาะสมกับอัตราส่วนการผลิตน้ำกลั่นและเกลือเปรียบเทียบผลจากการทดลอง

3. **การนำไปใช้ประโยชน์**

- นำงานวิจัยไปพัฒนาใช้กับชุมชนที่มีการผลิตเกลือแบบเดิมๆ
- ส่งเสริมให้มีการผลิตเกลือโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

1. จงจิตร์ หิรัญลาภ, 2541, **กระบวนการแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน,** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 6-11.

2. ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์, 2529, **การถ่ายเทมวลและการเผาไหม้,** ราชบัณฑิตสถาน, หน้า 39-41.

3. สมชาย โสภณศิริกุล, 2543, **การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องกลั่นน้ำ,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะ พลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 13-23.

4. พิชัย นามประกาย, 2539, **การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลในเครื่องกลั่นพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเอทานอล,** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 3-15.

5. Stoecker, W.F., 1989, **Design of Thermal Systems,** third edition, New York, Mc Graw-Hill, Inc., pp. 27-33.

6. อนนท์ โพธิหอม, 2520, **เครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า ข.

7. กมล อุปลานนท์, 2522, **เครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่มีกระจกเอียงสองด้าน,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 3-14.

8. สุวรรณ สุนทรีรัตน์, 2523, **เครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์โดยใช้พลาสติกเป็นฝาปิด,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า ง.

9. บุญสร้าง ดิเรกสถาพร, 2523, **เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบผิวรับแสงอยู่ในแนวดิ่ง,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 14-28.

10. ทองใบ อรรถเศรษฐ, 2524, **เครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์ในแนวดิ่งแบบแผ่นราบ,**วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 82-93.

11. มานะ คงดีจันทร์, 2534, **การกลั่นเอธานอลจากวัตถุดิบทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะ พลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 20-29.

12. สำรวย ภูบาล, 2545, **การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะ พลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 6-24.

13. Wibulswas, P., 1984, "Review of Research & Development on Solar Distillation in Thailand", **Renewable Energy Review Journal,** Vol. 6, No.2, pp. 101-110.

14. Farid, M. and Hamad, F., 1993, "Performance of a Single Basin Solar Still," **Renewable Energy,** Vol. 3, pp. 75-83.

15. Khalil, M.K. and Abu-Abdou, 1994, "Analysis of Continuous-Flow Thin Film Solar Still," **Renewable Energy,** Vol. 4, No. 7, pp. 839-845.

16. Chaturuedi, A.K. and Venkatesh, A., 1988, "Problems in a Portable Solar Still," **Renewable Energy for Rural Development,** Vol. 5, pp. 372-375.

17. Spalding, D.B., 1963, **Convection Mass Transfer**,London, Edward Arnold, pp. 127-133.

18. Dadav, Y.P. and JHA, L.K., 1989, "Double-Basin Solar Still Coupled to A Collector and Operating in the Thermosiphon Mode," **Energy,** Vol. 14, pp. 653-659.

19. Dunkle, R.v., 1961, **"Solar Water Distillation: the Roof Type Still and a Multiple Effect Diffusion Still",** International Heat Transfer Coefficient, Univ. of Colorado, pp. 895-902.

ภาคผนวก ก.

ตารางข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการกลั่นน้ำทุกๆ 15 นาที จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ (แบบใช้กระจกรวมแสง)

19/1/50 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	26	26	24	26	28	46	27	29	24	23	0.5	154.7	-	-
8.15	32	31	27	30	33	66	36	28	35	25	0.6	-	-	-
8.30	35	37	29	33	36	68	40	32	32	24	0.4	-	-	-
8.45	38	39	31	36	39	72	44	36	30	24	1.4	-	-	-
9.00	45	46	39	46	47	78	51	38	33	26	0.8	372.5	-	-
9.15	51	52	47	54	54	83	57	42	34	26	1.0	-	-	-
9.30	56	57	55	60	58	91	50	39	33	26	0.9	-	13	-
9.45	61	62	62	67	65	102	54	40	36	30	1.3	-	70	-
10.00	64	65	66	71	68	109	54	40	35	26	0.4	538.0	55	-
10.15	66	67	70	74	76	110	46	40	34	26	1.7	-	67	-
10.30	68	70	71	78	74	117	50	38	36	28	0.7	-	79	-
10.45	69	71	76	76	75	114	53	41	37	29	1.6	-	93	-
11.00	72	73	72	78	76	109	50	39	35	28	1.0	659.1	102	-
11.15	72	74	80	80	79	115	53	42	39	31	1.9	-	50	-
11.30	74	76	82	83	81	116	55	41	41	34	0.8	-	67	-
11.45	75	77	84	83	80	116	56	43	39	34	0.7	-	84	-
12.00	75	77	84	84	82	118	54	45	39	34	0.9	734.7	95	-
12.15	75	77	85	85	83	114	57	44	41	32	0.6	-	58	-
12.30	75	76	86	86	83	115	55	44	42	36	1.4	-	58	-
12.45	74	75	85	85	82	115	51	40	39	31	1.5	-	52	-
13.00	72	72	82	82	78	114	49	42	40	31	0.6	712.1	36	-
13.15	72	73	83	81	85	114	47	38	39	33	0.7	-	37	-
13.30	72	74	84	84	81	111	51	43	41	31	0.8	-	28	-
13.45	71	72	82	81	77	108	45	39	39	29	0.6	-	10	-
14.00	71	70	82	81	77	105	43	38	38	30	0.4	666.3	39	-
14.15	66	66	79	78	73	101	43	42	43	30	0.8	-	20	-
14.30	64	65	73	74	72	96	42	37	40	30	0.7	-	27	-
14.45	61	62	67	69	69	85	43	40	40	32	0.6	-	10	-
15.00	57	58	63	65	66	80	43	39	41	34	0	548.8	26	-
15.15	51	52	59	60	61	72	39	37	39	31	0.1	-	16	-
15.30	47	48	54	55	57	65	39	37	38	33	0	-	26	-
15.45	45	46	51	53	54	60	38	36	37	33	0.3	-	-	-
16.00	44	44	49	50	51	58	37	35	36	32	0.5	286.9	-	-
16.15	42	42	47	49	48	55	36	34	35	32	0.6	-	-	-
16.30	40	40	46	47	46	53	34	33	33	32	0.3	-	-	-
16.45	39	39	43	47	44	49	33	33	33	32	0.4	-	-	-
17.00	37	37	41	43	41	45	33	33	32	32	0.3	80.2	1,218	610

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 2,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,218 cc. ปริมาณเกลือ 610 กรัม

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

19/1/50 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	26	26	25	27	28	47	36	31	25	24	0.6	146.6	-	-
8.15	32	33	28	32	33	51	40	34	27	25	0.8	-	-	-
8.30	35	36	30	35	36	54	44	34	27	25	0.4	-	-	-
8.45	38	38	32	37	37	57	46	34	27	25	0.8	-	-	-
9.00	45	45	40	46	45	69	46	32	28	25	0.5	346.6	-	-
9.15	49	50	48	53	50	76	48	35	30	26	0.7	-	-	-
9.30	52	53	53	58	55	87	47	36	32	28	0.7	-	13	-
9.45	57	57	57	60	56	89	50	36	29	26	0.6	-	70	-
10.00	60	60	63	66	61	93	52	36	32	27	0.2	502.5	55	-
10.15	62	63	66	70	65	95	55	39	33	30	0.1	-	67	-
10.30	64	65	69	73	67	98	55	36	34	30	0.4	-	79	-
10.45	66	67	71	75	66	101	52	37	34	30	0.9	-	93	-
11.00	66	67	72	77	67	99	53	36	33	29	0.3	641.3	102	-
11.15	66	67	74	81	69	103	52	39	36	32	0.7	-	50	-
11.30	65	67	76	83	69	103	49	39	37	29	0.5	-	67	-
11.45	66	67	75	83	69	102	51	41	38	31	0.7	-	84	-
12.00	67	68	76	85	70	104	51	39	39	33	1.7	711.9	95	-
12.15	59	71	78	89	72	107	53	42	39	29	1.0	-	58	-
12.30	70	72	81	96	74	106	53	44	39	33	0.7	-	58	-
12.45	72	73	84	98	74	111	48	41	39	28	0.2	-	52	-
13.00	72	72	84	97	76	109	48	41	39	31	1.5	670.5	36	-
13.15	72	73	87	100	78	114	49	39	39	33	0.7	-	37	-
13.30	71	73	89	102	78	115	50	41	42	31	0.7	-	28	-
13.45	71	72	90	100	76	113	47	40	42	30	0.9	-	10	-
14.00	69	71	89	100	73	109	48	42	42	31	1.1	620.2	39	-
14.15	70	71	88	98	73	107	41	41	42	33	0.9	-	20	-
14.30	69	69	85	91	72	99	46	41	43	32	0.1	-	27	-
14.45	66	67	82	87	71	94	45	40	42	32	0.8	-	10	-
15.00	65	65	80	83	71	91	44	39	41	31	0.3	547.2	26	-
15.15	61	61	72	72	63	81	40	35	38	30	0.4	-	16	-
15.30	58	58	67	67	64	75	41	37	39	32	0.7	-	26	-
15.45	51	52	60	61	59	66	39	38	37	30	0.4	-	-	-
16.00	48	48	57	58	56	60	37	36	36	29	0.6	349.1	-	-
16.15	45	45	55	56	54	58	36	35	35	28	0.4	-	-	-
16.30	42	42	52	53	50	56	34	33	34	27	0.4	-	-	-
16.45	40	40	45	50	48	55	34	33	33	27	0.5	-	-	-
17.00	39	39	43	47	44	49	34	33	33	27	0.6	131.1	1,130	600

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 2,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,130 cc. ปริมาณเกลือ 600 กรัม

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

23/1/50 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	26	26	26	27	26	41	34	30	24	23	0.6	159.3	-	-
8.15	29	29	27	29	28	45	35	30	24	24	0.3	-	-	-
8.30	31	31	28	31	31	51	37	31	24	24	0.4	-	-	-
8.45	33	33	30	33	33	55	39	32	25	25	0.3	-	-	-
9.00	35	36	31	36	36	59	42	33	25	27	1.0	384.6	-	-
9.15	40	41	34	41	40	64	44	33	23	24	0.7	-	-	-
9.30	46	46	41	49	46	71	44	33	24	25	1.6	-	35	-
9.45	51	52	49	55	50	78	45	34	24	24	0.7	-	41	-
10.00	55	56	54	60	55	85	44	33	25	25	0.4	543.7	42	-
10.15	59	59	60	65	60	91	49	36	25	24	1.2	-	57	-
10.30	61	61	62	67	60	91	46	36	25	25	0.4	-	66	-
10.45	64	66	68	73	67	100	48	37	25	30	1.6	-	65	-
11.00	68	69	73	77	71	104	52	40	30	32	0.8	667.3	89	-
11.15	70	72	77	81	75	113	51	42	29	32	0.6	-	98	-
11.30	70	72	77	80	74	109	56	42	29	32	0.8	-	88	-
11.45	73	75	81	83	78	119	53	44	32	32	0.6	-	77	-
12.00	74	75	82	85	80	120	55	45	34	33	0.7	745.3	74	-
12.15	72	73	81	90	79	120	54	43	34	32	1.4	-	79	-
12.30	75	77	86	103	81	125	56	44	35	34	0.9	-	56	-
12.45	72	74	86	104	81	121	53	43	33	34	1.4	-	51	-
13.00	72	73	87	103	80	119	52	42	36	31	1.2	724.2	45	-
13.15	72	74	90	105	81	116	53	44	35	35	0.7	-	37	-
13.30	72	73	90	104	80	115	54	44	36	38	0.7	-	33	-
13.45	70	72	89	104	80	115	53	44	35	36	1.0	-	30	-
14.00	71	72	90	102	80	115	52	42	34	36	0.6	685.3	29	-
14.15	69	70	89	99	78	109	48	41	35	34	0.7	-	28	-
14.30	68	69	87	96	77	103	47	40	32	34	0.9	-	30	-
14.45	67	68	84	94	76	101	47	40	34	34	0.7	-	31	-
15.00	66	67	84	88	76	103	46	42	38	35	0.4	559.1	25	-
15.15	62	63	78	83	72	95	42	39	33	33	0.7	-	29	-
15.30	60	61	72	78	69	88	42	38	35	33	1.4	-	28	-
15.45	57	58	68	72	66	82	40	37	33	31	0.8	-	29	-
16.00	55	56	66	68	60	78	37	35	33	28	0.5	374.2	30	-
16.15	53	54	63	63	57	71	34	34	33	27	0.3	-	-	-
16.30	48	48	58	59	55	67	34	34	32	26	0.4	-	-	-
16.45	45	45	56	57	54	65	33	32	30	25	0.2	-	-	-
17.00	43	43	49	54	51	58	33	32	30	25	0.3	89.7	1,292	620

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 2,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,292 cc. ปริมาณเกลือ 620 กรัม

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการกลั่นน้ำทุกๆ 15 นาที จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ (แบบไม่ใช้กระจกรวมแสง)

26/11/49 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	26	26	25	25	25	25	26	26	26	26	0.6	183.3	-	-
8.15	29	29	29	30	29	29	28	28	27	25	0	-	-	-
8.30	29	29	34	29	30	35	29	29	28	26	0	-	-	-
8.45	37	37	40	39	36	38	34	31	30	28	0	-	-	-
9.00	38	40	47	45	40	43	36	33	31	27	0.6	397.5	-	-
9.15	43	45	53	51	44	47	39	34	33	30	0.4	-	-	-
9.30	48	51	59	56	50	80	51	35	34	32	0	-	10	-
9.45	49	55	66	60	56	91	56	37	36	29	0.7	-	30	-
10.00	54	59	69	65	61	100	56	38	37	30	1.0	578.8	50	-
10.15	60	63	70	69	64	101	58	40	37	34	0	-	48	-
10.30	60	66	74	73	68	104	64	42	38	36	0.2	-	59	-
10.45	64	69	81	77	72	109	65	42	40	34	1.2	-	74	-
11.00	64	71	81	80	74	111	62	43	41	34	0.7	695.5	81	-
11.15	65	73	84	82	76	112	66	44	41	35	1.4	-	100	-
11.30	64	72	87	82	76	113	59	41	40	33	1.2	-	85	-
11.45	65	73	87	83	77	112	57	42	41	34	0.6	-	102	-
12.00	66	75	86	85	77	111	63	43	41	33	1.1	759.1	95	-
12.15	68	74	90	84	78	112	60	44	42	37	0.8	-	105	-
12.30	69	72	87	83	78	113	57	44	42	36	0	-	90	-
12.45	70	73	86	83	77	110	60	44	42	37	0.6	-	89	-
13.00	64	73	86	83	78	111	57	44	43	39	0	757.5	77	-
13.15	65	73	86	82	78	111	57	44	44	36	0	-	65	-
13.30	64	70	85	80	76	106	56	43	43	38	0.6	-	76	-
13.45	62	69	82	78	74	104	57	43	44	37	1.1	-	53	-
14.00	61	68	83	77	73	102	52	42	43	35	0.4	691.9	47	-
14.15	61	66	83	76	72	102	50	43	44	35	1.2	-	51	-
14.30	57	64	83	74	71	97	49	43	43	37	0.9	-	54	-
14.45	57	63	82	73	69	94	53	44	44	36	0.7	-	35	-
15.00	55	60	79	70	67	90	46	41	43	35	0.5	563.0	26	-
15.15	53	57	75	67	64	86	45	40	42	34	0.6	-	35	-
15.30	50	54	67	63	60	78	45	39	41	36	0	-	26	-
15.45	48	51	63	60	59	75	44	38	40	35	0.5	-	20	-
16.00	46	49	60	56	57	71	43	38	40	35	0.4	359.1	-	-
16.15	45	47	59	54	54	66	41	38	39	34	0	-	-	-
16.30	43	45	55	51	51	60	38	36	38	34	0	-	-	-
16.45	40	41	52	48	47	54	36	35	38	33	0	-	-	-
17.00	39	39	49	45	45	50	35	33	36	32	0	77.2	1,583	960

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,583 cc. ปริมาณเกลือ 960 กรัม

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

27/11/49 Time	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	29	29	29	27	29	39	37	29	27	25	0	191.6	-	-
8.15	32	32	29	30	32	45	48	30	29	28	0	-	-	-
8.30	34	34	30	32	36	52	50	31	28	28	0.5	-	-	-
8.45	41	41	38	40	44	63	53	33	31	30	1.1	-	-	-
9.00	42	43	47	45	48	72	52	33	31	29	0.4	395	-	-
9.15	45	47	52	52	53	83	55	36	33	29	0.4	-	28	-
9.30	50	53	57	57	57	89	59	37	35	33	0.2	-	30	-
9.45	53	56	62	63	61	95	62	39	36	33	0.5	-	46	-
10.00	55	60	67	68	65	101	60	40	37	35	0	575.8	48	-
10.15	58	63	72	72	68	104	61	40	38	33	0.2	-	71	-
10.30	59	63	74	74	70	105	64	41	38	35	0.3	-	61	-
10.45	60	65	77	76	72	108	63	41	39	33	0.8	-	89	-
11.00	63	66	80	77	73	110	63	42	40	37	0.2	691	84	-
11.15	64	69	82	80	75	111	67	43	40	38	0.8	-	89	-
11.30	64	70	84	82	77	116	64	43	41	34	0.7	-	92	-
11.45	64	72	83	83	78	114	64	44	43	35	1.4	-	87	-
12.00	65	73	85	84	79	115	67	45	42	38	0.6	759.4	95	-
12.15	65	72	84	84	78	115	62	45	43	39	1.6	-	99	-
12.30	66	72	88	84	79	115	61	45	43	36	0.4	-	84	-
12.45	64	71	87	84	79	114	57	44	43	36	0.5	-	110	-
13.00	64	69	86	83	77	111	58	45	43	38	0.9	749	77	-
13.15	63	68	86	81	76	110	57	43	43	35	0.9	-	73	-
13.30	61	69	86	79	76	109	54	44	43	37	1.4	-	65	-
13.45	61	65	84	75	74	108	54	43	43	35	0.4	-	38	-
14.00	59	61	81	76	71	103	52	41	42	33	1.5	687.7	31	-
14.15	57	60	81	79	71	101	52	43	43	37	0.6	-	40	-
14.30	57	60	81	83	71	100	52	42	44	38	0.6	-	32	-
14.45	55	58	82	81	69	96	47	41	43	35	0.7	-	28	-
15.00	55	57	75	78	67	91	47	41	42	37	0.3	558.3	23	-
15.15	52	55	72	75	65	88	45	40	41	35	1.3	-	21	-
15.30	50	54	67	70	63	83	46	40	41	35	0.4	-	15	-
15.45	49	52	64	65	61	78	45	39	40	36	0	-	-	-
16.00	48	49	60	58	58	71	43	37	40	36	0.2	355	-	-
16.15	47	47	56	56	55	68	40	36	39	34	0.2	-	-	-
16.30	44	45	51	52	51	61	39	35	37	34	0.1	-	-	-
16.45	42	43	50	50	49	57	38	35	38	35	0.5	-	-	-
17.00	40	41	49	47	46	52	36	34	37	34	0.2	58.8	1,556	900

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,556 cc. ปริมาณเกลือ 900 กรัม

ตารางที่ ก. 2 (ต่อ)

28/11/49 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	27	27	24	26	26	34	33	28	26	27	0.2	186.1	-	-
8.15	31	31	29	30	31	45	42	30	28	26	0.2	-	-	-
8.30	34	34	34	35	35	49	40	30	29	27	0.7	-	-	-
8.45	39	39	35	38	39	56	50	32	29	29	0.4	-	-	-
9.00	43	43	35	43	43	64	50	31	29	29	1.0	306.3	-	-
9.15	47	47	42	50	49	74	55	35	32	28	0.2	-	-	-
9.30	52	52	43	55	54	83	55	34	31	30	1.0	-	40	-
9.45	55	55	55	61	34	91	55	34	32	29	0.9	-	34	-
10.00	57	57	62	64	59	99	54	35	33	31	0.4	571.1	37	-
10.15	63	63	64	69	63	101	56	37	35	31	1.0	-	60	-
10.30	65	65	64	72	66	102	57	37	35	31	0.7	-	62	-
10.45	68	68	71	69	67	107	56	39	37	32	0.7	-	61	-
11.00	70	70	72	77	71	108	61	40	38	36	1.7	687.5	61	-
11.15	73	73	73	80	74	113	59	43	41	38	1.5	-	73	-
11.30	74	74	74	81	75	110	59	43	41	38	0.9	-	72	-
11.45	75	75	76	82	76	112	60	44	42	38	1.3	-	82	-
12.00	74	74	76	80	75	110	61	43	41	39	0.8	739.4	72	-
12.15	73	73	80	82	77	113	63	45	42	39	0.1	-	77	-
12.30	72	73	80	82	77	113	62	44	43	38	0.3	-	85	-
12.45	74	75	82	83	77	114	62	46	44	37	0.2	-	86	-
13.00	73	73	83	82	74	112	59	44	43	35	0.6	742.7	71	-
13.15	71	71	85	81	74	116	61	46	45	38	1.4	-	66	-
13.30	71	71	80	81	73	112	57	45	45	38	0.7	-	67	-
13.45	68	69	82	80	71	109	54	44	45	38	0.8	-	53	-
14.00	68	68	78	78	69	108	57	46	45	40	0.6	676.9	45	-
14.15	67	68	80	77	69	106	53	45	45	41	1.8	-	38	-
14.30	66	67	74	76	67	99	52	43	44	38	1.8	-	36	-
14.45	64	64	73	74	66	96	52	43	43	38	0.7	-	30	-
15.00	62	62	67	71	65	91	44	43	43	36	0.6	557.5	28	-
15.15	59	59	66	68	61	87	46	41	41	37	1.6	-	28	-
15.30	57	58	59	65	59	83	46	40	41	35	0.4	-	24	-
15.45	54	54	60	62	57	79	43	40	40	37	0.5	-	34	-
16.00	51	51	60	58	54	74	42	38	40	35	0.9	374.1	20	-
16.15	48	49	54	54	50	66	42	38	39	36	0.2	-	31	-
16.30	45	45	53	51	48	61	39	36	38	35	0.2	-	-	-
16.45	43	43	50	48	45	55	38	35	37	34	0.8	-	-	-
17.00	41	41	49	45	43	51	36	34	37	33	0	144.7	1,473	830

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,473 cc. ปริมาณเกลือ 830 กรัม

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

29/11/49 Time	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	28	27	28	29	26	33	33	29	27	26	0.2	109.1	-	-
8.15	30	30	30	28	28	40	44	29	27	28	0	-	-	-
8.30	36	34	35	32	36	52	47	32	30	30	0.6	-	-	-
8.45	40	38	43	40	40	58	46	33	30	30	0.9	-	-	-
9.00	43	42	46	44	44	65	52	35	32	31	0.7	388.6	-	-
9.15	43	42	51	46	47	78	50	35	33	30	0.6	-	-	-
9.30	52	51	57	54	54	84	57	38	36	32	1.0	-	32	-
9.45	52	51	64	59	57	81	42	37	36	31	0.2	-	37	-
10.00	50	50	64	60	56	78	46	38	35	32	0.8	608.3	39	-
10.15	56	56	64	63	59	91	54	39	37	33	0.6	-	42	-
10.30	59	58	66	66	61	93	60	38	36	32	0.3	-	44	-
10.45	62	59	73	70	65	101	57	39	38	34	1.4	-	67	-
11.00	64	62	76	73	66	103	57	40	38	33	1.2	698.0	69	-
11.15	68	65	79	77	70	107	62	42	39	35	0.7	-	75	-
11.30	71	68	83	80	74	108	62	42	41	37	0.7	-	70	-
11.45	69	66	82	80	73	104	60	43	41	33	0.6	-	69	-
12.00	69	69	82	79	72	97	49	42	42	34	1.0	673.3	59	-
12.15	60	58	76	71	64	79	47	38	39	32	1.0	-	52	-
12.30	60	58	72	70	62	84	46	39	39	33	0.2	-	41	-
12.45	55	54	69	64	59	67	39	38	37	35	0.2	-	30	-
13.00	51	50	62	58	54	62	38	34	37	34	0.4	204.4	25	-
13.15	49	46	59	56	52	61	34	38	36	33	0.9	-	-	-
13.30	47	45	58	55	51	59	39	37	36	33	0.2	-	36	-
13.45	45	42	52	51	46	59	32	37	34	32	0.6	-	28	-
14.00	54	53	64	63	55	80	37	40	39	35	0.4	420.2	51	-
14.15	57	56	69	67	59	86	38	47	40	38	1.1	-	29	-
14.30	58	58	71	68	62	85	38	41	40	35	0.4	-	34	-
14.45	60	55	74	69	61	86	39	43	41	37	0.6	-	36	-
15.00	59	59	71	69	61	82	43	37	40	34	0.9	536.9	33	-
15.15	58	53	64	66	58	79	45	35	40	34	0.7	-	15	-
15.30	56	56	67	65	58	78	46	36	40	36	0.6	-	48	-
15.45	55	55	66	64	58	76	45	38	41	36	0.2	-	17	-
16.00	53	53	51	62	60	70	43	39	40	35	0.6	350.5	35	-
16.15	50	50	57	56	53	64	41	38	38	34	0.2	-	-	-
16.30	48	47	56	54	51	59	39	36	38	34	0.4	-	-	-
16.45	44	44	51	50	48	54	35	35	37	34	0.4	-	-	-
17.00	43	42	51	49	46	51	35	34	37	33	0.4	36.1	1,113	560

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,113 cc. ปริมาณเกลือ 560 กรัม

ตารางที่ ก. 2 (ต่อ)

30/11/49 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	30	29	31	29	29	38	37	30	28	27	1.0	173.0	-	-
8.15	33	32	32	31	32	45	44	30	28	28	0.9	-	-	-
8.30	36	35	33	34	36	50	47	32	30	28	0.8	-	-	-
8.45	39	38	37	38	40	58	51	33	31	30	0.9	-	-	-
9.00	43	43	43	43	45	66	47	39	31	29	0.8	370.5	-	-
9.15	47	47	49	49	49	75	50	34	32	31	1.3	-	5	-
9.30	50	51	53	54	53	81	54	34	33	31	0.7	-	46	-
9.45	53	55	55	60	58	88	57	35	34	31	1.2	-	38	-
10.00	57	57	59	65	60	91	57	35	34	31	1.0	569.1	50	-
10.15	58	58	65	69	64	97	58	38	36	32	1.0	-	66	-
10.30	61	63	68	72	67	100	60	39	38	33	0.6	-	68	-
10.45	63	65	68	75	69	103	62	40	38	37	1.0	-	74	-
11.00	65	66	71	78	71	106	62	39	37	34	1.4	681.3	81	-
11.15	70	70	78	80	74	110	64	43	40	35	1.2	-	87	-
11.30	71	72	79	82	76	112	64	42	42	37	0.4	-	87	-
11.45	72	70	80	80	74	111	56	41	39	35	0.9	-	73	-
12.00	71	74	84	84	79	114	59	45	42	38	0.6	735.5	90	-
12.15	67	70	86	81	76	105	54	44	41	37	0.4	-	88	-
12.30	67	68	80	79	73	105	58	44	42	37	0.7	-	73	-
12.45	70	71	82	82	76	110	58	44	43	37	1.2	-	87	-
13.00	62	71	84	83	77	114	59	45	44	37	1.0	723.6	80	-
13.15	66	71	85	81	77	105	49	44	44	35	1.0	-	83	-
13.30	66	67	78	78	73	101	55	44	43	37	0.7	-	68	-
13.45	67	66	82	77	73	107	57	45	43	35	0.5	-	58	-
14.00	68	68	80	79	74	106	51	44	45	38	0.8	678.6	50	-
14.15	68	67	79	77	73	102	53	43	44	34	0.6	-	47	-
14.30	64	66	79	77	72	101	52	43	43	37	1.1	-	42	-
14.45	60	65	78	77	71	100	51	44	44	37	0.5	-	36	-
15.00	54	62	74	76	69	95	42	43	43	34	0.7	546.6	22	-
15.15	58	59	70	74	65	89	37	41	42	37	0.6	-	14	-
15.30	57	55	67	71	63	84	37	40	42	35	0.6	-	22	-
15.45	53	54	64	66	60	80	44	40	41	35	0.6	-	25	-
16.00	46	50	62	61	58	74	40	37	40	34	0.4	357.2	15	-
16.15	45	46	56	55	53	64	40	37	38	34	0.6	-	-	-
16.30	45	44	53	52	50	60	39	36	38	35	0.7	-	-	-
16.45	41	41	50	49	47	55	37	35	37	34	0.7	-	-	-
17.00	39	39	48	46	44	50	35	34	36	33	0	145.2	1,575	940

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,575 cc. ปริมาณเกลือ 940 กรัม

ตารางที่ ก. 2 (ต่อ)

1/12/49 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	26	26	26	26	26	31	29	27	26	25	0	173.0	-	-
8.15	30	29	27	29	29	38	37	30	28	26	0.2	-	-	-
8.30	33	32	33	34	32	41	40	31	28	26	0.4	-	-	-
8.45	35	35	28	38	35	46	43	32	29	27	0.6	-	-	-
9.00	38	38	39	44	41	53	36	34	31	28	0.4	370.5	-	-
9.15	39	40	41	46	43	62	50	34	31	30	0.7	-	-	-
9.30	47	45	44	51	49	75	54	35	33	31	1.4	-	29	-
9.45	46	53	49	57	55	84	56	37	35	31	0.8	-	28	-
10.00	55	54	54	62	58	88	58	36	35	30	0.5	569.1	40	-
10.15	58	57	58	66	61	94	57	36	35	30	0.7	-	55	-
10.30	55	63	62	69	64	97	57	37	36	31	1.0	-	66	-
10.45	63	62	65	73	67	101	58	38	36	32	0.7	-	84	-
11.00	56	64	68	76	70	102	59	37	38	30	0.6	681.3	87	-
11.15	59	65	75	76	72	97	47	41	39	32	0.8	-	72	-
11.30	55	67	72	76	69	101	62	40	39	31	0.7	-	72	-
11.45	55	68	75	79	72	101	57	41	39	33	1.8	-	73	-
12.00	62	65	72	76	71	98	61	40	40	32	1.4	735.5	73	-
12.15	55	65	73	76	70	93	55	40	39	32	0.7	-	79	-
12.30	61	60	70	74	67	94	52	38	37	32	0.6	-	70	-
12.45	64	64	77	78	72	108	58	43	41	45	1.1	-	79	-
13.00	61	67	80	81	76	108	54	43	42	36	1.1	723.6	80	-
13.15	65	66	81	82	76	104	58	42	41	36	0.6	-	89	-
13.30	66	66	81	82	75	104	55	41	41	34	1.6	-	67	-
13.45	59	69	78	80	76	103	52	44	42	35	0.6	-	74	-
14.00	63	67	78	79	74	101	48	42	42	34	0.9	678.6	67	-
14.15	58	65	75	77	73	98	53	42	43	35	0.6	-	51	-
14.30	57	63	74	76	72	97	53	43	43	34	0.7	-	41	-
14.45	55	63	75	76	71	96	54	43	43	34	0.4	-	37	-
15.00	57	60	73	75	69	92	43	42	43	34	0.8	546.6	30	-
15.15	56	57	73	75	66	88	45	41	41	34	0.8	-	24	-
15.30	51	55	71	73	64	85	46	40	42	36	0.4	-	23	-
15.45	50	53	65	67	60	79	44	39	41	34	0.7	-	26	-
16.00	48	51	60	61	57	73	42	37	40	34	0.7	357.2	17	-
16.15	45	48	55	57	54	66	42	37	39	35	0.8	-	18	-
16.30	43	44	51	52	50	60	38	35	37	33	0	-	-	-
16.45	40	42	50	48	47	55	38	35	37	34	0	-	-	-
17.00	40	40	49	46	45	51	35	34	37	32	0	145.2	1,551	880

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,551 cc. ปริมาณเกลือ 880 กรัม

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

2/12/49 Time	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	27	27	23	25	26	34	33	26	25	25	0	166.1	-	-
8.15	28	28	24	26	28	39	41	28	25	26	0	-	-	-
8.30	33	34	29	32	35	48	45	30	28	27	0.9	-	-	-
8.45	35	39	33	37	39	55	49	31	29	28	0.3	-	-	-
9.00	39	43	39	43	45	64	48	33	31	25	0.4	367.5	-	-
9.15	45	46	39	48	48	73	52	28	32	28	0.7	-	3	-
9.30	50	50	38	54	52	56	53	35	34	28	0.4	-	40	-
9.45	55	55	52	51	57	62	56	36	34	28	0.9	-	39	-
10.00	55	56	57	71	64	69	50	36	36	27	0.9	551.6	49	-
10.15	55	55	62	68	68	71	35	37	37	33	0.8	-	59	-
10.30	56	62	61	75	78	84	40	38	37	30	0.7	-	61	-
10.45	58	63	70	77	88	80	44	40	39	30	1.4	-	55	-
11.00	58	65	72	74	87	91	56	38	36	29	0.7	685.8	74	-
11.15	61	67	75	77	69	108	58	40	39	34	1.0	-	73	-
11.30	61	67	74	75	70	106	54	39	40	30	0.7	-	66	-
11.45	58	64	70	74	67	100	58	42	38	32	0.6	-	50	-
12.00	62	66	75	67	66	98	56	40	38	31	0.4	738.6	59	-
12.15	55	61	70	70	65	90	45	39	39	31	0	-	63	-
12.30	53	59	68	67	62	83	44	40	38	32	0.6	-	42	-
12.45	52	57	61	66	59	85	53	42	38	33	0.7	-	42	-
13.00	58	64	61	73	65	99	57	43	40	34	1.3	779.7	46	-
13.15	60	68	70	78	69	106	56	43	42	36	1.9	-	66	-
13.30	61	67	72	77	69	106	56	43	43	36	0.7	-	63	-
13.45	63	70	75	80	71	110	54	43	43	36	0.6	-	54	-
14.00	62	68	77	77	68	108	53	41	43	34	0.4	668.33	51	-
14.15	59	66	73	76	67	104	52	41	43	34	0.8	-	44	-
14.30	57	63	72	74	65	98	51	41	42	37	0.6	-	40	-
14.45	55	61	70	71	61	92	48	42	41	35	0.4	-	46	-
15.00	53	59	62	68	60	87	41	40	41	34	1.0	481.11	39	-
15.15	52	58	59	67	58	84	49	40	40	35	0.4	-	23	-
15.30	51	56	58	64	57	80	46	39	40	35	0.7	-	27	-
15.45	48	53	56	61	55	75	44	38	39	34	0.2	-	23	-
16.00	46	50	55	56	51	71	42	37	38	34	0	375	23	-
16.15	45	49	53	54	49	64	39	36	37	31	0.2	-	-	-
16.30	44	45	51	51	48	60	39	36	37	32	0	-	-	-
16.45	41	43	50	48	48	54	36	35	34	32	0	-	-	-
17.00	38	40	47	45	43	50	34	35	34	31	0	151.38	1,320	810

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,320 cc. ปริมาณเกลือ 810 กรัม

ตารางที่ ก. 3 ข้อมูลการกลั่นน้ำทุกๆ 15 นาที จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ (แบบใช้กระจกรวมแสง)

3/12/49 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	27	27	23	24	26	33	32	26	25	25	0.2	166.1	-	-
8.15	28	28	25	26	28	45	41	28	26	27	0.6	-	-	-
8.30	34	35	27	32	35	61	49	30	27	27	0.4	-	-	-
8.45	37	40	35	38	41	67	52	33	29	30	0.2	-	-	-
9.00	42	46	40	46	48	75	51	33	27	31	0.4	371.1	-	-
9.15	44	51	46	52	52	84	52	33	32	30	0.8	-	34	-
9.30	46	54	53	57	57	92	53	35	33	31	0.2	-	40	-
9.45	51	59	61	63	61	100	59	38	33	35	0.4	-	38	-
10.00	52	62	59	68	65	102	59	38	36	30	0.2	554.1	50	-
10.15	53	64	66	72	68	107	55	38	36	32	1.1	-	70	-
10.30	56	69	72	76	72	115	59	39	38	30	0.2	-	63	-
10.45	61	71	72	79	74	116	60	40	36	39	0.2	-	84	-
11.00	62	73	76	81	76	118	63	41	40	36	0.8	684.1	93	-
11.15	63	74	76	83	77	122	62	41	40	36	0.2	-	88	-
11.30	63	75	80	85	78	123	60	43	40	39	0	-	96	-
11.45	62	75	83	86	79	125	61	42	41	36	0.2	-	110	-
12.00	67	78	84	88	81	125	64	43	42	36	0	652.7	99	-
12.15	68	78	86	88	82	122	61	44	42	39	0.8	-	117	-
12.30	65	76	77	86	80	121	59	42	42	38	0.7	-	94	-
12.45	66	77	77	88	81	117	57	41	42	37	0.4	-	96	-
13.00	64	76	84	84	79	123	53	43	42	35	0.6	758.6	59	-
13.15	63	76	86	85	80	126	58	42	43	38	0.2	-	63	-
13.30	66	75	80	88	79	123	48	44	43	36	0.7	-	65	-
13.45	66	75	81	95	81	121	55	45	45	37	0.2	-	43	-
14.00	64	73	90	102	80	117	53	44	44	37	0.2	692.7	43	-
14.15	64	73	93	102	79	118	51	44	45	35	0	-	30	-
14.30	61	71	89	99	76	112	50	43	43	36	0.2	-	28	-
14.45	63	79	93	98	76	108	51	43	43	38	0.7	-	35	-
15.00	59	68	86	85	74	102	41	43	43	35	0.6	493.8	29	-
15.15	58	65	77	86	71	98	48	41	43	37	0.2	-	22	-
15.30	61	65	79	89	70	96	46	40	42	37	0	-	-	-
15.45	60	64	76	84	69	92	46	39	41	36	0	-	-	-
16.00	56	61	73	75	67	87	41	38	41	35	0.2	383.8	-	-
16.15	53	57	66	67	62	78	40	37	39	35	0	-	-	-
16.30	49	53	62	62	58	71	38	36	38	38	0	-	-	-
16.45	46	48	57	56	52	61	37	35	33	33	0	-	-	-
17.00	42	44	55	51	48	56	35	34	37	32	0	137.7	1,589	1,050

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,589 cc. ปริมาณเกลือ 1,050 กรัม

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

4/12/49 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	26	27	23	25	26	36	36	25	27	25	0.5	150.8	-	-
8.15	28	28	25	27	28	43	41	28	28	27	0.4	-	-	-
8.30	32	32	28	31	32	47	43	29	27	28	0.7	-	-	-
8.45	32	35	34	39	38	58	43	30	29	27	0.7	-	-	-
9.00	37	38	34	44	41	57	47	32	29	29	0.6	288.3	-	-
9.15	40	42	44	49	45	66	52	34	30	28	0.4	-	-	-
9.30	41	47	50	54	51	80	53	35	33	28	0.4	-	10	-
9.45	48	53	55	61	57	90	55	36	34	29	1.3	-	40	-
10.00	51	61	61	68	64	97	59	38	36	30	0.6	414.4	62	-
10.15	54	61	62	70	66	102	53	39	36	33	0	-	68	-
10.30	58	66	71	75	70	111	56	39	38	32	0	-	79	-
10.45	56	69	73	77	72	113	57	39	38	32	0.7	-	91	-
11.00	61	67	74	77	72	112	56	39	38	32	1.6	552.7	63	-
11.15	62	69	75	81	75	112	51	41	39	35	1.1	-	88	-
11.30	61	70	75	82	75	120	52	40	38	34	0.1	-	82	-
11.45	62	71	76	84	75	123	53	41	39	35	0.2	-	96	-
12.00	62	74	76	84	77	120	52	41	38	33	0.5	737.2	115	-
12.15	61	73	76	84	77	121	50	41	39	36	0	-	105	-
12.30	63	73	75	83	77	118	51	42	39	34	0.9	-	106	-
12.45	64	72	73	83	78	118	51	41	39	35	0.5	-	94	-
13.00	65	72	73	82	76	116	54	41	40	36	0.9	737.7	80	-
13.15	64	72	74	82	75	115	51	43	40	36	1.0	-	82	-
13.30	62	72	73	82	76	115	51	41	41	37	0.6	-	80	-
13.45	62	69	72	80	74	111	49	41	40	34	0.8	-	48	-
14.00	70	69	72	81	73	105	51	40	39	34	0.4	674.4	42	-
14.15	67	66	68	77	72	102	49	39	38	34	0.9	-	58	-
14.30	66	66	68	77	69	100	48	39	39	35	1.0	-	38	-
14.45	61	64	66	79	67	95	44	40	39	34	0.7	-	12	-
15.00	50	54	63	73	62	89	37	37	37	32	1.5	540.8	36	-
15.15	47	50	57	65	40	82	39	36	37	33	1.4	-	27	-
15.30	45	49	54	59	55	76	40	35	37	32	0.7	-	21	-
15.45	45	49	54	64	53	71	40	35	36	33	0	-	15	-
16.00	45	49	53	64	53	71	40	36	36	32	0.2	360.1	-	-
16.15	44	48	52	62	51	68	37	35	36	33	0.4	-	-	-
16.30	47	47	51	57	51	64	36	34	35	31	0.7	-	-	-
16.45	45	45	50	54	49	60	35	36	35	33	0	-	-	-
17.00	40	42	48	50	46	55	33	32	33	31	0	160.5	1,638	980

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,638 cc. ปริมาณเกลือ 980 กรัม

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

5/12/49 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	26	26	24	26	26	35	32	25	23	23	0	154.7	-	-
8.15	29	29	26	28	28	40	38	28	24	24	0	-	-	-
8.30	30	30	28	31	31	48	43	28	24	25	0	-	-	-
8.45	36	36	33	36	38	47	50	30	25	27	0.6	-	-	-
9.00	41	40	36	41	34	52	50	31	24	25	0.4	372.5	-	-
9.15	46	45	30	48	49	78	52	33	26	24	0.9	-	-	-
9.30	53	52	38	58	56	85	55	34	26	27	1.2	-	55	-
9.45	56	55	42	64	61	92	51	35	27	28	1.8	-	47	-
10.00	60	60	65	68	64	97	56	36	28	32	0.2	558.0	60	-
10.15	64	64	71	72	67	109	59	37	29	32	0.1	-	50	-
10.30	67	65	76	75	69	112	57	37	30	31	0.6	-	76	-
10.45	70	68	79	77	71	113	60	39	30	34	0.1	-	70	-
11.00	71	68	79	79	73	114	59	40	32	34	0.1	679.1	118	-
11.15	72	69	80	81	75	114	60	41	33	33	0.4	-	120	-
11.30	71	72	81	82	75	116	61	41	33	34	0.7	-	112	-
11.45	71	72	85	83	76	115	60	41	33	35	0.1	-	105	-
12.00	74	73	83	85	77	122	63	41	33	31	0.2	734.7	110	-
12.15	75	73	87	86	78	120	58	40	37	35	0.6	-	112	-
12.30	75	76	89	87	79	121	57	43	39	35	0.8	-	95	-
12.45	75	77	87	86	79	122	54	42	40	36	0	-	96	-
13.00	74	74	88	85	78	119	59	42	41	36	0.2	730.1	70	-
13.15	61	76	92	86	79	122	56	41	38	35	1.0	-	80	-
13.30	75	75	89	85	79	118	58	43	41	35	0.7	-	56	-
13.45	73	74	89	84	78	116	56	42	43	38	0	-	60	-
14.00	74	74	88	86	78	122	54	44	42	34	0.6	666.3	40	-
14.15	71	72	88	92	77	121	49	42	41	31	0.4	-	36	-
14.30	69	69	95	99	76	117	51	43	41	36	0.1	-	45	-
14.45	68	68	94	99	74	111	44	42	40	37	0.2	-	30	-
15.00	66	66	89	93	72	105	40	41	40	35	0.1	548.8	32	-
15.15	62	62	86	90	68	101	40	42	39	33	0	-	36	-
15.30	58	59	77	78	64	86	59	39	38	34	0.4	-	28	-
15.45	53	53	69	69	59	75	38	37	37	33	0.7	-	10	-
16.00	49	49	62	61	54	65	36	36	37	32	0	286.9	-	-
16.15	45	45	56	55	49	59	35	36	35	32	0	-	-	-
16.30	42	42	51	50	46	54	34	34	35	31	0	-	-	-
16.45	38	38	48	48	40	52	34	34	35	30	0.2	-	-	-
17.00	35	35	44	44	39	47	34	34	35	29	0.5	80.2	1,749	1,060

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,749 cc. ปริมาณเกลือ 1,060 กรัม

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

6/12/49 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	26	26	29	27	25	32	32	28	27	26	0.6	65.1	-	-
8.15	30	31	31	32	30	42	37	31	28	30	0.5	-	-	-
8.30	33	34	34	37	34	49	35	30	28	31	0	-	-	-
8.45	34	35	37	41	37	49	34	31	30	33	0	-	-	-
9.00	36	37	38	43	38	51	36	32	30	34	0.4	236.9	-	-
9.15	38	40	41	48	40	53	37	32	30	34	0.2	-	-	-
9.30	39	42	44	52	43	55	37	33	31	35	0	-	-	-
9.45	40	43	47	52	44	58	38	34	31	37	0	-	28	-
10.00	38	44	32	53	46	59	37	35	32	37	0.2	378.3	21	-
10.15	40	43	50	53	44	56	37	34	31	34	0.4	-	29	-
10.30	45	44	53	56	48	60	36	36	32	36	0.6	-	68	-
10.45	50	54	62	64	56	80	46	38	35	39	0.7	-	49	-
11.00	47	56	58	65	57	78	47	39	35	32	0.8	419.7	40	-
11.15	52	57	65	70	62	93	53	39	35	42	1.0	-	54	-
11.30	51	59	67	71	63	92	52	39	34	43	0.7	-	54	-
11.45	52	58	65	72	63	100	45	36	32	39	0.9	-	95	-
12.00	64	63	67	76	67	105	52	38	33	42	0.3	682.2	86	-
12.15	65	64	62	76	69	103	54	40	35	44	0.4	-	81	-
12.30	62	65	75	75	69	99	51	41	36	36	0.6	-	44	-
12.45	60	64	71	75	68	102	58	43	35	44	1.8	-	66	-
13.00	62	67	76	77	70	99	53	41	35	45	0.8	677.7	62	-
13.15	57	65	73	74	68	95	49	41	36	45	1.1	-	54	-
13.30	62	63	71	72	66	92	46	37	36	44	0.8	-	53	-
13.45	52	59	68	69	63	88	48	40	36	42	0.6	-	59	-
14.00	52	57	68	69	62	88	48	41	37	45	1.9	621.1	38	-
14.15	55	55	59	65	61	85	46	35	34	41	1.5	-	46	-
14.30	50	53	58	62	58	76	41	38	36	41	0.7	-	28	-
14.45	51	50	55	60	56	70	42	38	36	41	0.7	-	27	-
15.00	46	49	51	58	54	67	40	35	36	40	0.3	515.8	5	-
15.15	45	48	49	55	52	62	38	38	36	39	1.1	-	36	-
15.30	43	46	49	54	51	58	37	37	36	37	0.7	-	23	-
15.45	40	43	45	50	48	55	35	35	33	36	1.3	-	10	-
16.00	39	41	44	48	46	52	34	36	35	34	0.8	219.7	5	-
16.15	39	39	43	47	44	49	34	33	33	32	0.4	-	-	-
16.30	38	38	42	45	43	46	33	33	33	34	0.8	-	-	-
16.45	37	37	41	43	41	45	33	33	33	34	1.5	-	-	-
17.00	35	35	37	40	37	42	32	32	32	33	0.4	71.3	1,161	560

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,161 cc. ปริมาณเกลือ 560 กรัม

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

7/12/49 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	27	27	25	27	28	36	31	27	25	27	0	146.6	-	-
8.15	31	31	30	28	31	46	36	31	28	29	0	-	-	-
8.30	33	33	34	30	34	51	40	32	29	31	0	-	-	-
8.45	40	41	39	37	44	64	45	34	31	30	0.4	-	-	-
9.00	44	43	39	40	47	69	57	36	32	29	0.4	346.6	-	-
9.15	46	47	41	46	51	77	52	36	33	32	0.8	-	-	-
9.30	45	53	43	53	55	84	57	37	33	31	0	-	59	-
9.45	52	57	56	59	60	90	58	37	34	31	0.6	-	37	-
10.00	43	55	58	64	62	103	56	39	36	30	0.7	502.5	54	-
10.15	52	62	61	72	67	105	59	40	37	31	0.5	-	102	-
10.30	56	65	62	74	69	109	59	40	38	30	1.0	-	55	-
10.45	58	66	71	75	70	112	56	39	39	30	1.3	-	68	-
11.00	60	67	72	76	74	113	58	39	39	32	0.7	641.3	86	-
11.15	56	67	74	79	74	114	58	43	40	36	1.5	-	87	-
11.30	59	66	73	77	72	117	59	43	40	39	1.7	-	38	-
11.45	70	71	75	81	75	113	55	43	41	40	1.9	-	74	-
12.00	57	71	75	81	76	112	61	45	42	40	1.7	711.9	72	-
12.15	57	71	72	80	75	115	64	45	42	40	1.9	-	74	-
12.30	59	69	72	80	76	111	56	43	43	39	1.4	-	74	-
12.45	66	66	68	76	70	95	50	41	39	37	1.3	-	72	-
13.00	58	65	64	73	68	91	45	41	41	38	0.6	670.5	45	-
13.15	57	57	61	66	62	76	41	39	39	33	1.1	-	38	-
13.30	48	53	55	63	58	73	41	40	38	36	0.5	-	35	-
13.45	52	49	52	61	56	78	52	40	39	35	0.6	-	37	-
14.00	53	50	51	60	56	87	52	41	38	38	0.1	620.2	28	-
14.15	54	52	51	60	56	70	56	42	38	39	0.9	-	27	-
14.30	53	53	50	60	57	69	49	40	39	39	0.5	-	27	-
14.45	51	49	50	58	55	68	40	37	38	38	0.7	-	3	-
15.00	48	48	49	55	52	65	39	40	38	36	0.4	547.2	33	-
15.15	51	51	48	57	53	69	40	38	37	35	0	-	15	-
15.30	52	53	50	60	55	71	40	38	38	39	0.5	-	8	-
15.45	50	51	51	62	53	67	48	39	38	34	0.4	-	31	-
16.00	50	50	48	57	58	69	41	37	37	35	0.2	349.1	7	-
16.15	45	49	48	56	53	65	39	37	38	33	0.6	-	30	-
16.30	46	46	49	59	50	59	36	35	37	35	0.1	-	25	-
16.45	44	43	48	50	47	59	37	35	35	35	0	-	-	-
17.00	42	43	47	50	46	56	34	35	36	34	0	131.1	1,341	690

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,341 cc. ปริมาณเกลือ 690 กรัม

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

8/12/49 Time	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	24	24	26	25	25	27	27	27	25	25	0.6	80.5	-	-
8.15	29	29	27	30	29	29	29	30	28	26	0.2	-	-	-
8.30	34	34	31	39	33	35	32	30	29	28	0.4	-	-	-
8.45	35	36	32	40	37	39	35	31	30	28	0.7	-	-	-
9.00	38	36	37	42	38	35	35	31	30	26	0.3	199.7	-	-
9.15	37	37	38	40	39	60	49	33	30	26	0.9	-	-	-
9.30	45	46	40	40	47	75	49	35	32	29	0.9	-	-	-
9.45	49	43	46	53	51	83	55	34	32	30	1.4	-	11	-
10.00	52	53	54	60	57	91	53	35	33	30	0.6	525.8	42	-
10.15	57	54	59	64	62	91	51	36	33	31	1.8	-	44	-
10.30	54	56	65	67	61	84	45	37	36	31	1.2	-	43	-
10.45	55	51	64	62	55	77	43	36	32	26	0.8	-	50	-
11.00	47	56	64	65	59	89	50	36	35	32	1.4	582.7	31	-
11.15	62	67	65	67	61	104	57	34	33	30	0.8	-	41	-
11.30	65	63	69	72	65	107	56	34	35	31	1.8	-	61	-
11.45	61	65	74	77	71	108	61	37	36	31	1.3	-	86	-
12.00	73	74	77	81	75	113	61	42	39	33	1.5	682.5	95	-
12.15	56	71	81	81	75	100	45	39	39	33	0.9	-	93	-
12.30	58	69	78	80	72	103	53	40	38	32	1.0	-	41	-
12.45	66	66	77	75	70	90	42	39	39	32	0.5	-	58	-
13.00	60	63	70	70	64	88	44	39	38	32	0.7	753.6	38	-
13.15	54	58	67	70	66	91	52	42	38	36	0.9	-	40	-
13.30	56	67	71	77	69	101	59	44	41	35	0.6	-	50	-
13.45	60	68	75	80	72	104	51	41	41	35	1.4	-	51	-
14.00	58	67	75	79	71	98	50	42	40	34	0.8	538.6	63	-
14.15	58	68	75	79	71	97	51	40	39	34	0.6	-	43	-
14.30	69	67	72	77	70	96	49	40	40	35	0.6	-	48	-
14.45	56	67	75	77	70	94	45	40	40	35	0.4	-	31	-
15.00	62	64	72	78	67	91	40	36	39	33	0.9	558.8	43	-
15.15	58	61	70	72	65	87	45	35	39	34	0.7	-	35	-
15.30	60	59	68	70	64	83	44	39	39	37	0.6	-	28	-
15.45	51	55	65	66	62	80	45	38	39	35	0.9	-	30	-
16.00	51	54	64	64	59	74	42	39	39	34	1.2	340.8	-	-
16.15	48	50	60	58	55	65	40	36	37	35	0.4	-	35	-
16.30	47	48	57	59	53	65	40	35	37	33	0.7	-	22	-
16.45	43	45	55	51	51	60	38	36	37	33	0	-	-	-
17.00	40	41	52	48	47	54	36	35	36	32	0.2	147.2	1,252	770

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,252 cc. ปริมาณเกลือ 770 กรัม

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

9/12/49 / *Time*	T_{go} °C	T_{go} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{go} °C	T_{go} °C	T_{go} °C	T_{go} °C	T_{go} °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	26	27	23	25	26	36	36	25	27	25	0.5	150.2	-	-
8.15	29	29	27	29	29	38	35	28	28	25	0.7	-	-	-
8.30	35	34	29	33	36	52	40	30	28	28	0	-	-	-
8.45	42	43	33	39	42	63	44	30	28	28	0.2	-	-	-
9.00	45	46	42	47	47	73	49	33	31	28	0.8	351.6	-	-
9.15	48	49	47	53	52	79	52	33	31	29	0.4	-	20	-
9.30	53	54	52	58	56	86	55	32	32	29	0.6	-	38	-
9.45	56	57	58	63	60	91	61	38	34	32	0.7	-	30	-
10.00	59	61	62	68	64	95	61	37	35	30	0.8	531.3	48	-
10.15	62	63	67	72	67	103	63	38	35	35	0.8	-	51	-
10.30	65	66	69	76	70	107	64	39	36	32	0.3	-	56	-
10.45	68	70	73	80	72	111	67	40	38	35	0.9	-	62	-
11.00	68	69	75	80	73	112	65	40	38	34	0.4	653.0	68	-
11.15	70	71	76	83	75	114	65	41	39	36	0.7	-	70	-
11.30	71	74	78	84	76	116	67	42	40	33	0.6	-	60	-
11.45	65	71	78	82	74	108	63	42	39	36	0.6	-	63	-
12.00	67	74	78	84	76	120	63	41	40	36	0.4	738.0	64	-
12.15	67	75	79	85	77	121	63	44	42	36	0.4	-	58	-
12.30	63	70	79	81	74	104	55	43	41	36	0.7	-	63	-
12.45	66	71	78	83	75	112	57	44	43	37	0.8	-	53	-
13.00	64	73	78	83	75	111	62	45	42	37	0.6	720.2	51	-
13.15	66	72	78	84	76	114	57	43	42	37	1.1	-	48	-
13.30	67	74	79	84	76	118	57	42	41	36	0.6	-	45	-
13.45	64	73	78	84	75	117	59	44	43	37	0	-	36	-
14.00	63	74	79	84	75	113	56	43	42	35	0.5	625.1	38	-
14.15	61	71	78	83	74	108	56	44	42	37	0.4	-	40	-
14.30	59	70	76	83	73	106	53	43	42	34	0	-	29	-
14.45	59	67	75	80	72	101	52	42	41	34	0.3	-	33	-
15.00	57	65	72	75	69	96	45	41	40	34	0	480.2	29	-
15.15	55	62	69	73	66	91	48	41	38	32	0.8	-	22	-
15.30	55	62	67	74	65	89	47	40	41	34	0.2	-	-	-
15.45	53	60	65	73	63	85	46	40	40	33	0	-	29	-
16.00	51	56	63	71	61	79	43	38	39	35	0.2	366.1	-	-
16.15	49	54	61	67	58	72	42	37	38	34	0	-	28	-
16.30	48	50	57	62	55	66	38	38	37	33	0	-	-	-
16.45	46	48	54	60	52	61	37	35	36	33	0	-	-	-
17.00	44	44	52	49	50	58	36	35	35	33	0.2	168.8	1,232	710

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 3,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,232 cc. ปริมาณเกลือ 710 กรัม

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการกลั่นน้ำทุกๆ 15 นาที จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ (แบบใช้กระจกรวมแสง)

25/1/50 Time	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	25	25	24	24	24	44	30	28	26	24	0	141.1	-	-
8.15	27	27	24	26	26	53	34	30	26	25	0	-	-	-
8.30	29	29	25	29	29	58	39	31	27	26	0.2	-	-	-
8.45	32	32	25	31	32	63	44	32	28	28	0.7	-	-	-
9.00	35	35	26	33	34	65	44	32	28	27	0.3	344.7	-	-
9.15	37	37	27	35	36	68	45	33	27	27	0.4	-	-	-
9.30	39	39	28	38	39	71	45	33	27	27	0.4	-	-	-
9.45	45	45	34	47	47	81	42	32	29	23	0.8	-	31	-
10.00	50	51	42	52	52	84	45	32	28	25	0.4	523.8	41	-
10.15	55	55	49	58	56	90	53	28	29	27	0.7	-	51	-
10.30	57	59	56	64	61	95	49	33	29	23	1.0	-	95	-
10.45	61	63	63	71	65	98	49	36	30	26	0.4	-	70	-
11.00	64	65	66	65	68	108	49	34	31	28	0.9	658.3	92	-
11.15	68	69	70	77	72	110	55	39	32	30	0.6	-	105	-
11.30	70	72	74	79	73	108	51	39	32	29	0.4	-	110	-
11.45	72	73	76	82	75	109	52	40	34	31	0.4	-	111	-
12.00	72	73	77	82	76	117	50	38	32	29	1.0	718.8	115	-
12.15	71	73	77	81	76	116	51	37	33	28	0.7	-	96	-
12.30	72	74	77	83	76	115	52	39	35	28	0.4	-	100	-
12.45	73	74	78	83	76	116	54	38	34	32	1.6	-	99	-
13.00	74	75	79	84	79	117	54	39	35	30	0.4	709.7	80	-
13.15	75	76	82	85	79	113	50	39	34	31	0.2	-	96	-
13.30	73	75	81	86	80	111	49	38	35	29	0.7	-	48	-
13.45	73	75	81	84	79	108	49	41	37	32	0.9	-	80	-
14.00	70	72	72	81	77	102	48	41	37	32	0.8	685.8	90	-
14.15	69	70	76	79	75	99	48	36	33	28	0.4	-	40	-
14.30	70	72	76	80	77	103	47	33	36	29	0.4	-	38	-
14.45	68	69	72	75	75	97	44	37	33	30	1.5	-	42	-
15.00	64	65	71	74	71	91	43	37	30	31	0.8	466.6	45	-
15.15	61	63	69	72	68	85	43	36	32	30	0.4	-	32	-
15.30	60	61	67	70	66	81	40	35	31	30	0.5	-	36	-
15.45	59	59	65	68	65	81	40	36	32	31	0.6	-	34	-
16.00	55	56	63	65	62	75	38	35	31	29	0.7	370.8	24	-
16.15	53	50	59	62	60	72	37	34	31	31	0.7	-	20	-
16.30	50	50	55	59	57	67	36	35	30	28	0.4	-	-	-
16.45	47	47	50	52	51	60	35	34	30	27	0.5	-	-	-
17.00	45	45	49	48	47	54	34	33	30	27	0.2	157.5	1,821	930

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 4,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,821 cc. ปริมาณเกลือ 930 กรัม

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

29/1/50 *Time*	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m^2	$m*$ L/m^2	เกลือ/ กรัม
8.00	25	25	21	24	26	49	33	26	22	20	0.4	142.3	-	-
8.15	28	27	22	25	28	53	34	27	23	20	0.6	-	-	-
8.30	29	30	23	27	30	53	30	28	23	20	0.5	-	-	-
8.45	34	35	26	31	34	61	31	28	24	22	0.4	-	-	-
9.00	39	40	30	39	40	69	35	28	24	23	0.4	321.2	-	-
9.15	44	43	33	40	42	80	38	30	27	20	1.0	-	-	-
9.30	48	49	44	51	48	84	38	32	28	24	0.6	-	-	-
9.45	48	50	47	59	51	89	42	33	28	25	0.1	-	20	-
10.00	53	54	54	59	55	92	43	32	29	25	0.6	557.4	29	-
10.15	56	57	58	65	58	94	46	35	30	24	0.6	-	40	-
10.30	61	64	64	68	64	106	43	34	30	26	1.2	-	45	-
10.45	65	66	68	75	68	106	46	36	31	33	0.4	-	58	-
11.00	67	69	71	79	72	109	43	35	33	32	0.2	687.7	73	-
11.15	67	69	72	78	71	111	44	37	32	30	0.2	-	121	-
11.30	71	73	77	82	74	115	49	39	34	32	1.2	-	93	-
11.45	72	74	76	83	75	113	48	39	35	30	0.5	-	123	-
12.00	72	74	79	81	73	106	40	36	32	30	0.2	732.3	100	-
12.15	71	73	79	81	73	107	37	38	32	24	1.0	-	140	-
12.30	70	72	78	80	74	108	38	37	32	27	1.3	-	114	-
12.45	73	74	79	83	74	105	42	36	32	30	1.4	-	136	-
13.00	69	72	77	80	75	103	41	35	32	24	0.3	703.6	107	-
13.15	72	73	76	81	74	105	39	36	34	25	0.5	-	109	-
13.30	70	72	77	82	75	104	38	35	38	29	0.3	-	76	-
13.45	70	71	75	79	74	100	37	35	33	26	0.8	-	84	-
14.00	66	67	72	75	70	92	36	36	38	23	0.4	675.7	70	-
14.15	63	64	69	72	68	88	36	33	38	26	1.0	-	80	-
14.30	61	62	67	70	66	84	37	33	38	29	0	-	76	-
14.45	59	60	66	69	64	83	36	33	33	33	0.5	-	67	-
15.00	55	56	63	65	61	77	34	33	33	28	0.7	549.3	47	-
15.15	52	58	60	62	59	74	34	33	34	28	0.5	-	30	-
15.30	50	50	58	59	56	70	33	32	32	27	0.4	-	26	-
15.45	48	48	56	57	54	68	33	32	32	27	0.3	-	27	-
16.00	46	46	54	53	50	65	33	32	32	26	0.2	293.4	20	-
16.15	44	44	51	50	48	63	32	32	32	26	0.5	-	-	-
16.30	42	42	49	48	47	60	32	31	30	25	0.3	-	-	-
16.45	41	41	47	46	45	57	31	31	30	25	0.4	-	-	-
17.00	40	40	46	45	44	54	30	30	30	25	0.3	94.2	1,911	950

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 4,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,911 cc. ปริมาณเกลือ 950 กรัม

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

31/1/50 Time	T_{go} °C	T_{gi} °C	T_w °C	T_p °C	T_{si} °C	T_{ni} °C	T_{so} °C	T_{no} °C	T_b °C	T_a °C	V m/s	G W/m	$m*$ L/m^2	เกลือ/กรัม
8.00	24	24	22	24	26	43	30	26	23	21	0.4	58.3	-	-
8.15	31	32	23	26	29	50	34	28	25	21	0.4	-	-	-
8.30	33	33	25	28	32	56	35	29	26	24	0.5	-	-	-
8.45	36	36	27	30	35	61	36	31	27	26	0.6	-	-	-
9.00	38	38	30	35	38	63	35	30	27	24	0.4	245.5	-	-
9.15	40	41	34	39	42	66	35	29	28	22	0.2	-	-	-
9.30	46	47	43	48	47	78	41	34	29	21	0.3	-	-	-
9.45	50	51	49	53	51	83	44	34	30	27	0.1	-	29	-
10.00	54	55	54	57	56	81	44	35	32	25	0.6	481.9	49	-
10.15	55	56	57	59	58	81	43	32	30	25	1.5	-	39	-
10.30	58	58	62	62	60	64	43	32	29	32	0.8	-	55	-
10.45	60	61	64	64	63	72	45	34	31	25	1.6	-	49	-
11.00	62	62	70	71	64	82	48	35	32	26	0.8	564.7	52	-
11.15	60	65	73	75	66	76	46	37	34	27	1.4	-	78	-
11.30	65	65	73	76	66	72	46	36	33	26	1.1	-	52	-
11.45	65	65	74	74	64	73	42	35	33	24	1.6	-	55	-
12.00	65	65	72	75	66	80	45	36	34	23	0.9	614.1	93	-
12.15	64	66	72	75	67	84	42	36	34	24	1.2	-	53	-
12.30	64	64	71	74	65	90	46	35	36	24	0.8	-	59	-
12.45	64	61	69	73	64	90	38	36	35	25	0.9	-	85	-
13.00	69	69	76	78	70	100	48	35	37	31	0.6	700.8	40	-
13.15	69	70	78	79	71	94	43	38	37	28	1.5	-	45	-
13.30	68	69	78	79	76	91	41	38	36	27	0.2	-	55	-
13.45	68	70	79	77	71	91	41	37	37	26	0.6	-	68	-
14.00	65	66	77	76	68	81	41	35	30	29	0.9	521.9	60	-
14.15	63	64	75	75	67	79	42	37	37	30	1.7	-	45	-
14.30	61	62	72	73	64	83	40	37	37	28	0.9	-	31	-
14.45	56	57	67	68	60	78	37	35	35	28	0.7	-	33	-
15.00	57	57	66	68	60	77	37	30	36	28	0.8	407.7	28	-
15.15	55	56	66	65	58	74	35	30	34	27	0.5	-	10	-
15.30	53	54	63	63	57	71	34	34	28	27	1.2	-	17	-
15.45	51	51	60	61	55	68	33	33	28	27	0.4	-	-	-
16.00	49	49	58	59	52	65	32	32	27	26	0.3	202.2	-	-
16.15	47	47	56	57	49	63	31	32	26	25	0.2	-	-	-
16.30	45	45	50	52	47	60	30	31	26	25	0.4	-	-	-
16.45	43	43	49	51	46	57	30	30	25	24	0.3	-	-	-
17.00	42	42	47	49	45	55	29	28	25	24	0.4	105.2	1,180	790

ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ในการทดลอง 4,000 cc. ปริมาณน้ำกลั่น 1,180 cc. ปริมาณเกลือ 790 กรัม

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการคำนวณสมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

ตัวอย่างการคำนวณ สมรรถนะทางความร้อนเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

วันที่ 5 ธันวาคม 2549 เวลา (12.00-13.00)
สถานที่ทำการทดลอง วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ต.โพธิ์ชัย อ.เมือง จ.หนองคาย

ที่ละติจูด (ϕ) = 17.52° เหนือ

ลองติจูด (L_{Local}) = 102.43° เหนือ

ลองติจูด (L_{st}) = 105° เหนือ

มุมเอียงของกระจก (β) = 17° กับแนวระดับ

ค่าการสะท้อนแสงของพื้น (ρ) = 0.2

ค่าความเข้มรังสีรวม (I_t) = 730 W/m²

ค่ารังสีความเข้มรังสีกระจาย (I_d) = 387.77 W/m² × Correction Factor for Diffuse Radiation

$= 387.77 \times 1.210$

= 469.20 W/m²

= 260.8 W/m²

วันที่ทำการทดลอง (n) = 339

อุณหภูมิผิวกระจก (T_g) = 75 °C

(h_{fg}) = 2321.4 kJ/kg °C

จากสมการที่(2.3) $(B) = \frac{360}{365}(n-81)$

$= \frac{360}{365}(339-81)$

= 254.46°

จากสมการที่(2.2) $(E) = 9.87\sin 2B - 7.53\cos B - 1.5\sin B$

$= 9.87\sin(2\times 254.46) - 7.53\cos(254.46) - 1.5\sin(254.46)$

= 8.557 min

จากสมการที่(2.1) $t_{solar\ time} = t_{st} - 4(L_{st} - L_{Local}) + E$

$= 13.00 - 4(105 - 102.43) + 8.5577$

= 12.971 hr.

จากสมการที่(2.4) $\omega = 15\left(t_s - 12\right)$

$= 15\left(12.971 - 12\right)$

$= 14.565°$

จากสมการที่(2.5) $\delta = 23.45\sin\left(360\left(\frac{284+n}{365}\right)\right)$

$= 23.45\sin\left(360\left(\frac{284+339}{365}\right)\right)$

$= -22.592°$

คิดมุม ω ที่ระหว่าง 12.00-13.00 $= \left(\frac{-0.435+14.565}{2}\right)$

$= 7.065°$

จากสมการที่(2.7) $R_b = \frac{\cos\left(\phi-\beta\right)\cos\delta\cos\omega+\sin\left(\phi-\beta\right)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega+\sin\phi\sin\delta}$

$= 1.2084$ W/m²

จากสมการที่(2.9) $R = I_b R_b + I_d\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right)+\rho\left(I_b+I_d\right)\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)$

$= 777.289$ W/m²

อัตราการกลั่นน้ำ$\left(m_e\right)$ = 0.373 L/m²-hr (12.00 - 13.00)

อัตราการกลั่นน้ำ$\left(m_e\right)$ = 1.749 L/m²-hr (8.00 - 17.00)

จากสมการที่(2.21) $q_e = m^*_e A_w h_{fg}$

$= 0.373\times1\times2321.4\times\frac{1000}{3600}$

$= 240.52$ W

จากสมการที่(2.49) $\eta = \frac{\sum\left(m_e h_{fg}\right)}{\left(\alpha\tau\right)H_s A_w}$

$= \frac{240.52\times100}{\left(0.9\times0.86\times777.289\times1\right)}$

$= 39.97\,\%$

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างการคำนวณอัตราพลังงานความร้อน

ตัวอย่างการคำนวณอัตราพลังงานความร้อน

คำนวณ วันที่ 5 ธันวาคม 2549 เวลา 13.00 น.

1. อัตราพลังงานความร้อนที่สะสมโดยน้ำภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ $\left(q_{in,top}\right)$

ค่าอัตรารังสีอาทิตย์บนพื้นราบรายชั่วโมง,	H_s	=	730 W/m²
ค่าการดูดกลืนรังสีของน้ำ	α_w	=	0.96
ค่าการส่งผ่านรังสีของกระจก	τ_g	=	0.86
พื้นที่ผิวของน้ำภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์	A_w	=	1 m²

จากสมการที่ (2.25) $q_{in,top} = \alpha_w \tau_g H_s A_w$

$= 0.96 \times 0.86 \times 730 \times 1$

$= 602.68$ W

2. อัตราการพาความร้อนโดยอากาศภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ $\left(q_c\right)$

อุณหภูมิผิวน้ำ	T_w	=	86 °C
อุณหภูมิผิวกระจก	T_g	=	66.5°C

จากตารางคุณสมบัติของไอน้ำอิ่มตัวหาความดันไอน้ำที่ผิวระเหย $\left(P_w\right)$ และความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ผิวกลั่นตัว $\left(P_g\right)$ ได้

ที่ T_w = 86°C	$\left(P_w\right)$	=	60.292 kPa
ที่ T_g = 66.5°C	$\left(P_g\right)$	=	26.878 kPa

จากสมการที่ (2.28) $h_c = 0.884\left[\left(T_w - T_g + \frac{\left(P_w - P_g\right)\left(T_w + 273\right)}{\left(268.9 - P_w\right)}\right)\right]^{1/3}$

$= 0.884\left[\left(86 - 66.5 + \frac{\left(60.292 - 26.878\right)\left(86 + 273\right)}{\left(268.9 - 60.292\right)}\right)\right]^{1/3}$

$= 3.706$ W/(m².K)

จากสมการที่ (2.27) $q_c = h_c\left(T_w - T_g\right)A_w$

$= 3.706x(86-66.5)x1$

$= 72.26 \quad W$

3. อัตราการพาความร้อนโดยการระเหยภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ $\left(q_e\right)$

จากสมการที่ (2.29) $\left(q_e\right) = 16.273\, h_c\left(P_w - P_g\right)A_w$

$= 16.273x3.706x(60.292-26.878)x1$

$= 2015.122 \quad W$

4. อัตราการแผ่รังสีความร้อนภายในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ $\left(q_r\right)$

ค่าการแผ่รังสีของน้ำ, $\varepsilon_w = 0.96$

ค่า Stafan Boltzman Constant, $\sigma = 5.67\times10^{-8}\ W/\left(m^2.K^4\right)$

จากสมการที่ (2.32) $h_r = \dfrac{\varepsilon_w\sigma\left[\left(T_w+273\right)^4 - \left(T_g+273\right)^4\right]}{\left(T_w - T_g\right)}$

$= \dfrac{0.96\times5.67\times10^{-8}\left[\left(86+273\right)^4 - \left(66.5+273\right)^4\right]}{\left(86-66.5\right)}$

$= 9.282 \quad W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.31) $q_r = h_r\left(T_w - T_g\right)A_w$

$= 9.282x(86-66.5)x1$

$= 181 \quad W$

5. อัตราการสูญเสียความร้อนที่กระจกฝาครอบ $\left(q_{L,top}\right)$

อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, $T_a = 38 \ ^\circ C$

ความเร็วลม, $V = 0.8 \ m/s$

ค่าการแผ่รังสีของกระจก, $\varepsilon_g = 0.88$

พื้นที่ผิวกระจกฝาครอบ, $A_g = 1.044 \ m^2$

จากสมการที่ (2.35) $T_{sky} = 0.0552\left(T_a + 273\right)^{1.5} - 273$

$= 0.0552\left(38 + 273\right)^{1.5} - 273$

$= 29.74 \ ^\circ C$

จากสมการที่ (2.33) $h_{cg} = 2.8 + 3V$

$= 2.8 + 3\left(0.8\right)$

$= 5.2 \ W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.34) $h_{rg} = \dfrac{\varepsilon_w \sigma\left[\left(T_g + 273\right)^4 - \left(T_{sky} + 273\right)^4\right]}{\left(T_g - T_a\right)}$

$= \dfrac{0.88 \times 5.67 \times 10^{-8}\left[\left(66.5 + 273\right)^4 - \left(29.74 + 273\right)^4\right]}{\left(66.5 - 38\right)}$

$= 8.55 \ W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.36) $q_{L,top} = \left[h_{cg}\left(T_g - T_a\right) + h_{rg}\left(T_g - T_a\right)\right]A_g$

$= \left[5.2\left(66.5 - 38\right) + 8.55\left(66.5 - 38\right)\right]1.044$

$= 409.1174 \ W$

6. อัตราการสูญเสียความร้อนที่ฉนวนใต้เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ $\left(q_{L,bottom}\right)$

อุณหภูมิแผ่นดูดรังสี, $T_p = 84 \ ^\circ C$

ความหนาของฉนวน(ใยแก้ว), $L = 0.05 \ m$

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน, k(ใยแก้ว) $= 0.048 \ W/(m.^\circ C)$

ค่าการแผ่รังสีของแผ่นดูดรังสี, $\varepsilon_p = 0.96$

พื้นที่ฉนวนใต้เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์, $A_{in,bottom} = 1 \ m^2$

จากสมการที่ (2.38) $h_{cb} = 2.8 + 3V$

$= 2.8 + 3\left(0.8\right)$

$= 5.2 \ W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.39) $h_{rb} = \dfrac{\varepsilon_w \sigma \left[\left(T_p + 273 \right)^4 - \left(T_a + 273 \right)^4 \right]}{\left(T_p - T_a \right)}$

$= \dfrac{0.96 \times 5.67 \times 10^{-8} \left[\left(84 + 273 \right)^4 - \left(38 + 273 \right)^4 \right]}{\left(84 - 38 \right)}$

$= 8.15 \quad W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.37) $U_{bottom} = \left[\dfrac{L}{k} + \dfrac{1}{\left(h_{cb} + h_{rb} \right)} \right]^{-1}$

$= \left[\dfrac{0.05}{0.048} + \dfrac{1}{\left(5.2 + 8.15 \right)} \right]^{-1}$

$= 0.895 \quad W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.40) $q_{L,bottom} = U_{bottom} \left(T_w - T_a \right) A_{in,bottom}$

$= 0.895 \times \left(86.5 - 38 \right) \times 1$

$= 42.98 \quad W$

7. อัตราการสูญเสียความร้อนที่ฉนวนด้านหน้าเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ $\left(q_{L,bottom} \right)$

อุณหภูมิผนังด้านหน้านอกเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์, $T_{so} = 67$ °C

อุณหภูมิผนังด้านหน้าในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์, $T_{si} = 79$ °C

ความหนาของฉนวน(ใยแก้ว), $L = 0.05$ m

k(ใยแก้ว) $= 0.048$ W/(m.°C)

ค่าการแผ่รังสีของแผ่นสแตนเลส, $\varepsilon_s = 0.21$

พื้นที่ฉนวนด้านหน้าเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์, $A_{in,bottom} = 0.2$ m²

$T_{front} = \dfrac{T_{so} + T_{si}}{2}$

$= \dfrac{67 + 79}{2}$

$= 73$ °C

จากสมการที่ (2.42) $h_{cf} = 2.8 + 3V$

$= 2.8 + 3\left(0.8 \right)$

$= 5.2 \quad W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.43) h_{rf} $= \dfrac{\varepsilon_s \sigma \left[\left(T_{front} + 273 \right)^4 - \left(T_a + 273 \right)^4 \right]}{\left(T_{front} - T_a \right)}$

$= \dfrac{0.21 \times 5.67 \times 10^{-8} \left[\left(73 + 273 \right)^4 - \left(38 + 273 \right)^4 \right]}{\left(73 - 38 \right)}$

$= 1.69 \quad W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.41) U_{front} $= \left[\dfrac{L}{k} + \dfrac{1}{\left(h_{cf} + h_{rf} \right)} \right]^{-1}$

$= \left[\dfrac{0.05}{0.048} + \dfrac{1}{\left(5.2 + 1.69 \right)} \right]^{-1}$

$= 0.84 \quad W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.44) $q_{L,front}$ $= U_{front} \left(T_w - T_a \right) A_{in,front}$

$= 0.895 \times \left(86 - 38 \right) \times 0.2$

$= 8.17 \quad W$

8. อัตราการสูญเสียความร้อนที่ฉนวนด้านหลังเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์ $\left(q_{L,back} \right)$

อุณหภูมิผนังด้านหลังนอกเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์, T_{no} $= 45°C$

อุณหภูมิผนังด้านหลังในเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์, T_{si} $= 111°C$

พื้นที่สแตนเลสด้านหลังเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์, A_{back} $= 0.5 \quad m^2$

$T_{back} = \dfrac{T_{no} + T_{ni}}{2}$

$= \dfrac{45 + 111}{2}$

$= 78 \ °C$

จากสมการที่ (2.45) $h_{c,back} = 2.8 + 3V$

$= 2.8 + 3\left(0.8 \right)$

$= 5.2 \quad W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.46) $h_{r,back}$ $= \dfrac{\varepsilon_s \sigma \left[\left(T_{back} + 273 \right)^4 - \left(T_{sky} + 273 \right)^4 \right]}{\left(T_{back} - T_a \right)}$

$= \dfrac{0.21 \times 5.67 \times 10^{-8} \left[\left(78 + 273 \right)^4 - \left(29.74 + 273 \right)^4 \right]}{\left(78 - 38 \right)}$

$= 2.017 \quad W/(m^2.K)$

จากสมการที่ (2.47) $q_{L,back}$ $= \left[h_{c,back} \left(T_{back} - T_a \right) + h_{r,back} \left(T_{back} - T_a \right) \right] A_{back}$

$= 5.2 \left(78 - 38 \right) + 2.017 \left(78 - 38 \right) 0.5$

$= 144.35 \quad W$

ภาคผนวก ง.

การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์

1. การวิเคราะห์ต้นทุนรายปี

ตัวอย่างการวิเคราะห์

ข้อมูลเบื้องต้นทางเศรษฐกิจ เป็นราคาที่ประเมินในปี พ.ศ.2549 รายละเอียด ต่างๆ ประกอบด้วยดังนี้

1. ราคาต้นทุนในการสร้างเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

แผ่นสแตนเลสขนาด 1x1 เมตร (2 แผ่น) รวมค่าแรงพับขึ้นรูป	6500	บาท
แผ่นสังกะสีขนาด 4 x 8 ฟุต (5 แผ่น)	600	บาท
รางน้ำสแตนเลสขนาด 6 x 95 ซม. รวมค่าแรงพับขึ้นรูป	300	บาท
กระจกพร้อมกรอบขนาด 3 มม. (แบบเปิด- ปิดได้) รวมค่าแรง	1800	บาท
กระจกรวมแสงพร้อมกรอบจำนวน (2 บาน) รวมค่าแรง	1500	บาท
ฉนวนใยแก้วหนาขนาด 5 ซม. (5 แผ่น)	2000	บาท
กาวซิลิโคน	120	บาท
กระดาษอลูมิเนียม	120	บาท
สี Epoxy สีดำ	1000	บาท
ฉากอลูมิเนียมขนาด 1 นิ้ว (4 เส้น)	320	บาท
สายยาง, น๊อต, สกรู, บานพับ และอื่น	200	บาท
เศษวัสดุต่างๆที่เหลือใช้	-	(ไม่คิดราคา)
รวม	14460	บาท

2. Operating Cost ในปีแรกและเพิ่มขึ้นปีละ 10%

ค่าน้ำยาเช็ดทำความสะอาดผิวกระจก	50	บาท
ค่าอุปกรณ์เปลี่ยน/ซ่อมแซม และบำรุงรักษา	100	บาท
ค่ากาวซิลิโคนอุดรอยรั่ว	120	บาท
อื่นๆ	100	บาท
รวม	370	บาท

3. อายุการใช้งานของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

ประเมินอายุการใช้งานของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์นี้ประมาณ 10 ปี

4. มูลค่าซาก

คิดค่าเสื่อมราคา 20% ของมูลค่าคงเหลือต่อปี ในปีที่ 10 เครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์นี้จะเหลือมูลค่าซาก 1552.62 บาท

5. อัตราการกลั่นน้ำ และผลิตเกลือ

จากเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถทำการกลั่นน้ำได้เฉลี่ยวันละ 1.689 ลิตร/ตารางเมตร คิดจากพื้นที่ผิวกลั่น 1 ตารางเมตร ประเมินให้เวลา 1 ปี เครื่องสามารถกลั่นน้ำได้ 300 วัน ได้อัตราการกลั่นเท่ากับ 507 ลิตร/ปี และสามารถผลิตเกลือได้เฉลี่ยวันละ 1.060 กิโลกรัม/วัน คิดจากพื้นที่ผิวกลั่น 1 ตารางเมตร ประเมินให้เวลา 1 ปี เครื่องสามารถผลิตเกลือได้ 300 วัน ได้เกลือเท่ากับ 318 กิโลกรัม/ปี

CRF **รายละเอียดต่างๆ สรุปได้ดังต่อไปนี้**

1. ต้นทุนในการสร้างเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์	14460	บาท
2. อายุการใช้งาน	10	ปี
3. มูลค่าซากปลายปีที่ 10	1552.62	บาท
4. Operating Cost ปลายปีที่ 10 เป็นเงิน	872.41	บาท
5. อัตราการกลั่นน้ำ	507	ลิตร/ปี
6. อัตราการผลิตเกลือ	318	กิโลกรัม/ปี
7. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	7.75	%
8. ราคาน้ำกลั่นในท้องตลาด	10	บาท/ลิตร
9. ราคาเกลือสินเธาว์ในท้องตลาด	3	บาท/กิโลกรัม
10. รายได้สุทธิ	6024	บาท/ปี

$$
\begin{aligned}
\text{CRF} &= \text{Capital Recovery Factor} \\
&= \frac{i(1+i)^n}{(1+i^n)-1} \\
&= \frac{0.0775(1+0.0775)^{10}}{(1+0.0775)^{10}-1} \\
&= 0.1473
\end{aligned}
$$

จากสมการที่ (1)

$$R_1 = P\left(CRF\right)$$

$$= 14460 \times 0.1473$$

$$= 2129.95 \text{ บาท/ปี}$$

$$SFF = \text{Singing-Fund Factor}$$

$$= \frac{i}{\left(1+i^n\right)-1}$$

$$= \frac{0.0775}{\left(1+0.0775\right)^{10}-1}$$

$$= 0.0698$$

จากสมการที่ (2)

$$R_2 = S\left(SFF\right)$$

$$= 1552.62 \times 0.0698$$

$$= 108.37 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการที่ (3)

$$R = R_1 - R_2 + \text{Operating Cost}$$

$$= 2129.95 - 108.37 + 872.41$$

$$= 2893.54 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการที่ (4) ราคาต้นทุนการกลั่นน้ำ (บาท/ลิตร) และผลิตเกลือรายปี (บาท/กิโลกรัม)

ต้นทุนการกลั่นน้ำ และ การผลิตเกลือ

$$= \frac{R}{V_w}$$

$$= \frac{2893.54}{825}$$

$$= 3.05 \text{ บาท}$$

2. การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน

ตัวอย่างการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน

อายุการใช้งานของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ 10 ปี

อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.75 %

ราคาน้ำกลั่น 10 บาท/ลิตร

ราคาเกลือ 3 บาท/กิโลกรัม

$X = 6024$ บาท/ปี

$Y = 872.41$ บาท/ปี

จากสมการที่ (7)

$$E = \frac{S_i - X + Y}{P_i - X + Y}$$

$$= \frac{1552.62 \times 0.0775 - 6024 + 872.41}{14460 \times 0.0775 - 6024 + 872.41}$$

$$= 1.2482$$

จากสมการที่ (6)

$$n = \frac{\ln E}{\ln\left(1 + i\right)}$$

$$= \frac{\ln 1.2482}{\ln\left(1 + 0.0775\right)}$$

ระยะเวลาคุ้มทุน = 2.97 ปี

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการวิเคราะห์ต้นทุน และหาจุดคุ้มทุนของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์

อัตราดอกเบี้ยรายปี = 7.75 (ปี)										
อายุการใช้งานของเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ (ปี)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ต้นทุนการสร้างเครื่องผลิตเกลือสินเธาว์พลังงานแสงอาทิตย์ (บาท)	14460	14460	14460	14460	14460	14460	14460	14460	14460	14460
ราคามูลค่าซาก (บาท)	11568.00	9254.40	7403.52	5922.81	4738.25	3790.60	3032.48	2425.98	1940.78	1552.62
ค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดการและบำรุงรักษา (บาท/ปี)	370.00	407.00	447.70	492.47	541.71	595.88	655.46	721.00	793.10	872.41
ราคาต้นทุนสุทธิรายปี (บาท/ปี)	4382.65	4033.10	3751.87	3514.36	3327.69	3179.30	3066.28	2982.47	2926.56	2893.54
อัตราการกลั่นน้ำ (ลิตร/ปี) และการผลิตเกลือรายปี (กิโลกรัม/ปี)	825	825	825	825	825	825	825	825	825	825
ราคาต้นทุนน้ำกลั่น (บาท/ลิตร) และราคาต้นทุนเกลือ (บาท/กิโลกรัม)	5.31	4.88	4.54	4.25	4.03	3.85	3.71	3.61	3.54	3.50

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ว่าที่ร้อยโทชินภัทร แก้วโกมินทวงษ์
วัน เดือน ปีเกิด	6 พฤษภาคม 2515
ประวัติการศึกษา	
ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ	สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย พ.ศ. 2533
ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย พ.ศ. 2535
ระดับประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง	สาขาวิชาเครื่องกล วิชาเอกเทคนิคช่างยนต์ วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน พ.ศ. 2537
ระดับปริญญาตรี	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน พ.ศ. 2547
ระดับปริญญาโท	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2549
ประวัติการทำงาน	ครูชำนาญการ ประจำสาขาวิชาเครื่องกล วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย พ.ศ. 2537-ปัจจุบัน
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	ว่าที่ร้อยโทชินภัทร แก้วโกมินทวงษ์, 2550, การศึกษาการผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, **การประชุมทางวิชาการประจำปี 2550 มหาวิทยาลัยแม่โจ้**, หน้า 80.