



เอกสารวิทยาเขตฯ
ห้ามนำออกจากห้องสมุด
ใช้เฉพาะ ชั้น 5 เท่านั้น

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (ปีที่ 1)

Distillation of Ethanol by Solar Energy

คณะผู้วิจัย

นายพรประสิทธิ์ คงบุญ

ดร. ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง

นายมนฑล ชูโซนา

นายสมจิตร สุสวัสดิ์

BTC-Library



3 2000 00070913 1

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินผลประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ 2548

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

และผลงานนี้เป็นความรับผิดชอบของคณะผู้วิจัยแต่ผู้เดียว



๖๖๒. ๖๖๒ ๒
๖๖๒ ๒

เลขหมู่.....
เลขรวม เป็นน. 10 25
วัน เดือน ปี 22 ก.พ. 2554

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (ปีที่ 1)

Distillation of Ethanol by Solar Energy

คณะผู้วิจัย

นายพรประสิทธิ์ กงบุญ

ดร. ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง

นายมณฑล ชูโชนาก

นายสมจิตร สุขสวัสดิ์

BTC-Library



3 2000 00070913 1

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินผลประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ 2548

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

และผลงานนี้เป็นความรับผิดชอบของคณะผู้วิจัยแต่ผู้เดียว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทงบประมาณการวิจัยจากเงินผลประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ 2548 แก่โครงการ “การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์” และขอขอบคุณ แผนกอาคารและสถานที่ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ แก่โครงการวิจัยนี้มาโดยตลอด

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า โดยในการศึกษาจะพิจารณาเลือกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับการกลั่นเอทานอล ระหว่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ และพิจารณาเลือกเทคนิคการกลั่นที่ให้ความเข้มข้นและอัตราการผลิตเอทานอลมากที่สุด ระหว่างเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่องกับเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง ผลจากการศึกษาพบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่องมีความเหมาะสมสำหรับใช้กลั่นเอทานอลมากที่สุด จึงได้นำตัวเก็บรังสีและเทคนิคการกลั่นดังกล่าวมาใช้กลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า จากการทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่รับรังสี 4 ตารางเมตร ด้วยเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง และให้พลังงานไฟฟ้า 4000 W พบว่า ระบบกลั่นดังกล่าวสามารถทำการกลั่นได้ดี โดยความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้เท่ากับ 48 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อัตราการผลิต 5.5 ลิตรต่อชั่วโมง

Abstract

The purpose of this research is study about distilling ethanol by solar energy combined with electrical energy. This research consider solar collector for use distilling ethanol between flat plate solar collector and evacuated tube solar collector. Consider distillation technique that give the most concentrated and rate of distilling ethanol interval batch distillation technique and continuous distillation technique. The result of this research; flat plate solar collector and continuous distillation technique have the most suitable for use distilling ethanol, so we have taken this solar collector and technique to use distilling ethanol by solar energy and electrical energy. We use 4 m² flat plate solar collector with continuous distillation technique and give electrical energy 4000 Watt. This system can distil well, concentrated of ethanol was 48 %V/V at rate 5.5 liters per hour.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
รายการสัญลักษณ์	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	3
1.2 สรุปสาระจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	5
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 ระยะเวลาทำการวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 กระบวนการกลั่น	9
2.2 การกลั่นโดยใช้แสงอาทิตย์ในรูปแบบความร้อน	11
2.3 รังสีดวงอาทิตย์	13
2.4 การส่งผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์	18
2.5 สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์	19
2.6 ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	20
2.7 แบบจำลองอุณหภูมิจานานวาล	21
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	23
3.1 การทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม	23
3.2 การทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสม	28
3.3 การทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า	30
3.4 วิธีดำเนินการทดสอบ	34

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 การทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม	39
4.2 การทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสม	42
4.3 การทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ	53
5.1 สรุปผลการทดลอง	54
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก ก ผลการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ	57
ภาคผนวก ข ผลการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง และเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง	71
ภาคผนวก ค ผลการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า	81
ภาคผนวก ง งบประมาณดำเนินโครงการ	118
ภาคผนวก จ แบบเสนอโครงการวิจัยและแบบ วจ. 1	120

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 วันที่ที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือน	14
2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1 , a_2 , b_1 และ b_2 ที่สถานีวัดต่างๆของประเทศไทย	16
2.3 ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวัน (H) ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร	16
2.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดและต่ำสุด	22
4.1 เปรียบเทียบผลการกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 20 ลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	39
4.2 เปรียบเทียบผลการกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 30 ลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	40
4.3 เปรียบเทียบผลการกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 40 ลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	42
4.4 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ใช้เวลาการทดสอบ 5 ชั่วโมง	51
4.5 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า 4000 W ใช้เวลาการทดสอบ 5 ชั่วโมง	52
4.6 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พื้นที่รับรังสี 4 ตารางเมตร	52
ก.1 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 1	58
ก.2 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 2	59
ก.3 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 3	60
ก.4 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 4	61
ก.5 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 5	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.7 ผลการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 1	78
ข.8 ผลการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 2	79
ข.9 ผลการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 3	80
ค.1 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 1	82
ค.2 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 2	83
ค.3 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 3	84
ค.4 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 4	85
ค.5 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 1	86
ค.6 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 2	89
ค.7 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 3	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.8 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 4	95
ก.9 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 5	98
ก.10 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 1	101
ก.11 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 2	102
ก.12 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 3	103
ก.13 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 4	104
ก.14 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 5	105
ก.15 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 6	106
ก.16 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 7	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.17 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 8	108
ก.18 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 1	109
ก.19 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 2	112
ก.20 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 3	115
ง.1 รายการค่าใช้จ่ายเงินของโครงการวิจัย	119

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องกลั่นเอทานอลแบบต่อเนื่องโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า	2
1.2 แผนภาพการทำงานของเครื่องกลั่นเอทานอลแบบต่อเนื่องโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า	2
2.1 การกลั่นแบบต่อเนื่อง	10
2.2 การกลั่นแบบแบ่งครั้ง	11
2.3 การใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการให้ความร้อนโดยตรง	12
2.4 การใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้ความร้อนในลักษณะ closed-loop	12
2.5 มุมตกกระทบของรังสีตรงบนพื้นราบและบนพื้นเอียง	15
2.6 การส่งผ่านรังสีอาทิตย์มายังพื้นผิวโลก	18
2.7 ลักษณะการส่งผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์	18
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_c และ $(T_f - T_a)/I_T$	21
3.1 ชุดทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการกลั่น	23
3.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	24
3.3 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ	24
3.4 หม้ออัดัม	25
3.5 คอนเดนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัย	25
3.6 ป้อน	26
3.7 เครื่องอ่านและบันทึกอุณหภูมิ	26
3.8 เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์	27
3.9 เครื่องวัดความเข้มข้นเอทานอล	27
3.10 เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค	28
3.11 เครื่องกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์	28
3.12 เครื่องกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่องโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์	29
3.13 ชุดป้อนสารละลาย	29
3.14 ชุดทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า	30
3.15 แผนภาพการทำงานของเครื่องกลั่นเอทานอลแบบต่อเนื่องโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า	31
3.16 ถังเติม (Feed tank) และถังรักษาระดับสารละลาย (Level control tank)	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector)	32
3.18 ชุดให้ความร้อนสารป้อน (Feed heater)	33
3.19 หม้อต้มซ้ำ (Reboiler)	33
3.20 คอนเดนเซอร์ (Condenser)	34
3.21 การทดสอบกลั่นเอทานอลโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า	35
4.1 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอล โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบทอสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 20 ลิตร	38
4.2 แสดงความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอล โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบทอสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 20 ลิตร	38
4.3 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอล โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบทอสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 30 ลิตร	39
4.4 แสดงความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอล โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบทอสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 30 ลิตร	40
4.5 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอล โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบทอสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 40 ลิตร	41
4.6 แสดงความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอล โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบทอสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 40 ลิตร	41
4.7 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอล ด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้งโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ให้ความร้อนกับสารละลาย	43
4.8 แสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่น แบบแบ่งครั้งโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ความร้อนกับสารละลาย	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9	แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ความร้อนกับสารละลาย 44
4.10	แสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ความร้อนกับสารละลาย 45
4.11	แผนภาพการทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า 46
4.12	แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า 47
4.13	แสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานไฟฟ้า 48
4.14	แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ในช่วงเวลาต่างๆ จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าใช้เวลาการทดสอบ 2 ชั่วโมง 49
4.15	แสดงความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้ในช่วงเวลาต่างๆ จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าใช้เวลาการทดสอบ 2 ชั่วโมง 49
4.16	แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ในช่วงเวลาต่างๆ จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าใช้เวลาการทดสอบ 5 ชั่วโมง 50
4.17	แสดงความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้ในช่วงเวลาต่างๆ จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าใช้เวลาการทดสอบ 5 ชั่วโมง 51

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
T_a	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	$^{\circ}\text{C}$
$T_a(t)$	อุณหภูมิบรรยากาศที่เวลา t	$^{\circ}\text{C}$
T_{fi}	อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าในตัวเก็บรังสีอาทิตย์	$^{\circ}\text{C}$
T_{fo}	อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกในตัวเก็บรังสีอาทิตย์	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\max}$	อุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดของเดือน	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\min}$	อุณหภูมิบรรยากาศต่ำสุดของเดือน	$^{\circ}\text{C}$
T_{pm}	อุณหภูมิเฉลี่ยของมิวคูคลินรังสีอาทิตย์	$^{\circ}\text{C}$
t	จำนวนชั่วโมง	
U_L	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C})$
ω	มุมชั่วโมง	องศา
δ	มุมเดคลิเนชัน (Declination angle)	องศา
ω_s	Sunrise hour angle	องศา
ϕ	มุมละติจูดที่ตัวเก็บรังสีตั้งอยู่	องศา
θ	มุมตกกระทบบังสีตรงบนพื้นเอียง	องศา
θ_z	มุมตกกระทบบังสีตรงบนพื้นราบ	องศา
β	มุมเอียงจากแนวระดับ	องศา
γ	มุมอะซิมุท (Azimuth angle) คือ มุมระหว่างทิศใต้กับ ทิศทางการหันหน้าของตัวเก็บรังสี	องศา
ρ_g	สภาพการสะท้อนรังสีของพื้น	
τ	ค่าสภาพส่งผ่าน (transmissivity) ของกระจกมีค่าประมาณ 0.85	
α	ค่าสภาพการดูดกลืน (adsorptivity) ของผิวสีดำมีค่าประมาณ 0.96	
ρ_c	ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์	
$(\tau\alpha)_e$	ผลคูณสัมประสิทธิ์ผลรวมค่าส่งผ่านและค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์	
η_c	ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	เปอร์เซ็นต์

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
T_a	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	$^{\circ}\text{C}$
$T_a(t)$	อุณหภูมิบรรยากาศที่เวลา t	$^{\circ}\text{C}$
T_{fi}	อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าในตัวเก็บรังสีอาทิตย์	$^{\circ}\text{C}$
T_{fo}	อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกในตัวเก็บรังสีอาทิตย์	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\max}$	อุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดของเดือน	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\min}$	อุณหภูมิบรรยากาศต่ำสุดของเดือน	$^{\circ}\text{C}$
T_{pm}	อุณหภูมิเฉลี่ยของมิวคูคลินรังสีอาทิตย์	$^{\circ}\text{C}$
t	จำนวนชั่วโมง	
U_L	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C})$
ω	มุมชั่วโมง	องศา
δ	มุม declination (Declination angle)	องศา
ω_s	Sunrise hour angle	องศา
ϕ	มุมละติจูดที่ตัวเก็บรังสีตั้งอยู่	องศา
θ	มุมตกกระทบรังสีตรงบนพื้นเอียง	องศา
θ_z	มุมตกกระทบรังสีตรงบนพื้นราบ	องศา
β	มุมเอียงจากแนวระดับ	องศา
γ	มุมอะซิมุม (Azimuth angle) คือ มุมระหว่างทิศใต้กับ ทิศทางการหันหน้าของตัวเก็บรังสี	องศา
ρ_g	สภาพการสะท้อนรังสีของพื้น	
τ	ค่าสภาพส่งผ่าน (transmissivity) ของกระจกมีค่าประมาณ 0.85	
α	ค่าสภาพการดูดกลืน (adsorptivity) ของผิวสีดำด้านมีค่าประมาณ 0.96	
ρ_c	ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์	
$(\tau\alpha)_e$	ผลคูณสัมประสิทธิ์ผลรวมค่าส่งผ่านและค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์	
η_c	ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	เปอร์เซ็นต์

บทที่ 1

บทนำ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อจัดหาเครื่องกลั่นเอทานอลที่มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ ที่สามารถนำไปใช้ในพื้นที่ของเกษตรกรที่เป็นแหล่งผลิตเอทานอลได้ โดยพลังงานที่ใช้ในการกลั่นมีสองอย่างคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้า แผนงานการวิจัย จะถูกแบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 ขั้นตอน (3 ปี) สำหรับรายงานฉบับนี้ จะอยู่ในส่วนของระยะที่ 1 (ปีที่ 1) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้า 3 แบบ คือ

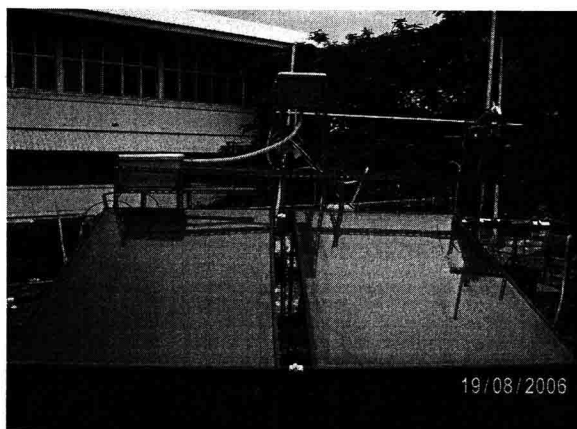
- 1) เครื่องกลั่นเอทานอลใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
- 2) เครื่องกลั่นเอทานอลใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ
- 3) เครื่องกลั่นเอทานอลใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า

- ทดสอบหาความสามารถในการกลั่นเอทานอลของเครื่องกลั่น

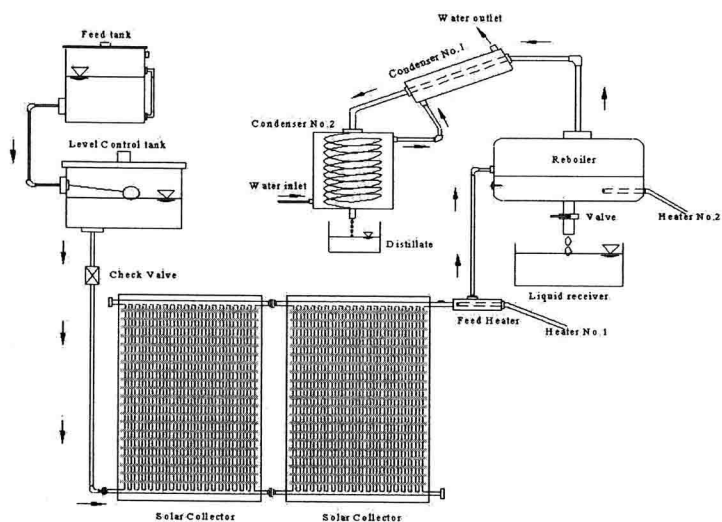
โดยเครื่องกลั่นที่สร้างขึ้น จะใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ประมาณ 4 ตารางเมตร ผลิตความร้อนเพื่อใช้ในการกลั่นเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์ (จากการผสมระหว่างเอทานอล 99% กับน้ำ) ในการดำเนินงานวิจัยจะทำการออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง (Batch Distillation) และใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง (Continuous Distillation) ร่วมกับการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ เพื่อทดสอบหาเทคนิคการกลั่นและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลเชิงปริมาณที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าต่อไป

จากการทดลองจะได้ว่าเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการกลั่นเอทานอล จึงได้นำเอาเทคนิคการกลั่นและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังกล่าว มาใช้ในการสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลเชิงปริมาณที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 1.1 หลักการทำงานของเครื่องกลั่นดังกล่าว จะเริ่มต้นจากสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งถูกบรรจุในถังป้อน (Feed Tank) เข้ารับความร้อนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากนั้นสารละลายเอทานอลที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะเข้าสู่ชุดให้ความร้อนสารป้อน (Feed Heater) เพื่อให้ความร้อนกับสารละลายเอทานอลอีกครั้งจนเริ่มเดือดและมีความดันสูงขึ้น ผลักดันให้สารละลายเอทานอลขึ้นไปตามท่อในแนวดิ่งเข้าสู่หม้อต้มซ้ำ (Reboiler) ที่ตำแหน่งนี้ สารละลายเอทานอลจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นไอและส่วนที่เป็นของเหลว ส่วนที่เป็นไอจะไหลไปตามท่อเข้าสู่คอนเดนเซอร์เพื่อระบายความร้อน และกลั่นตัวได้เอทานอลที่

มีความเข้มข้นสูง ส่วนที่เป็นของเหลวในหม้อต้มข้างจะได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์อีกครั้งเพื่อแยกเอทานอลส่วนที่เหลือออกจากน้ำ



รูปที่ 1.1 เครื่องกลั่นเอทานอลแบบต่อเนื่องโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 1.2 แผนภาพการทำงานของเครื่องกลั่นเอทานอลแบบต่อเนื่องโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

จากที่กล่าวมาเป็นรายละเอียดของการดำเนินโครงการวิจัยในปีที่ 1 ส่วนรายละเอียดของโครงการตลอดทั้ง 3 ปี มีดังนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนพลังงานเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานนับวันมีแต่จะสูงขึ้น โดยเฉพาะพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งพลังงานดังกล่าวนับวันมีแต่จะหมดไปและราคาก็สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีและเลือกหาพลังงานจากแหล่งอื่นมาทดแทน เอทานอลจัดเป็นพลังงานเชื้อเพลิงประเภทหนึ่ง ซึ่งได้มีการพิสูจน์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ โดยได้มีการทดลองใช้กับเครื่องยนต์แล้วในบางประเทศรวมถึงประเทศไทย ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลก็คือ เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ได้มาจากชีวมวลที่ไม่ก่อให้เกิดสารพิษจากการเผาไหม้ และนอกจากจะแก้ปัญหาทางด้านเชื้อเพลิงโดยตรงแล้ว ยังสามารถช่วยให้ราคาผลผลิตทางการเกษตรที่ใช้ในการผลิตเอทานอลมีราคาสูงขึ้น สามารถระบายผลผลิตทางการเกษตรที่ต้องตลาดได้ดีขึ้น เป็นประโยชน์ต่อเกษตรของประเทศโดยตรง

เอทานอลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้นจะต้องมีความเข้มข้นสูง แต่เอทานอลที่ได้จากการหมักผลผลิตทางการเกษตรจะมีความเข้มข้นต่ำประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ส่วนใหญ่มักใช้พลังงานในรูปความร้อนและเทคนิคการกลั่นต่างๆ ในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนสำหรับเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นพลังงานที่ได้มาฟรีและสะอาด ในประเทศไทยเคยมีการนำตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบเป็นตัวให้ความร้อน เพื่อใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล พบว่า สามารถเพิ่มความเข้มข้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 40-50 เปอร์เซ็นต์ ในสเกลเดียวและอาจมากขึ้นถึง 90 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่มีการกลั่นหลายสเกล งานวิจัยดังกล่าวถึงแม้เป็นการศึกษาเบื้องต้น แต่ก็แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน มาใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล สำหรับในงานวิจัยนี้จะนำเอาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มาเป็นแหล่งความร้อนในการผลิตเอทานอลให้มีความเข้มข้นสูงร่วมกับการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อนำไปสู่การผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ ที่สามารถนำไปใช้ติดตั้งในพื้นที่ของเกษตรกรที่เป็นแหล่งผลิตเอทานอลความเข้มข้นต่ำ ผลที่ได้จะช่วยกระจายรายได้ไปสู่เกษตรกร อีกส่วนหนึ่งเมื่อนำตัวเก็บรังสีอาทิตย์มาเป็นแหล่งความร้อนในการผลิตสุรากลั่น ก็จะเป็นการช่วยลดต้นทุนให้แก่เกษตรกรในการผลิตสุรากลั่น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์

1.2 สรุปสาระจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอลนั้น ได้มีนักวิจัยทำการศึกษาวิจัยที่แตกต่างกันออกไป เช่น จิรศักดิ์และวีระชัย (2523) ได้ทำการทดลองกลั่นสารละลายเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบกระจกสองชั้น ที่มีกระจกเอียงด้านเดียว โดยที่กระจกเอียงทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ แผ่นรับรังสีใช้แผ่นอลูมิเนียมทาสีดำมีพื้นที่รับรังสี 1.44 ตารางเมตร ชุดรับรังสีต่อเข้ากับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และประกอบเข้ากับระบบการพาความร้อนแบบบังคับ ทำการกลั่นสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นตั้งต้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยผู้วิจัยได้รายงานว่สารละลายเอทานอลที่กลั่นได้มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 48 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราการกลั่นเท่ากับ 0.5 ลิตร/ตารางเมตร-วัน ต่อมา ทนงเกียรติและมรกต (2524) ได้ทำการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่รับรังสีเท่ากับ 1.9 ตารางเมตร ใช้น้ำมันเป็นสารตัวกลางทำหน้าที่ส่งถ่ายความร้อนให้แก่สารละลายเอทานอลที่บรรจุอยู่ในถังเก็บ จากการทดลองพบว่าสามารถทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่กลั่นได้สูงขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์เป็นสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 48 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการผลิตเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อวัน เช่นเดียวกับ Holden and Smith (1982) ซึ่งได้ทำการศึกษาการผลิตเอทานอลโดยอาศัยแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีขนาดพื้นที่รับรังสีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 18.5 ตารางเมตร โดยใช้ระบบสูญญากาศช่วยและระบบมีถังสะสมพลังงานความร้อนที่มีปริมาตรเท่ากับ 265 ลิตร มีตัวให้ความร้อนโดยใช้กระแสไฟฟ้าช่วยในวันที่มีเมฆ ทำการกลั่นเอทานอลที่มีความเข้มข้นตั้งต้น 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รายงานว่ สามารถกลั่นเอทานอลได้ความเข้มข้นเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้อัตราการกลั่น 1/8 ถึง 1/10 บรรยากาศ นอกจากนี้ วิชาญ กองดวงษ์ (2526) ได้ศึกษาการใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีขนาดพื้นที่รับรังสี 1.4 ตารางเมตร โดยใช้น้ำเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน ในการทดลองกลั่นสารละลายเอทานอลจากส่าหมักที่มีความเข้มข้นตั้งต้น 10 เปอร์เซ็นต์ ด้วยหอกลั่นแยกส่วนภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ จากการศึกษพบว่า ปริมาณสารละลายเอทานอลที่กลั่นได้สูงสุดเท่ากับ 2.5 ลิตรต่อวัน ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่กลั่นได้ประมาณ 45-70 เปอร์เซ็นต์ และในปีเดียวกัน ปกรณ์และคณะ (2526) ได้ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทมวลและความร้อนในเครื่องกลั่นสารละลายเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องกลั่นที่สร้างขึ้นเป็นแบบอ่างน้ำเคลื่อนที่ได มีฟาปิดเป็นกระจกจำนวน 6 เครื่อง ตัวถังทำด้วยเหล็กอบสังกะสีและหุ้มด้วยสไตรโฟม พื้นด้านล่างตรงผิวรับรังสีปูด้วยถ่านหุงข้าว จากการเปรียบเทียบอัตราการกลั่นเอทานอลจากการทดลองกับทฤษฎี พบว่ค่าจากการคำนวณสูงกว่าค่าจากการทดลอง 5-30 เปอร์เซ็นต์ และได้รายงานว่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลตั้งต้นเพิ่มขึ้นอัตราการกลั่นจะเพิ่มขึ้น และได้รายงานอีกว่การสูญเสียความร้อนส่วนใหญ่เกิดจากการแผ่รังสี นอกจากนี้ มานะ คงดีจันทร์ (2534) ได้ทำการศึกษาการกลั่นเอทานอลในเครื่องกลั่นในแนวนอน โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้รายงานว่ อัตราการกลั่นเอทานอลที่ได้เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 3.14 กิโลกรัม/ตารางเมตร และ 1.62

กิโกรัม/ตารางเมตร สำหรับเอทานอลที่ได้จากกากน้ำตาลและแป้งมันสำปะหลัง ตามลำดับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของเอทานอลที่กลั่นได้ประมาณ 14.3 เปอร์เซ็นต์ โดยมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 2.48 บาท/ลิตร สำหรับเอทานอลจากกากน้ำตาลและ 3.36 บาท/ลิตร สำหรับเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง

จากงานวิจัยที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่าได้มีการศึกษาถึงการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เทคนิคการกลั่นที่แตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นการกลั่นเอทานอลโดยใช้เครื่องกลั่นแบบอ่างและการกลั่นเอทานอลโดยอาศัยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และผลการวิจัยที่ได้พอสรุปได้ว่า การกลั่นเอทานอลแบบที่อาศัยตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงกว่าแบบอื่นๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำเอาตัวเก็บรังสีอาทิตย์มาเป็นแหล่งความร้อนในการผลิตเอทานอล เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีสมรรถนะในการกลั่นสูงขึ้นต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อหาสมรรถนะในการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน
- 1.3.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการกลั่นเอทานอลเมื่อใช้และไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.3.3 เพื่อหาต้นทุนการผลิตเอทานอลจากเอทานอลที่มาจากกากหมักมันสำปะหลัง
- 1.3.4 เพื่อจัดหาชุดกลั่นเอทานอลที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ ที่สามารถนำไปใช้จริงในภาคสนามได้

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.4.1 ค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่ผลิตได้ กรณีการกลั่นแบบสเดกเดียวจะ ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ และแบบใช้ร่วมกับ Stripping Column จะไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์
- 1.4.2 อัตราการผลิตเอทานอลในระดับการผลิตเชิงปริมาณจะไม่เกิน 50 ลิตรต่อวัน
- 1.4.3 ข้อมูลรังสีอาทิตย์ในการคำนวณสมรรถนะการกลั่นระยะยาวจะใช้ข้อมูลของจังหวัดกรุงเทพฯ เป็นหลัก

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถนำพลังงานทดแทน (พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานจากเอทานอล) มาใช้ประโยชน์ ในการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของประเทศอย่างจริงจัง
- 1.5.2 เป็นการสร้างงานและกระจายรายได้สู่เกษตรกรของประเทศ

1.5.3 ช่วยขยายตลาดมันสำปะหลังให้แก่เกษตรกร ซึ่งจะช่วยแก้ไขปัญหาราคาผลผลิตตกต่ำ

1.5.4 ได้เครื่องต้นแบบการกลั่น สำหรับให้นักศึกษาวิชาเอกวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิชาเครื่องกล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ ได้ศึกษาและเข้าใจถึงการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน

1.6 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย 3 ปี

สถานที่ทำการวิจัย ทดลอง และเก็บข้อมูล

ดำเนินการที่ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิชาเครื่องกล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ

1.7 ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ในส่วนแรกจะเป็นส่วนที่ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ โดยจะเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียว สำหรับทดลองกลั่นเอทานอล เพื่อให้ได้ข้อมูลสมรรถนะการทำงานของระบบกลั่น โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นตัวให้ความร้อน รวมถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมในการกลั่น ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปใช้ออกแบบในส่วนที่สอง ซึ่งจะเป็นการสร้างระบบกลั่นที่ใช้ Stripping Column เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับเอทานอล รวมไปถึงการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ทำนายสมรรถนะการกลั่นระยะยาว ข้อมูลจากส่วนแรกและส่วนที่สองจะนำไปใช้ออกแบบในส่วนที่สาม ซึ่งจะเป็นระบบกลั่นเอทานอลในระดับชุดต้นแบบการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ โดยเอทานอลที่ได้จะมีความเข้มข้นไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราการผลิตไม่เกิน 50 ลิตรต่อวัน

การศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาจะออกแบบสร้างชุดทดสอบและทดสอบสมรรถนะการกลั่นได้แก่

- 1) การกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่พัฒนาขึ้นเอง
- 2) การกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ
- 3) การกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้จะมีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ประมาณ 4 ตารางเมตร ผลิตความร้อนเพื่อใช้ในการกลั่นเอทานอลที่มีค่าความเข้มข้นเชิงปริมาตรเริ่มต้น 8-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการนำเอทานอลบริสุทธิ์ผสมกับน้ำกลั่น

การศึกษาในระดับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการศึกษาจะพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายสมรรถนะของระบบ เมื่อทำงานในช่วงเวลาต่างๆ และความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล รวมไปถึงการทำนายสมรรถนะระยะยาวของระบบและราคาของเอทานอลที่ผลิตได้

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะมีการพัฒนาเพื่อหาขนาดของระบบกลั่นที่เหมาะสม ที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด นอกจากนี้เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ในงานวิจัยจะทดสอบโดยการติดตั้ง Stripping Column เข้ากับระบบกลั่น เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะและความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล

การศึกษาในระดับการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ

แบบจำลองจะถูกนำมาพัฒนา เพื่อสร้างระบบกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียวและแบบที่ร่วมกับ Stripping Column เพื่อออกแบบระบบที่สามารถผลิตเอทานอลความเข้มข้นไม่เกิน 50 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในอัตราการผลิตประมาณ 50 ลิตรต่อวัน เพื่อทดสอบจริงและศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น รวมไปถึงมูลค่าต้นทุนในการผลิตเอทานอล

1.8 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัยในแต่ละปี

ปีที่ 1 การศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี (ปีงบประมาณ 2548)

- 1) ออกแบบ สร้างเครื่องกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียวทั้ง 3 รูปแบบ
- 2) ศึกษาความสามารถในการกลั่นเอทานอล จากเอทานอลที่มีค่าความเข้มข้นเชิงปริมาตรเริ่มต้น 8-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการนำเอทานอลบริสุทธิ์ผสมกับน้ำกลั่น
- 3) รวบรวมผล สรุปผล และจัดทำรายงานวิจัย ของตอนที่ 1

หมายเหตุ รายงานฉบับนี้จะรายงานผลการวิจัยของปีที่ 1

ปีที่ 2 การศึกษาในระดับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี (ปีงบประมาณ 2549)

- 1) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายสมรรถนะของระบบ รวมถึงการทำนายสมรรถนะระยะยาวของระบบทั้งสาม
- 2) ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เทียบกันเพื่อพิจารณาแบบที่เหมาะสม

- 3) สร้างชุดกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียว ที่มีขนาดเหมาะสมจากผลการจำลองการทำงาน
- 4) ออกแบบ Stripping Column และประกอบเข้ากับระบบกลั่น เพื่อทดสอบหาสมรรถนะการกลั่น พร้อมทั้งพัฒนาแบบจำลองเมื่อใช้ Stripping Column และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
- 5) รวบรวมผล สรุปผล และจัดทำรายงานวิจัย ของตอนที่ 2

ปีที่ 3 การศึกษาในระดับการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี

- 1) สร้างชุดกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียวและแบบที่ใช้ร่วมกับ Stripping Column ที่มีกำลังผลิต 50 ลิตรต่อวัน และนำไปทดสอบจริง
- 2) รวบรวมผล สรุปปัญหาที่เกิดขึ้น รวมถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และจัดทำรายงานวิจัย ฉบับสมบูรณ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลที่มีสมรรถนะสูง เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ โดยพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นคือ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีระยะเวลาการวิจัยตลอดโครงการทั้งหมด 3 ปี โดยในปีที่ 1 ซึ่งเป็นรายละเอียดที่นำเสนอในรายงานฉบับนี้ จะดำเนินการออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่น พร้อมทั้งทดสอบหาความสามารถในการกลั่นเอทานอล เพื่อหาเทคนิคการกลั่น และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าต่อไป

2.1 กระบวนการกลั่น

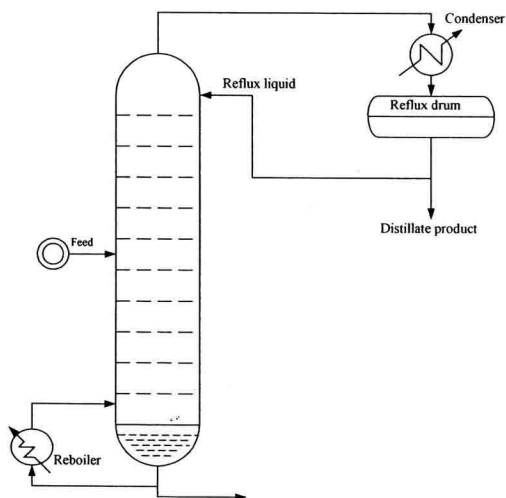
การกลั่นเป็นกระบวนการระเหย และกระบวนการควบแน่นที่ใช้สำหรับการแยกองค์ประกอบของสารต่างๆ ในสารละลาย โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด เมื่อสารละลายได้รับความร้อน สารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะระเหยออกมาในปริมาณที่มากกว่าสารที่มีจุดเดือดสูง มีผลทำให้ความเข้มข้นของสารที่มีจุดเดือดต่ำที่มีค่าสูงขึ้น กระบวนการกลั่นมีการจำแนกออกเป็นสองวิธี ได้แก่ กระบวนการกลั่นแบบต่อเนื่อง และกระบวนการกลั่นแบบแบ่งครั้ง

2.1.1 การกลั่นแบบเติมสารอย่างต่อเนื่อง

การกลั่นด้วยวิธีนี้กระบวนการกลั่นจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เริ่มต้นจากสารละลายของเอทานอลจะถูกป้อนเข้าไปในหอกลั่น (Column) อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 อัตราการป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบจะค่อนข้างคงที่ ความร้อนจะถูกถ่ายเทสู่สารละลาย ส่งผลให้อุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นและเกิดการระเหย แล้วควบแน่นกลายเป็นของเหลวที่เครื่องควบแน่น โดยสารละลายที่ป้อนเข้าสู่ส่วนหอกลั่นของระบบจะมีอยู่ 3 กรณีด้วยกัน นั่นคือ กรณีที่เป็นของเหลวทั้งหมด กรณีที่เป็นของเหลวบางส่วน และกรณีที่เป้นไอทั้งหมด โดยมีรายละเอียดของกระบวนการกลั่นแต่ละแบบดังนี้

ก. กรณีสารละลายที่ป้อนเข้าสู่หอกลั่นเป็นของเหลวทั้งหมด

ในกรณีนี้สารป้อนซึ่งเป็นของเหลวจะไหลลงสู่ส่วนล่างของหอกลั่นเพื่อรับความร้อนก่อนที่จะระเหยเป็นไอขึ้นสู่ด้านบน และเมื่อควบแน่นแล้วจะมีของเหลวบางส่วนถูกป้อนกลับ (Reflux) เข้ามาในหอกลั่นอีกครั้ง เพื่อให้ของเหลวดังกล่าวไหลสวนทางกับไอของสารละลายที่ระเหยขึ้นมาจากส่วนล่างของหอกลั่น ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลวและไอ มีผลทำให้สารที่มีจุดเดือดต่ำที่อยู่ในของเหลวระเหยออกมา และสารที่มีจุดเดือดสูงที่อยู่ในไอเกิดการควบแน่น เป็นผลทำให้ความเข้มข้นของสารละลายมีค่าสูงขึ้น



รูป 2.1 การกลั่นแบบต่อเนื่อง

ที่มา : McCabe, Smith and Harriott (1993)

ข. กรณีสารละลายที่ป้อนเข้าสู่หอกลั่นเป็นของเหลวบางส่วน

ในกรณีนี้สารป้อนในส่วนที่เป็นไอจะมีความเข้มข้นสูงกว่าส่วนที่เป็นของเหลว และจะระเหยไปกลั่นตัวยังส่วนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทันที ในขณะที่ส่วนของเหลวจะตกลงสู่ด้านล่างของหอกลั่น แล้วเกิดกระบวนการเช่นเดียวกับกระบวนการในข้อ ก.

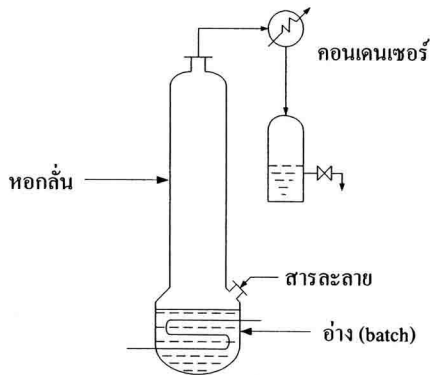
ก. กรณีสารละลายที่ป้อนเข้าสู่หอกลั่นเป็นไอทั้งหมด

เมื่อเริ่มต้นการกลั่น ไอที่เข้าสู่หอกลั่นจะกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทันที และของเหลวบางส่วนจะถูกป้อนกลับเข้ามายังหอกลั่นอีกครั้ง ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปเก็บไว้ในถังสะสม

2.1.2 การกลั่นแบบแบ่งครั้ง (Batch Distillation)

การกลั่นด้วยวิธีนี้สารละลายจะถูกเติมเข้าไปในระบบก่อนเริ่มกระบวนการกลั่นเพียงแค่ครั้งเดียว โดยสารละลายที่เติมเข้าไปจะถูกเก็บไว้ในส่วนที่เรียกว่า อ่าง (Batch) ความร้อนจะถูกถ่ายเทสู่สารละลาย ส่งผลให้อุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นและเกิดการระเหย แล้วควบแน่น

กลายเป็นของเหลวที่เครื่องควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 สำหรับกระบวนการกลั่นแบบนี้ เมื่อการกลั่นดำเนินไป ความเข้มข้นของสารละลายที่อยู่ในอ่างจะลดลงเรื่อย ๆ ทำให้กระบวนการกลั่นเกิดยากขึ้น เนื่องจากสารที่มีจุดเดือดต่ำเหลืออยู่ในปริมาณน้อย และอุณหภูมิของสารละลายก็จะเข้าใกล้จุดเดือดของสารที่มีจุดเดือดสูงมากขึ้น นอกจากนั้นการลดลงของความเข้มข้นของสารเริ่มต้นในอ่างยังมีส่วนทำให้ความเข้มข้นของสารละลายที่กลั่นได้จะลดลงเรื่อย ๆ



รูปที่ 2.2 การกลั่นแบบแบ่งครั้ง

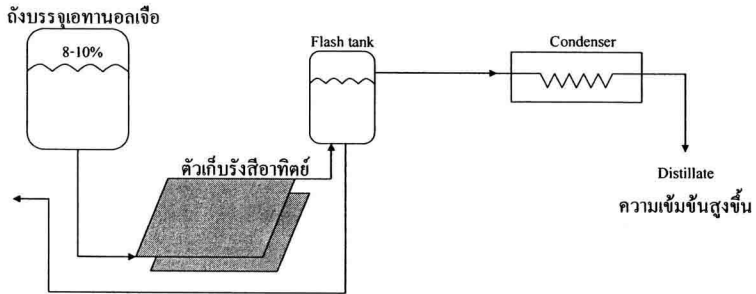
ที่มา : McCabe, Smith and Harriott (1993)

2.2 การกลั่นโดยใช้แสงอาทิตย์ในรูปความร้อน

การกลั่นสารละลายโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนนั้น รูปแบบของการให้ความร้อนแก่สารละลายจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ การให้ความร้อนแก่สารละลายโดยตรง และการให้ความร้อนแก่สารละลายโดยใช้เทคนิคการถ่ายเทความร้อนแบบ closed-loop ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.1 การให้ความร้อนแก่สารละลายที่ต้องการกลั่นโดยตรง

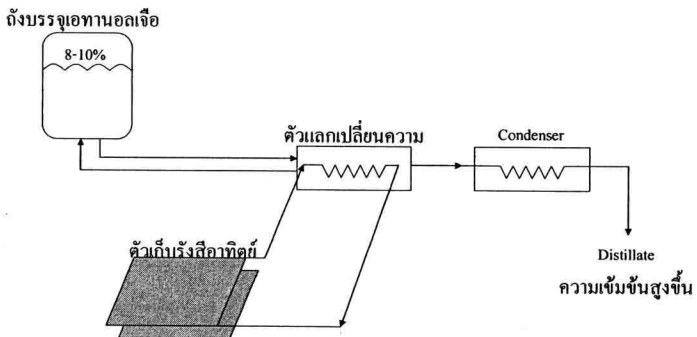
กล่าวคือ สารละลายเอทานอลเจือจาง จะอยู่ในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งสารละลายจะได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีโดยตรง และเกิดการระเหยออกไป ในขณะที่เดียวกันก็จะมีสารละลายเอทานอลเจือจางไหลเข้ามาแทนที่ ส่วนไอเอทานอลที่ได้จากการระเหยมีความเข้มข้นสูงจะถูกควบแน่นไปที่ถังเก็บดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการให้ความร้อนโดยตรง

2.2.2 การให้ความร้อนแก่สารละลายที่ต้องการกลั่น โดยใช้เทคนิคการถ่ายเทความร้อนแบบ closed-loop

กล่าวคือ ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมีสารตัวกลาง คือ น้ำหรือน้ำมัน โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะทำให้สารตัวกลางมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเคลื่อนที่ไประบายความร้อนให้แก่สารละลายเอทานอลเจือจาง เพื่อใช้ในการเดือดของเอทานอลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ไอเอทานอลความเข้มข้นสูงจะถูกควบแน่นที่ถังเก็บ ทำให้ได้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น



รูปที่ 2.4 การใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้ความร้อนในลักษณะ closed-loop

2.3 รังสีดวงอาทิตย์

2.3.1 รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นราบ

รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงพื้นโลกสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.3.1.1 รังสีตรง (Direct or Beam Radiation) เป็นรังสีที่ได้จากดวงอาทิตย์โดยตรง ทำให้มีทิศทางที่แน่นอนนำไปใช้งานได้ดี เครื่องมือที่ใช้วัดรังสีตรง คือ ไพเรลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer)

2.3.1.2 รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีที่ได้หลังจากที่มีการกระจายการหักเหและการสะท้อนในชั้นบรรยากาศหรือสิ่งแวดล้อม ทำให้มีทิศทางไม่แน่นอนและไม่เป็นระเบียบ เครื่องมือที่ใช้วัดรังสีกระจาย คือ ไพราโนมิเตอร์ชนิดที่มี Shading ring

2.3.1.3 รังสีรวม (Total or Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย การหาค่ารังสีรวมบนพื้นราบสามารถหาได้จากเครื่องมือที่ใช้วัดรังสีรวม คือ ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer)

2.3.2 รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นเอียง

สถานีบนพื้นโลกที่วัดค่ารังสีอาทิตย์ จะมีไพราโนมิเตอร์วัดค่ารังสีรวมที่ตกลงบนพื้นราบในแนวระดับ ในกรณีที่ต้องการค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นเอียง จากแนวระนาบที่มุมต่าง ๆ ซึ่งสามารถหาได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

เวลาที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับรังสีอาทิตย์จะเป็นเวลาสุริยะ (Solar Time) ซึ่งมีค่าแตกต่างจากเวลาท้องถิ่น (Standard Time) ซึ่งตำแหน่งดวงอาทิตย์กำหนดด้วยค่ามุมชั่วโมง (Hour angle) โดยการโคจรของดวงอาทิตย์ใช้เวลา 4 นาที ในแต่ละองศา หรือ 15 องศาในแต่ละชั่วโมง ช่วงบ่ายจะมีค่าบวก (+) ช่วงเช้ามืดค่าลบ (-) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\omega = 15t \quad (1)$$

เวลาสุริยะ (Solar Time) สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Solar time} - \text{Standard time} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (2)$$

โดยที่ Standard time สำหรับประเทศไทยสามารถใช้เวลาจากนาฬิกา และ E เป็นสมการเวลาสามารถหาได้จาก

$$E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \quad (3)$$

โดยที่มีค่า B สามารถคำนวณได้จาก

$$B = \frac{360(n-81)}{365} \quad (4)$$

- เมื่อ L_{st} = เส้นลองจิจูด(Longitude)มาตรฐานประเทศไทยอยู่ที่จังหวัดอุบลราชธานี
ซึ่งมีค่าประมาณ 105 องศาตะวันออก
 L_{loc} = เส้นลองจิจูด (Longitude) ของตำแหน่งที่ตั้งที่พิจารณา (องศา)
 ω = มุมชั่วโมง (องศา)
 t = จำนวนชั่วโมง
 E = สมการเวลา

มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) ซึ่งเป็นมุมที่ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันทำมุมกับ
ระนาบเส้นศูนย์สูตรของโลก ซึ่งมีค่าเปลี่ยนทุกวันระหว่าง 23.45 และ - 23.45 และค่า Sunrise
hour angle สามารถคำนวณได้จาก

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (5)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (6)$$

- เมื่อ δ = มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) (องศา)
 ω_s = Sunrise hour angle (องศา)
 n = วัน เดือน ปี (Julian Date), $1 \leq n \leq 365$
 ϕ = มุมละติจูดที่ตัวเก็บรังสีตั้งอยู่ (องศา)

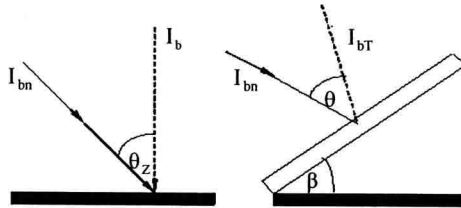
เพื่อให้เกิดความสะดวกในการคำนวณ ได้มีการกำหนดตัวแทนของวันในแต่ละเดือน
ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วันที่ที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือน (ชาญวิทย์ วุฒิจำนนท์ , 2545)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
วันที่	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10
วันที่ของปี	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344

จากพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับตำแหน่งดวงอาทิตย์ดังในรูปที่ 2.5 ค่าอัตราส่วนความเข้มของรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนพื้นราบ (R_b) สามารถหาได้จากสมการ

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{I_{bn} \cos \theta}{I_{bn} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (7)$$



รูปที่ 2.5 มุมตกกระทบของรังสีตรงบนพื้นราบและบนพื้นเอียง

โดยที่มุม θ สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{และ} \quad \cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (9)$$

เมื่อ θ = มุมตกกระทบรังสีตรงบนพื้นเอียง (องศา)

θ_z = มุมตกกระทบรังสีตรงบนพื้นราบ (องศา)

I_b = รังสีตรงบนระนาบในแนวระดับ (W/m^2)

I_{bT} = รังสีตรงบนพื้นเอียง (W/m^2)

β = มุมเอียงจากแนวระดับ (องศา)

γ = มุมอะซิมูท (Azimuth angle) คือ มุมระหว่างทิศใต้กับทิศทางการหันหน้า

ของตัวเก็บรังสี (γ มีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อหันหน้าไปทิศใต้ มีค่าเป็นบวก (+) เมื่อหันหน้าไปทางทิศตะวันตก และมีค่าเป็นลบ (-) เมื่อหันหน้าไปทางทิศตะวันออก, $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$)

ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนพื้นราบเมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศโลกในแต่ละวัน จากดวงอาทิตย์ขึ้นจนดวงอาทิตย์ตก สามารถคำนวณได้จาก

$$H_o = \frac{24}{\pi} (3600) I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (10)$$

เมื่อ H_o = รังสีนอกชั้นบรรยากาศรายวัน ($\text{MJ} / \text{m}^2 \text{ day}$)

I_{sc} = ค่าคงที่สุริยะมีค่า $1353 \text{ (W} / \text{m}^2)$

จากรังสีอาทิตย์รายวันสามารถหาค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงต่อรังสีรายวัน (r_t) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$r_t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \left[\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360} \right) \cos \omega_s} \right] \quad (11)$$

โดยที่ $a = a_1 + a_2 \sin (\omega_s - 60)$

$b = b_1 + b_2 \sin (\omega_s - 60)$

ค่า a_1, a_2, b_1 และ b_2 ที่สถานีวัดต่างๆของประเทศไทยแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1 และ b_2 ที่สถานีวัดต่างๆของประเทศไทย

สถานี	a_1	a_2	b_1	b_2
กรุงเทพฯ	0.792	-0.250	0.189	0.471
เชียงใหม่	0.514	0.228	0.512	0.083
อุบลราชธานี	0.760	-0.031	0.207	0.238
หาดใหญ่	0.607	-0.124	0.417	0.007

ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวัน (H) ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวัน (H) ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
H	17.20	17.30	19.40	19.00	18.70	16.90
เดือน	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
H	15.60	16.30	15.60	15.50	16.60	16.00

อัตราส่วนรังสีกระจายรายวัน (H_d) ต่อรังสีรวมรายวัน (H) บนพื้นราบสามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{H_d}{H} = -4.6408 + 26.5495 \left(\frac{H}{H_o} \right) - 28.3422 \left(\frac{H}{H_o} \right)^2 - 31.4546 \left(\frac{H}{H_o} \right)^3 + 46.4421 \left(\frac{H}{H_o} \right)^4 \quad (12)$$

เมื่อ H_d = รังสีอาทิตย์กระจายรายวัน ($\text{MJ} / \text{m}^2 \text{ day}$)
 H = รังสีรวมรายวัน ($\text{MJ} / \text{m}^2 \text{ day}$)

ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมง (I_d) สามารถคำนวณได้จาก

$$I_d = H_d \frac{\pi}{24} \left[\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{2\pi \omega_s \cos \omega_s}{360}} \right] \quad (13)$$

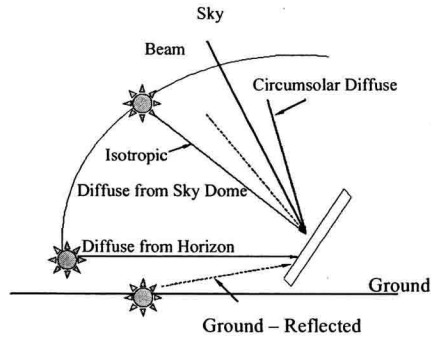
โดยที่ค่า I_b ได้จากสมการ

$$I_b = I - I_d \quad (14)$$

รังสีอาทิตย์ขณะที่ตกผ่านชั้นบรรยากาศที่ผิวโลก บางส่วนจะถูกดูดกลืน บางส่วนสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ และบางส่วนทำให้รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) ทำให้ค่ารังสีตรง (Direct, Beam Radiation) ตกที่พื้นผิวโลกน้อยลง รังสีรวม (Global Radiation) จะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายที่มาจากก้อนเมฆและแอโรซอลหรือฝุ่นละออง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ดังนั้น ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนพื้นเอียง (I_T) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_p \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (15)$$

เมื่อ I_T = รังสีอาทิตย์รวมบนระนาบเอียง ($\text{MJ} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$)
 I = รังสีอาทิตย์รวมบนในแนวระดับ ($\text{MJ} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$)
 I_b = รังสีตรงบนระนาบในแนวระดับ ($\text{MJ} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$)
 I_d = รังสีกระจายบนระนาบในแนวระดับ ($\text{MJ} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$)
 ρ_g = สภาพการสะท้อนรังสีของพื้น

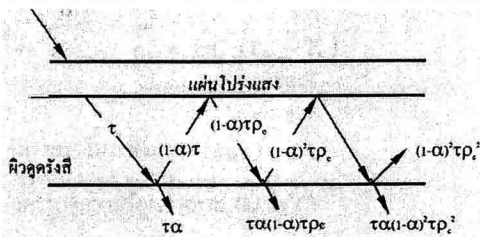


รูปที่ 2.6 การส่งผ่านรังสีอาทิตย์มายังพื้นผิวโลก

ที่มา : Duffie and Beckman (1991)

2.4 การส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นปิดโปร่งแสง ค่ารังสีอาทิตย์บางส่วนจะทะลุผ่านแผ่นปิดโปร่งแสงซึ่งมีค่าดูดรังสี (α) และเมื่อกระทบกับผิววัตถุด้านล่าง บางส่วนจะถูกดูดกลืน ($\tau\alpha$) และบางส่วนจะสะท้อนกลับ ไปที่แผ่นปิดโปร่งแสงอีก ซึ่งจะมีการสะท้อนกลับไปมา ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะการส่งผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์

ที่มา : Duffie and Beckman (1991)

ในทางปฏิบัติค่ารังสีอาทิตย์ที่ดูดกลืนที่ผิววัตถุซึ่งมีแผ่นปิดโปร่งแสงสามารถคำนวณได้จาก

$$(\tau\alpha)_e \approx 1.01(\tau\alpha) \quad (16)$$

- เมื่อ
- τ = ค่าสภาพส่งผ่าน (transmissivity) ของกระจกมีค่าประมาณ 0.85
 - α = ค่าสภาพการดูดกลืน (adsorptivity) ของผิวสีดำด้านมีค่าประมาณ 0.96
 - ρ_c = ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์

2.5 สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ที่สภาวะคงตัวค่าพลังงานความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถคำนวณได้โดย

$$q_c = A_c [I_T (\tau\alpha)_c - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (17)$$

- เมื่อ
- q_c = ค่าความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W)
 - A_c = พื้นที่รับแสงอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)
 - U_L = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
 - T_{pm} = อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)
 - T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^\circ C$)
 - I_T = รังสีจากแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W/m^2)
 - $(\tau\alpha)_c$ = ผลคูณสัมประสิทธิ์ผลรวมค่าส่งผ่านและค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์

กรณีที่สารทำงานไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ค่าพลังงานความร้อนสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$q_c = \dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (18)$$

- เมื่อ
- $\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
 - C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$)
 - T_{fo} = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)
 - T_{fi} = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)

เนื่องจากอุณหภูมิผิวดูดกลืนรังสีเฉลี่ย (T_{pm}) ในทางปฏิบัติได้ยากจึงมักใช้อุณหภูมิของของไหลทำงานเฉลี่ย (T_{fm}) ในตัวเก็บรังสีแทน ดังสมการ

$$q_c = A_c F' [I_T (\tau\alpha)_c - U_L (T_{fm} - T_a)] \quad (19)$$

เมื่อ F' คือ แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector efficiency factor) เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์จริงต่อพลังงานที่ได้ เมื่ออุณหภูมิผิวมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของไหล (T_{fm}) ซึ่งมักจะใช้ค่า

$$T_{fm} \cong \frac{(T_{fo} - T_{fi})}{2} \quad (20)$$

ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิของของไหลเข้ามาเป็นฐานในการวิเคราะห์ ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะอยู่ในรูป

$$q_c = A_c F_R [I_T (\tau\alpha)_e - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (21)$$

สมการดังกล่าวเรียกว่า สมการของ Hottel-Willier-Bliss

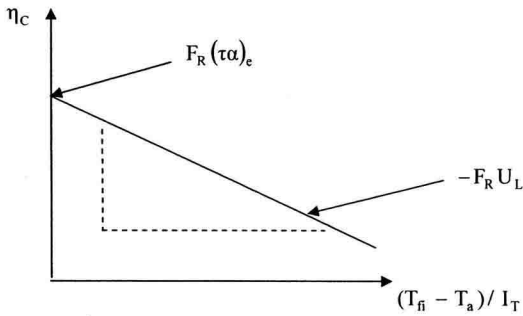
เมื่อ F_R คือ ค่าแฟกเตอร์การดูดความร้อน (Heat removal factor) เป็นอัตราส่วนความร้อนที่ได้รับจริงจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทที่ถูกต้อง โดยของไหลใช้งานในตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2.6 ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector efficiency)

ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะเป็นดัชนีที่ใช้บอกความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\eta_c = \frac{q_c}{I_T A_c} = F_R (\tau\alpha)_e - \frac{F_R U_L (T_{fi} - T_a)}{I_T} \quad (22)$$

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่าง η_c และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$ มาพล็อตกราฟจะได้เป็นสมการเส้นตรง โดยค่าความชันของเส้นกราฟ คือ $-F_R U_L$ และค่าจุดตัดบนแกนประสิทธิภาพ (η_c) คือ ค่า $F_R (\tau\alpha)_e$ ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งค่า $F_R (\tau\alpha)_e$ และค่า $-F_R U_L$ ของโครงการนี้สามารถหาได้จากสมการทดลอง โดยที่ค่า $F_R (\tau\alpha)_e$ คือ ค่าสมรรถนะเชิงแสง ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าสูง ส่วนเทอม $-F_R U_L$ จะแสดงค่าการสูญเสียความร้อนถ้ามีค่าสูงแสดงว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังกล่าวป้องกันการสูญเสียความร้อนไม่ดีพอ ทั้งสองค่านี้จะเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_c และ $(T_{fi} - T_a) / I_T$

2.7 แบบจำลองอุณหภูมิบรรยากาศ

การคำนวณอุณหภูมิบรรยากาศ สามารถจำลองโดยใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมาทำการหาค่าอุณหภูมิบรรยากาศที่เวลาใดๆ โดยสมการจะอยู่ในรูป

$$T_a(t) = \frac{1}{2} \left[(T_{\max} + T_{\min}) + (T_{\max} - T_{\min}) \sin\left(\frac{2\pi}{24}t\right) \right] \quad (23)$$

- เมื่อ $T_a(t)$ = อุณหภูมิบรรยากาศที่เวลา t ($^{\circ}\text{C}$)
 $T_{\max}$ = อุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดของเดือน ($^{\circ}\text{C}$)
 $T_{\min}$ = อุณหภูมิบรรยากาศต่ำสุดของเดือน ($^{\circ}\text{C}$)
 t = $h-9$
 h = เวลาในหน่วยของชั่วโมงที่พิจารณา

ตารางที่ 2.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดและต่ำสุด ในช่วงปี พ.ศ. 2541 – 2550 ของจังหวัด กรุงเทพมหานคร (กรมอุตุนิยมวิทยา : www.tmd.go.th)

อุณหภูมิบรรยากาศสูงสุด $T_{\max} (^{\circ}\text{C})$

เดือน พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2538	34.5	36.7	38.0	39.0	37.3	36.5	34.8	34.1	32.6	33.5	33.6	33.1
2539	34.4	37.3	38.6	38.2	35.6	35.4	35.4	34.6	31.9	32.2	33.1	31.9
2540	33.5	34.8	38.0	37.1	36.8	36.2	34.0	34.1	34.0	33.9	34.9	34.5
2541	36.0	38.4	40.2	41.2	39.2	38.0	36.5	35.3	34.3	34.8	33.5	34.3
2542	35.1	37.1	38.6	36.4	34.1	34.6	34.0	33.7	33.8	33.5	34.1	32.0
2543	35.0	36.8	38.4	39.5	36.0	34.7	34.8	34.9	34.0	32.4	33.6	33.5
2544	36.4	36.6	37.6	39.7	37.5	35.8	34.9	34.0	33.8	32.5	33.0	33.2
2545	35.0	35.4	38.7	38.3	35.7	34.5	34.7	34.3	33.5	34.1	34.7	34.7
2546	33.3	35.8	37.7	38.5	38.2	36.0	36.3	35.5	32.8	33.7	35.0	31.8
2547	34.7	36.1	38.7	39.4	36.9	36.1	35.2	34.5	33.7	33.1	35.6	32.7

อุณหภูมิบรรยากาศต่ำสุด $T_{\min} (^{\circ}\text{C})$

เดือน พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2538	11.8	12.5	18.1	23.2	23.2	24.1	22.9	23.3	22.5	20.0	15.0	11.7
2539	12.1	13.2	16.6	20.6	23.0	22.8	23.3	22.2	22.2	20.1	17.8	13.5
2540	13.3	16.4	17.1	21.6	22.1	23.3	23.1	23.9	20.8	20.1	18.0	16.0
2541	17.1	17.4	21.4	22.0	24.2	23.0	23.3	22.4	22.3	20.3	17.9	14.5
2542	14.9	14.3	20.9	22.1	22.6	22.0	22.5	22.8	21.8	18.9	16.9	8.3
2543	13.4	11.6	17.0	22.0	22.8	23.2	21.7	21.4	22.0	21.0	14.3	15.0
2544	15.0	15.2	19.5	21.9	22.6	22.7	22.4	23.2	20.8	21.5	15.6	12.5
2545	14.9	16.8	18.1	21.1	23.2	22.8	23.7	21.9	22.9	18.6	17.9	17.0
2546	13.0	14.0	19.4	22.8	23.0	23.6	23.5	23.5	23.0	21.2	16.9	12.9
2547	12.5	13.0	18.2	21.5	22.5	22.1	22.6	22.6	22.5	19.4	17.0	16.0

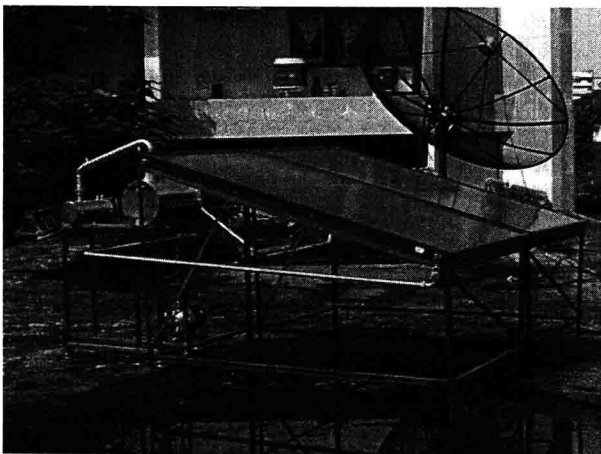
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (ปีที่ 1) เป็นการศึกษาเพื่อหาเครื่องกลั่นเอทานอลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ โดยในการวิจัยจะทำการทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีความเหมาะสม สำหรับใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อน เพื่อใช้ในกระบวนการกลั่น จากนั้นจะทำการทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ข้อมูลที่ได้จะนำไปพัฒนาสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า สำหรับใช้ในการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณต่อไป

3.1 การทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม

ในการทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีความเหมาะสม สำหรับใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้น จะเลือกใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สองแบบ คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ เนื่องจากเป็นตัวเก็บรังสีที่มีสมรรถนะเชิงความร้อนสูง อีกทั้งบำรุงรักษาง่าย โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบด้วยระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง ทำการทดลองเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ให้สมรรถนะการกลั่นสูง (เปรียบเทียบทั้งปริมาณการกลั่นและราคาตัวเก็บรังสีอาทิตย์) โดยมีอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบดังต่อไปนี้



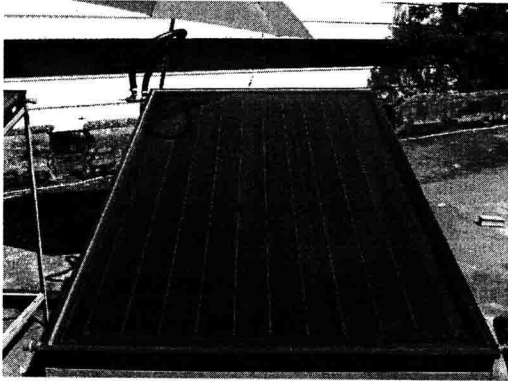
รูปที่ 3.1 ชุดทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการกลั่น

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม

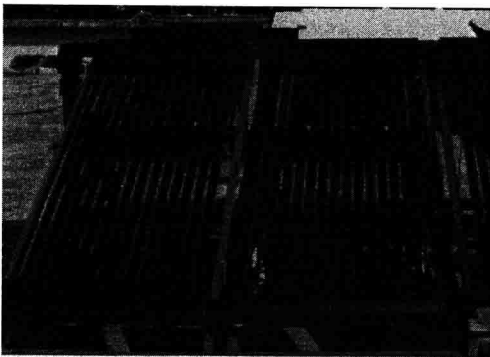
การทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการกลั่น มีชุดทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1.1.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

แหล่งความร้อนที่ใช้ในการกลั่นสารละลายเอทานอลในงานวิจัยนี้ ได้มาจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอาศัยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อน โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เลือกใช้มี 2 แบบ ได้แก่ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate solar collector) และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้แต่ละแบบมีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ประมาณ 4 ตารางเมตร



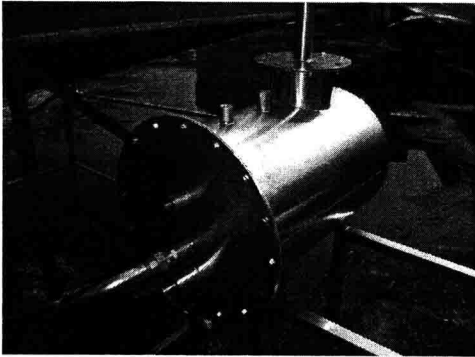
รูปที่ 3.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



รูปที่ 3.3 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ

3.1.1.2 หม้อต้ม (Boiler)

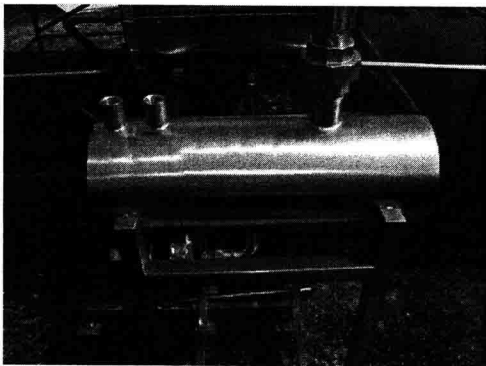
หม้อต้มใช้สำหรับบรรจุสารละลายที่ต้องการกลั่น ที่มีขนาดปริมาตรบรรจุสารละลายเท่ากับ 50 ลิตร ผลผลิตจากสแตนเลสเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 หม้อต้ม

3.1.1.3 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

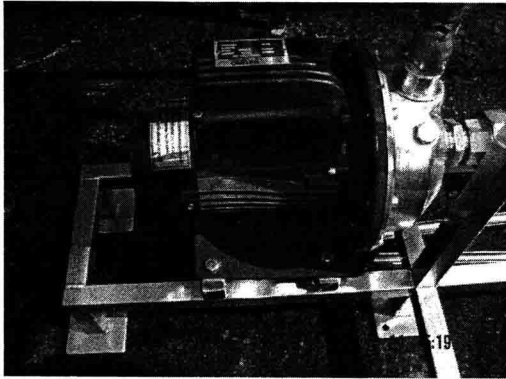
คอนเดนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.5 มีหน้าที่ระบายความร้อนออกจากไอที่ได้จากการกลั่น ณ ขอดหอกลั่น เพื่อให้ไอควบแน่นกลายเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง โดยที่คอนเดนเซอร์ที่ได้จากการออกแบบมีขนาดความสูงเท่ากับ 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 เซนติเมตร ภายในคอนเดนเซอร์จะประกอบด้วยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ นิ้ว จำนวน 16 ท่อยาวท่อละ 25 เซนติเมตร มีพื้นที่ระบายความร้อนเท่ากับ 1256 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 3.5 คอนเดนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1.4 ปั๊ม (Pump)

สารละลายเอทานอลในหม้อต้มจะใช้ปั๊มที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.6 ทำหน้าที่สูบและอัดสารละลายส่งผ่านท่อทางเพื่อเข้ารับการความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์



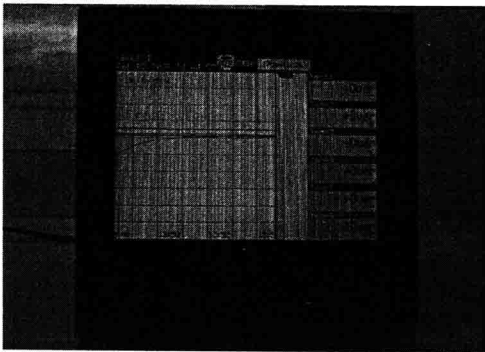
รูปที่ 3.6 ปั๊ม

3.1.1.5 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล

การตรวจวัดและเก็บผลการทดลองต่างๆในงานวิจัย จะใช้อุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

ก. เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature Recorder)

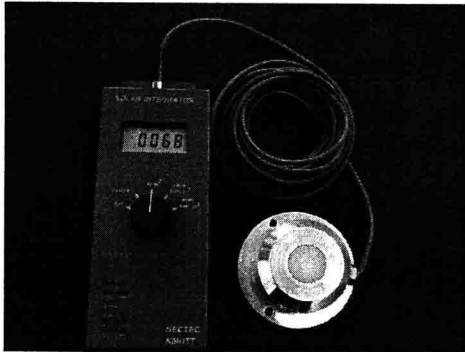
การบันทึกข้อมูลอุณหภูมิจากการทดลอง จะใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิชนิด 10 จุด ความละเอียด $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องอ่านและบันทึกอุณหภูมิ

ข. เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์

ใช้วัดปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์ที่ใช้เป็นชนิด Solar Integrator รุ่น SPD 003 ความละเอียด $\pm 1 \text{ W/m}^2$ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์

ค. เครื่องวัดความเข้มข้นเอทานอล (Alcohol meter)

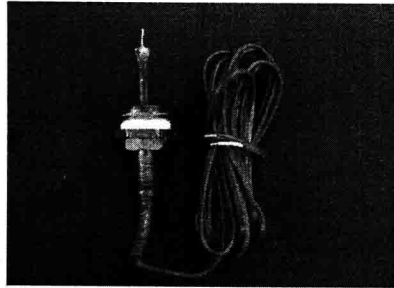
การวัดความเข้มข้นเอทานอลเบื้องต้น จะใช้แอลกอฮอล์มิเตอร์แบบจุ่ม ในการวัด มีความละเอียดในการวัดเท่ากับ 1 %v/v ในช่วงการวัด 0-100 %v/v ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความเข้มข้นเอทานอล

จ. เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค (Thermocouple type K)

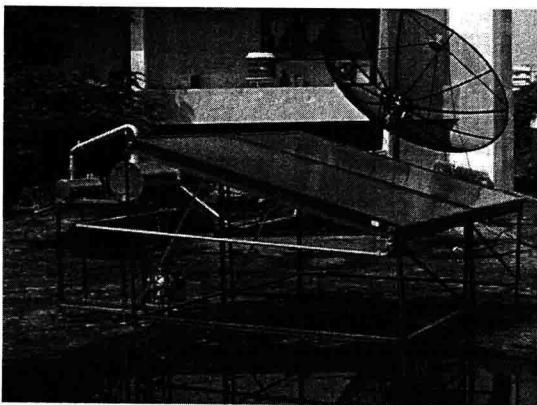
การวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ จะใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค (Type K)



รูปที่ 3.10 เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค

3.2 การทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสม

ในการทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่มีความเหมาะสม สำหรับใช้กลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้น จะเลือกพิจารณาจากเทคนิคการกลั่นสองแบบ คือ เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง และเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และ รูปที่ 3.12 ซึ่งการทดสอบโดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง จะใช้อุปกรณ์ทดสอบและอุปกรณ์วัดต่างๆ ชุดเดียวกับการทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม ส่วนการทดสอบโดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง จะทำการสร้างเครื่องกลั่นเพิ่มอีกหนึ่งชุด ซึ่งมีอุปกรณ์ต่างๆ เหมือนกับการทดสอบโดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเข้ามาคือ ชุดป้อนสารแบบต่อเนื่อง



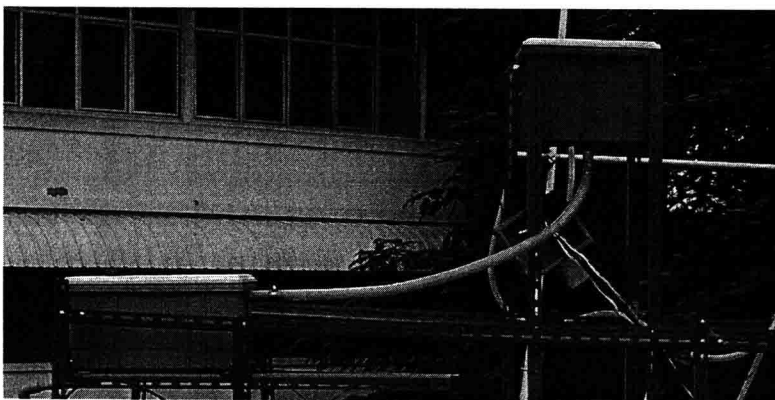
รูปที่ 3.11 เครื่องกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.12 เครื่องกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่องโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

3.2.1 ชุดป้อนสารอย่างต่อเนื่อง

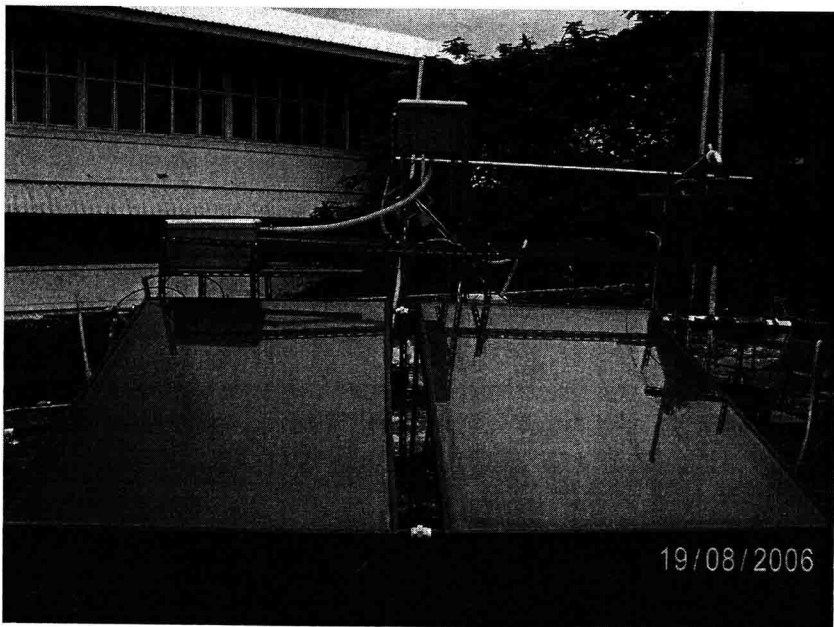
ชุดป้อนสารอย่างต่อเนื่องจะประกอบด้วยถังเดิม (Feed tank) และถังรักษาระดับสารละลาย (Level control tank) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยถังเดิมจะอยู่ด้านบน ทำหน้าที่บรรจุมารละลายเอทานอลที่ต้องการกลั่น และป้อนสารละลายเข้าสู่ถังรักษาระดับที่ภายในถังนี้จะมีวาล์วถูกปล่อยทำหน้าที่รักษาระดับของสารละลายในถังให้คงที่ตลอดเวลา เพื่อควบคุมให้อัตราการป้อนสารละลายคงที่



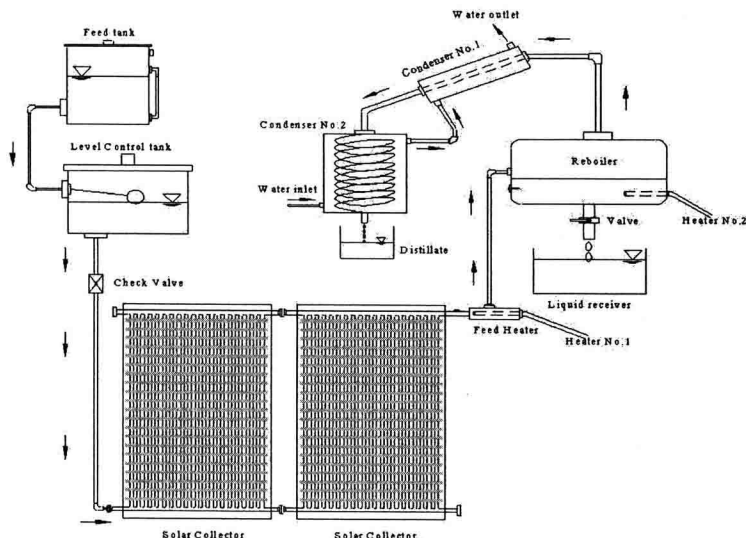
รูปที่ 3.13 ชุดป้อนสารละลาย

3.3 การทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

จากการทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และการทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอล เนื่องจากให้สมรรถนะการกลั่นสูงและต้นทุนต่ำ จึงได้นำเอาเทคนิคการกลั่นและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังกล่าว มาใช้ในการสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลเชิงปริมาณที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.14 หลักการทำงานของเครื่องกลั่นดังกล่าว จะเริ่มต้นจากสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งถูกบรรจุในถังป้อน (Feed Tank) เข้ารับความร้อนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากนั้นสารละลายเอทานอลที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเข้าสู่ชุดให้ความร้อนสารป้อน (Feed Heater) เพื่อให้ความร้อนกับสารละลายเอทานอลอีกครั้งจนเริ่มเดือดและมีความดันสูงขึ้น ผลักดันให้สารละลายเอทานอลขึ้นไปตามท่อในแนวดิ่งเข้าสู่หม้อต้มซ้ำ (Reboiler) ที่ตำแหน่งนี้ สารละลายเอทานอลจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นไอและส่วนที่เป็นของเหลว ส่วนที่เป็นไอจะไหลไปตามท่อเข้าสู่คอนเดนเซอร์ เพื่อระบายความร้อน และกลั่นตัวได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูง ส่วนที่เป็นของเหลวในหม้อต้มซ้ำจะได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์อีกครั้งเพื่อแยกเอทานอลส่วนที่เหลือออกจากน้ำ



รูปที่ 3.14 ชุดทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

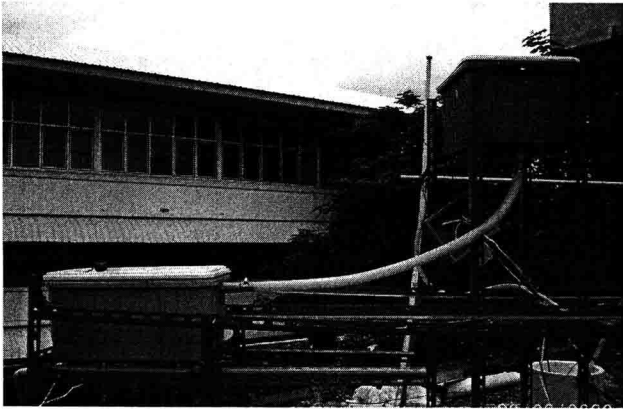


รูปที่ 3.15 แผนภาพการทำงานของเครื่องกลั่นเอทานอลแบบต่อเนื่องโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

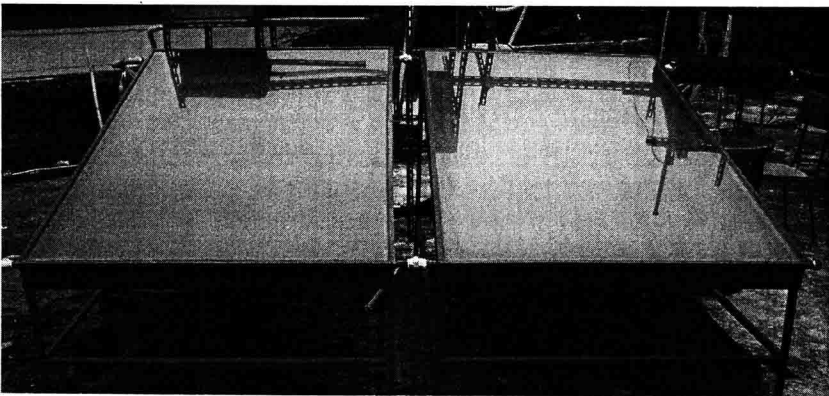
การทดสอบระบบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ซึ่งระบบทำงานด้วยเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่องโดยสารละลายที่ป้อนเข้าสู่ส่วนการกลั่นจะเป็นของเหลวผสมกับไอน้ำ และใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการกลั่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจะปรับปรุงจากเครื่องกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการแบบต่อเนื่องก่อนหน้านี้ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

3.3.1.1 ถังเติม (Feed tank) และถังรักษาระดับสารละลาย (Level control tank) แสดงในรูปที่ 3.16 โดยถังเติมจะอยู่ด้านบน ทำหน้าที่บรรจุสารละลายเอทานอลที่ต้องการกลั่น และป้อนสารละลายเข้าสู่ถังรักษาระดับที่ภายในถังนี้จะมีวาล์วกลอยทำหน้าที่รักษาระดับของสารละลายในถังให้คงที่ตลอดเวลา เพื่อควบคุมให้อัตราการป้อนสารละลายคงที่ตลอดเวลา



รูปที่ 3.16 ถังเติม (Feed tank) และถังรักษาระดับสารละลาย (Level control tank)

3.3.1.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector) แสดงในรูปที่ 3.17 ซึ่งมีขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ประมาณ 4 ตารางเมตร ทำหน้าที่อุ่นสารละลายให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ก่อนส่งเข้าสู่ชุดให้ความร้อนสารป้อนต่อไป



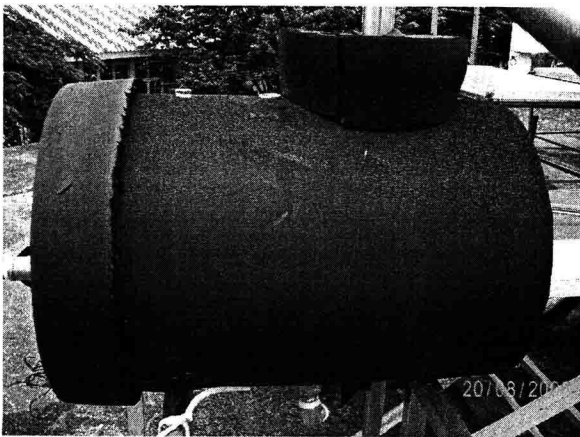
รูปที่ 3.17 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector)

3.3.1.3 ชุดให้ความร้อนสารป้อน (Feed heater) แสดงในรูปที่ 3.18 ลักษณะเป็นถังทรงกระบอกในแนวนอน หุ้มฉนวนกันความร้อนหนา 1.5 นิ้ว มีฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2000 W ติดตั้งอยู่ภายในเพื่อทำหน้าที่ให้ความร้อนกับสารละลายเอทานอล



รูปที่ 3.18 ชุดให้ความร้อนสารป้อน (Feed heater)

3.3.1.4 หม้อต้มซ้ำ (Reboiler) แสดงในรูปที่ 3.19 ลักษณะเป็นถังทรงกระบอกในแนวนอน คุ้มครองกันความร้อนหนา 1.5 นิ้ว มีฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2000 W ติดตั้งอยู่ภายใน ซึ่งหม้อต้มซ้ำจะทำหน้าที่แยกไอและของเหลวที่ไหลมาจากชุดให้ความร้อนสารป้อน โดยส่วนที่เป็นไอจะถูกส่งไปกลั่นตัวในถังคอนเดนเซอร์ ส่วนของเหลวจะถูกให้ความร้อนอีกครั้งจากฮีตเตอร์ดังกล่าวเพื่อแยกเอทานอลที่เหลือออกจากสารละลาย



รูปที่ 3.19 หม้อต้มซ้ำ (Reboiler)

3.3.1.5 คอนเดนเซอร์ (Condenser) แสดงในรูปที่ 3.20 ลักษณะเป็นถังทรงกระบอกในแนวดิ่ง หุ้มฉนวนกันความร้อนหนา 1.5 นิ้ว มีหน้าที่ระบายความร้อนออกจากไอที่ถูกแยกมาจากหม้อต้มชา เพื่อให้ไอควบแน่นกลายเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง

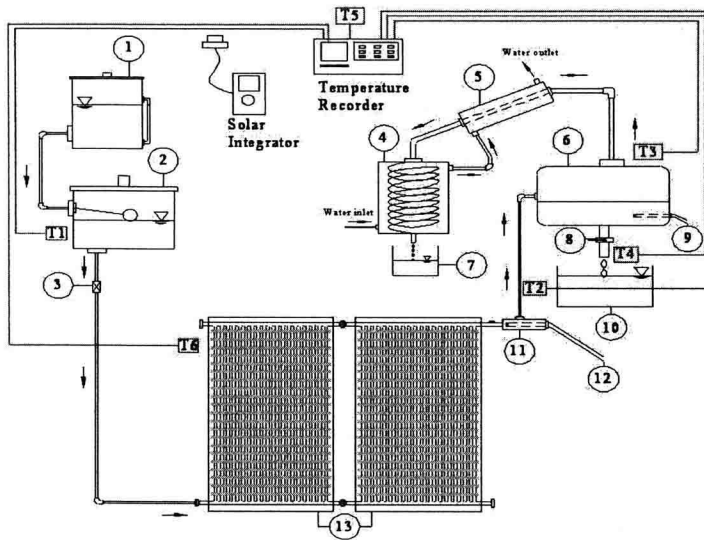


รูปที่ 3.20 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

3.4 วิธีดำเนินการทดสอบ

โครงการวิจัยการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (ปีที่ 1) เป็นการศึกษาเพื่อหาเครื่องกลั่นเอทานอลที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ โดยในการวิจัยเริ่มต้นจากการทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีความเหมาะสม สำหรับการใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการกลั่น จากนั้นจะทำการทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ข้อมูลที่ได้จะนำไปพัฒนาสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีความเหมาะสมสำหรับการใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอล จึงได้นำเอาเทคนิคการกลั่นและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังกล่าว มาใช้ในการสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลเชิงปริมาณที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจะกล่าวถึงวิธีดำเนินการทดสอบกลั่นเอทานอลโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวก่อน เพื่อศึกษาศึกษาสภาพของพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับกลั่นเอทานอล ซึ่งระบบที่ทำการศึกษามาจากการนำข้อมูลจากการทดสอบข้างต้นมาสร้างระบบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ซึ่งระบบทำงานด้วยเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่องโดยสารละลายที่ป้อนเข้าสู่ส่วนการกลั่นจะเป็นของเหลวผสมกับไอ และใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ

แผ่นเรียบเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการกลั่น ขั้นตอนการศึกษามีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.21 การทดสอบกลั่นเอทานอลโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

3.4.1 จัดเตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.21 ซึ่งประกอบไปด้วยถังเติมน้ำ (Feed tank), ถังรักษาระดับสารละลาย (Level control tank), เช็ควาล์ว (Check valve), ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector), ชุดให้ความร้อนสารป้อน (Feed heater), หม้อค้ำซ้ำ (Reboiler), ถังคอนเดนเซอร์ (Condenser), ภาชนะรองรับเอทานอลที่กลั่นได้ (Distilled receiver), ภาชนะรองรับของเหลว (Liquid receiver), ชุดน้ำระบายความร้อน (Water cooled)

3.4.2 เตรียมสารละลายเอทานอลที่จะใช้กลั่นให้มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งได้จากการผสมระหว่างเอทานอลบริสุทธิ์ 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและน้ำกลั่น

3.4.3 เติมน้ำสารละลายเอทานอลที่เตรียมไว้ลงในถังเติมน้ำ จากนั้นสารละลายเอทานอลจะไหลเข้าไปในถังรักษาระดับสารละลายและไหลผ่านเช็ควาล์วเข้าสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์และเข้าสู่ชุดให้ความร้อนสารป้อน รอกวนวาระดับสารละลายในถังรักษาระดับสารละลายคงที่

3.4.4 ให้สารละลายเอทานอลรับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ประมาณ 30 นาที จากนั้นเริ่มให้ความร้อนกับสารละลายโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับฮีตเตอร์ในชุดให้ความร้อนสารป้อนที่มีขนาด 2000 W ควบคุมน้ำที่มีมาระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ให้มีอุณหภูมิและอัตราการไหลคงที่

3.4.5 เมื่อเริ่มมีการกลั่นตัวเกิดขึ้นทำการให้ความร้อนแก่สารละลายที่ถูกแยกออกจากไอในหม้อต้มซ้ำ โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับฮีตเตอร์ที่อยู่ในหม้อต้มซ้ำขนาด 2000 W เพื่อแยกเอทานอลในสารละลายให้กลายเป็นไอ และส่งไปควบแน่นที่คอนเดนเซอร์

3.4.6 บันทึกผลการทดสอบ โดยการบันทึกค่าความเข้มข้นรังสีอาทิตย์ และค่าอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ทุกๆ 5 นาที และหลังจากที่เริ่มมีการกลั่นตัวเกิดขึ้น ทำการบันทึกค่าปริมาณและค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้รวมทั้งปริมาณและค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ระบายออกจากหม้อต้มซ้ำทุกๆ 10 นาที ใช้เวลาดังแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดรวม 2 ชั่วโมง เป็นการสิ้นสุดการทดสอบ

3.4.7 ทำการทดสอบซ้ำตามข้อ 3.4.2 ถึงข้อ 3.4.6 แต่เปลี่ยนอัตราการไหลของสารละลายที่ป้อนเข้าสู่ระบบ โดยการปรับเปลี่ยนระดับความสูงของถังรักษาระดับ

3.4.8 พิจารณากรณีที่ระบบกลั่นทำงานได้ดีมาทำการทดสอบซ้ำ โดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบมากขึ้นกว่าเดิมเป็น 5 ชั่วโมง

3.4.9 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

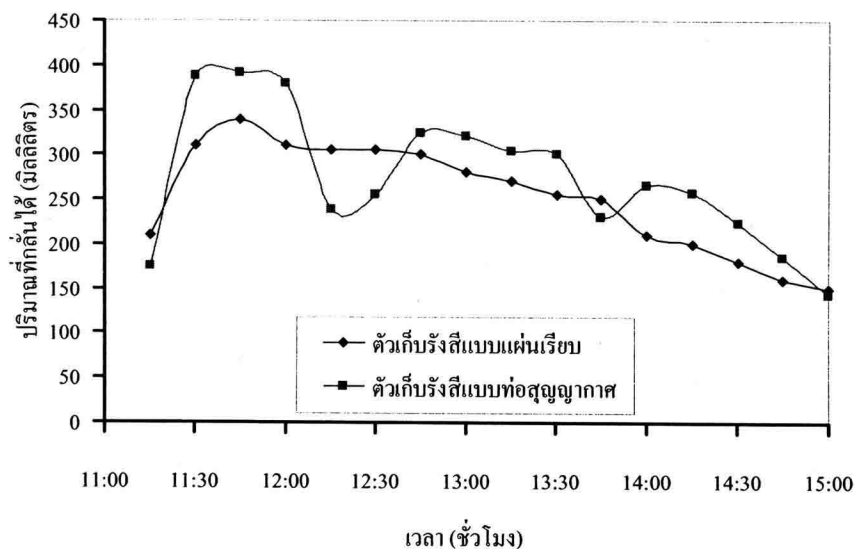
โครงการวิจัยการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (ปีที่ 1) มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาหาระบบกลั่นที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีการทดสอบเพื่อหาระบบกลั่นดังกล่าว มีด้วยกันสามส่วนคือ การทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในระบบกลั่น การทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับใช้สร้างเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า และการทดสอบเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นเครื่องกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่น และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการทดสอบในสองส่วนแรก เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ต่อไป โดยผลการทดสอบในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม

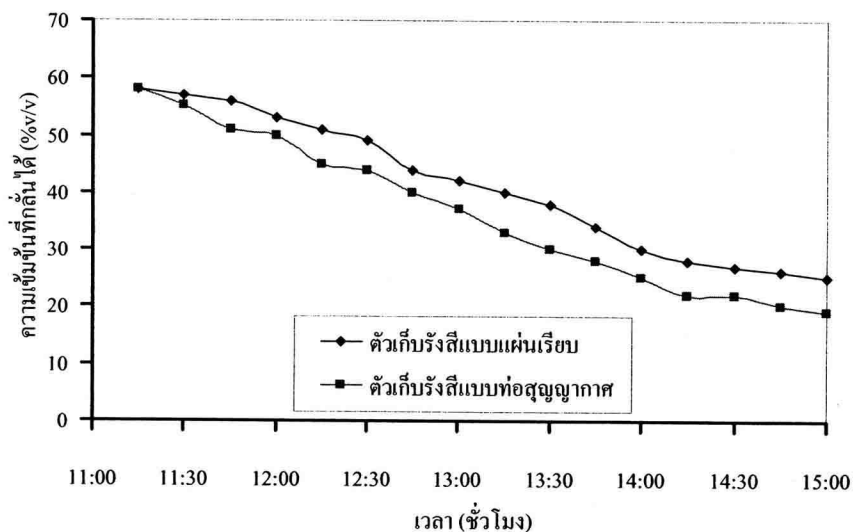
การทดสอบในส่วนนี้จะเลือกใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สองแบบคือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ โดยประกอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้งสองแบบเข้ากับระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง (Batch distillation) ทำการทดสอบโดยใช้สารละลายที่ได้จากการผสมเอทานอลบริสุทธิ์ 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร กับน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในการทดสอบปริมาณสารละลายที่เติมในหม้อต้ม (Boiler) ของเครื่องกลั่นคือ 20, 30 และ 40 ลิตร ดำเนินการทดสอบการกลั่นตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 15.00 น. ผลการทดสอบที่ได้มีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การกลั่นโดยใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 20 ลิตร

กรณีที่กลั่นโดยใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 20 ลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าใช้เวลาในการให้ความร้อนกับสารละลายในหม้อต้มประมาณ 180 นาที จึงเกิดการกลั่นของเอทานอลขึ้น ทั้งการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และแบบท่อสุญญากาศ อัตราการกลั่นและความเข้มข้นที่กลั่นได้ในช่วงแรกมีค่าค่อนข้างสูง จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงมาเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 โดยระบบกลั่นที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ปริมาณการกลั่นตลอดการทดลองเท่ากับ 4.03 ลิตร ที่ความเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนระบบกลั่นที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศให้ปริมาณการกลั่นตลอดการทดลองเท่ากับ 4.37 ลิตร ที่ความเข้มข้น 39 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบทอสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 20 ลิตร



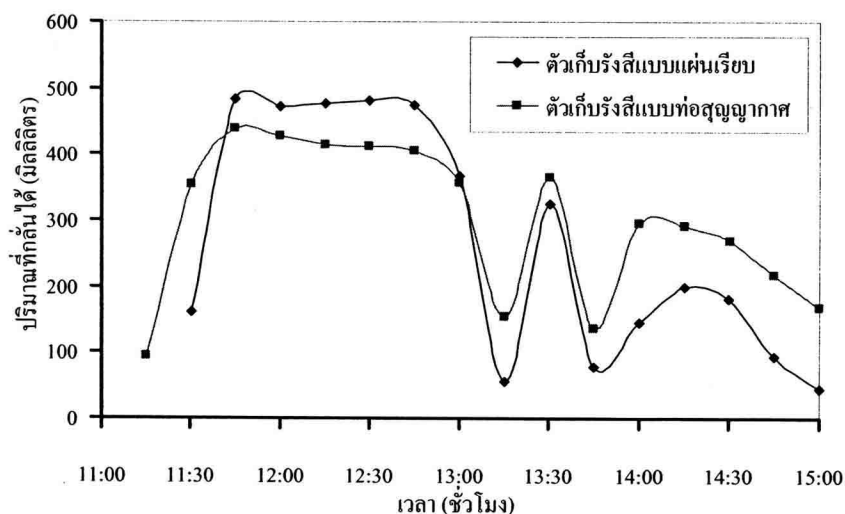
รูปที่ 4.2 แสดงความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบทอสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 20 ลิตร

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 20 ลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

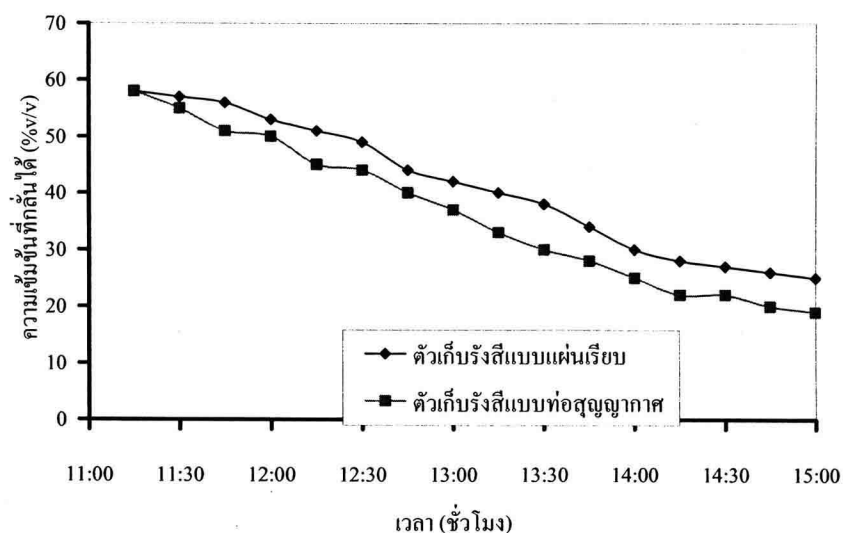
ชนิดตัวเก็บรังสี	ราคาตัวเก็บรังสี/พื้นที่รับรังสี (บาท/ตารางเมตร)	ปริมาณที่กลั่นได้ (ลิตร/วัน)	ความเข้มข้น (%v/v)
แบบแผ่นเรียบ	7,000	4.03	42
แบบท่อสุญญากาศ	20,000	4.37	39

4.1.2 การกลั่นโดยใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 30 ลิตร

กรณีที่กลั่นโดยใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 30 ลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยใช้วิธีการทดลองเช่นเดียวกับกรณีใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 20 ลิตร พบว่าการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และแบบท่อสุญญากาศใช้เวลาในการให้ความร้อนกับสารละลายในหม้อต้มใกล้เคียงกัน จึงเกิดการกลั่นของเอทานอลขึ้น ทั้งอัตราการกลั่นและความเข้มข้นที่กลั่นได้เป็นไปเช่นเดียวกับกรณีใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 20 ลิตร โดยในช่วงแรกมีค่าค่อนข้างสูง จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงมาเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 โดยระบบกลั่นที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ปริมาณการกลั่นตลอดการทดลองเท่ากับ 4.04 ลิตร ที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนระบบกลั่นที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศให้ปริมาณการกลั่นตลอดการทดลองเท่ากับ 4.80 ลิตร ที่ความเข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 30 ลิตร



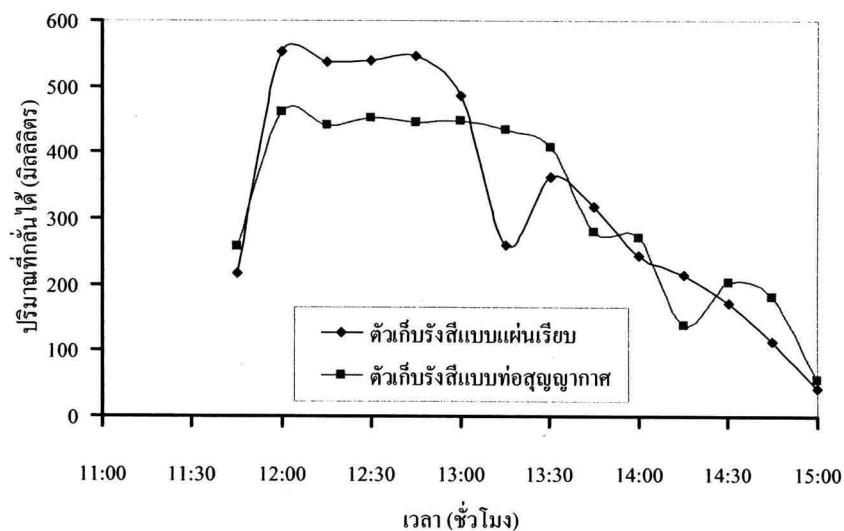
รูปที่ 4.4 แสดงความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 30 ลิตร

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการกลั่น โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 30 ลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

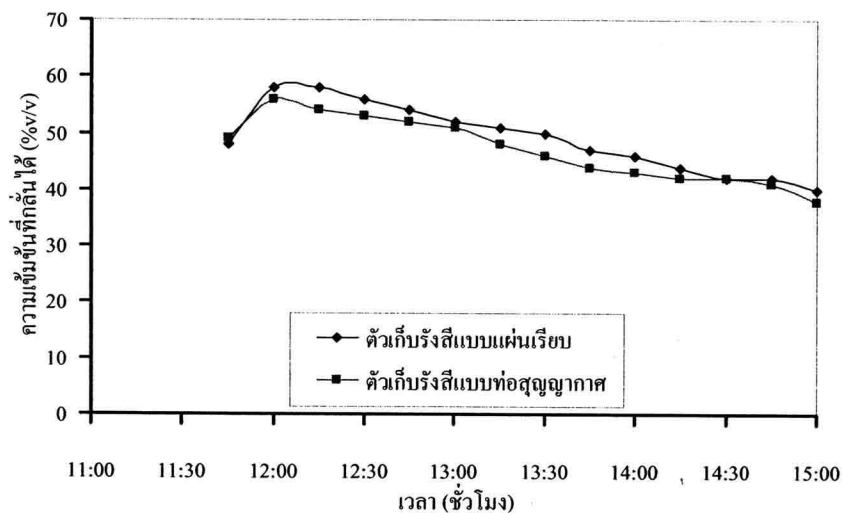
ชนิดตัวเก็บรังสี	ราคาตัวเก็บรังสี/พื้นที่รับรังสี (บาท/ตารางเมตร)	ปริมาณที่กลั่นได้ (ลิตร/วัน)	ความเข้มข้น (%v/v)
แบบแผ่นเรียบ	7,000	4.04	50
แบบท่อสุญญากาศ	20,000	4.80	45

4.1.3 การกลั่นโดยใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 40 ลิตร

กรณีที่กลั่นโดยใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 40 ลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าใช้เวลาในการให้ความร้อนกับสารละลายในหม้อต้มประมาณ 210 นาที จึงเกิดการกลั่นของเอทานอลขึ้น ทั้งการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และแบบท่อสุญญากาศ ซึ่งใช้เวลามากกว่าการกลั่นในสองกรณีแรก โดยอัตราการกลั่นและความเข้มข้นที่กลั่นเป็นไปเช่นเดียวกับสองกรณีแรก ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 โดยระบบกลั่นที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ปริมาณการกลั่นตลอดการทดลองเท่ากับ 4.60 ลิตร ที่ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนระบบกลั่นที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศให้ปริมาณการกลั่นตลอดการทดลองเท่ากับ 4.47 ลิตร ที่ความเข้มข้น 49 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบทอสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 40 ลิตร



รูปที่ 4.6 แสดงความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบทอสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 40 ลิตร

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศ เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเริ่มต้น 40 ลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

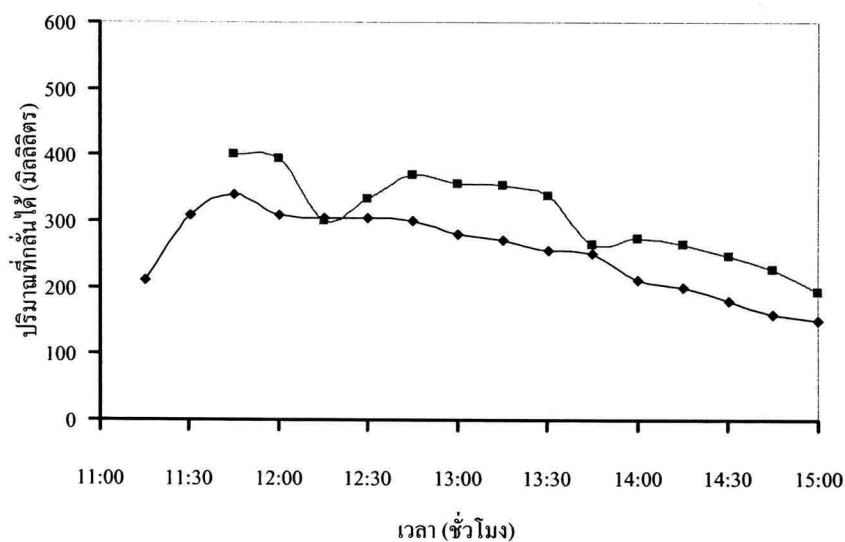
ชนิดตัวเก็บรังสี	ราคาตัวเก็บรังสี/พื้นที่รับรังสี (บาท/ตารางเมตร)	ปริมาณที่กลั่นได้ (ลิตร/วัน)	ความเข้มข้น (%v/v)
แบบแผ่นเรียบ	7,000	4.60	52
แบบท่อสุญญากาศ	20,000	4.47	49

จากผลการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ต่อวันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงราคาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีราคาค่าสูงกว่ามาก ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสำหรับสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

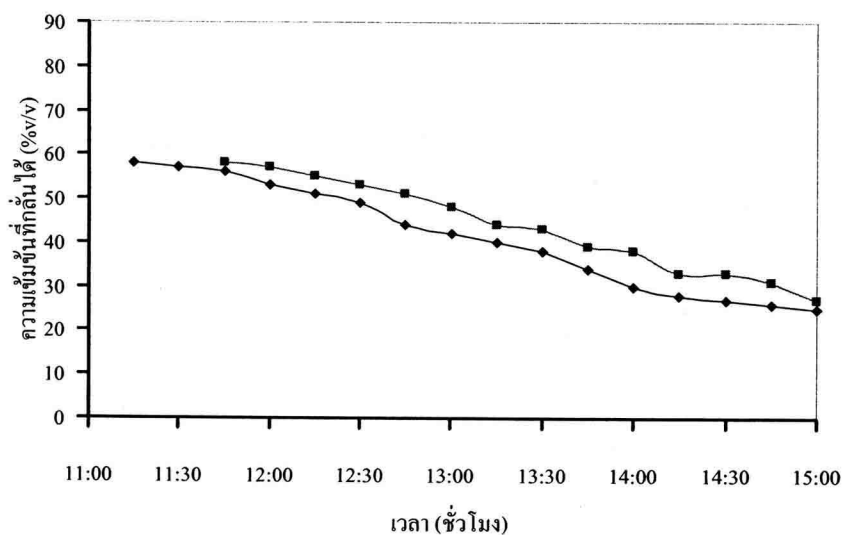
4.2 การทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสม

การทดสอบในส่วนนี้ เป็นการทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่จะใช้ในการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ให้สมรรถการกลั่นที่ดีและการทำงานที่ไม่ซับซ้อน โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้งกับระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง โดยระบบกลั่นทั้งสองจะใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่รับรังสี 4 ตารางเมตรในการให้ความร้อนกับสารละลาย ระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้งจะทำการทดสอบโดยใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณสารละลายที่เติมในหม้อต้มของการกลั่นแต่ละครั้งเท่ากับ 20, 30 และ 40 ลิตร ส่วนระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง ดำเนินการกลั่นโดยใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เช่นเดียวกัน โดยการป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบกลั่นในอัตราคงที่ ระบบกลั่นทั้งสองจะดำเนินการทดสอบตั้งแต่วันที่ 08.00 น. ถึง 15.00 น. ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

การทดสอบโดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง ผลการทดสอบพบว่า ความเข้มข้นและปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันคือ ปริมาณการกลั่นและความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้ในช่วงเริ่มกลั่นมีค่าค่อนข้างสูง จากนั้นจึงค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 โดยที่ปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ประมาณ 3.5 – 4.0 ลิตรต่อวัน ที่ความเข้มข้นประมาณ 40 – 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากการทดสอบสามารถสรุปคุณลักษณะของเทคนิคการกลั่นแบบนี้ว่า ไม่สามารถควบคุมให้ปริมาณการกลั่นและความเข้มข้นของเอทานอลคงที่ได้ ในการกลั่นจะเติมสารละลายในระบบกลั่นเพียงครั้งเดียวแล้วดำเนินการกลั่นจนเสร็จสิ้นกระบวนการกลั่น ทำให้เกิดความยุ่งยากในการกลั่นครั้งต่อไป

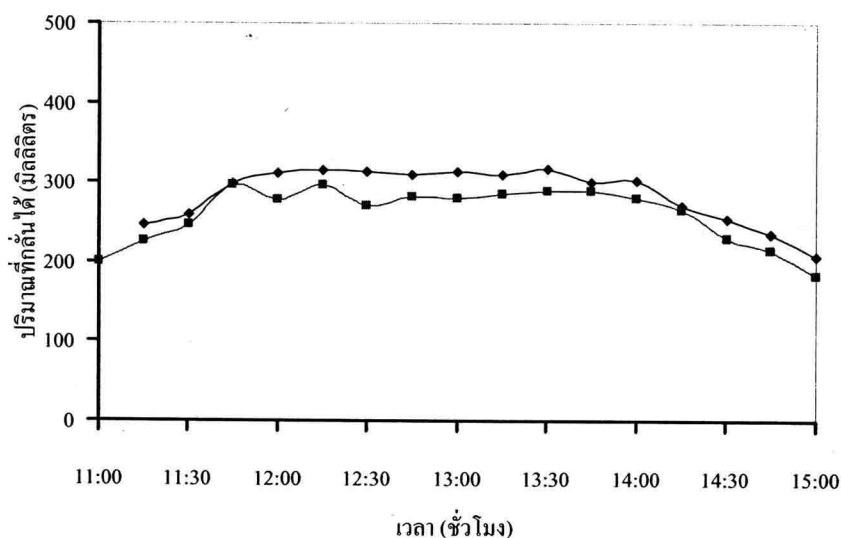


รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครึ่งโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ความร้อนกับสารละลาย

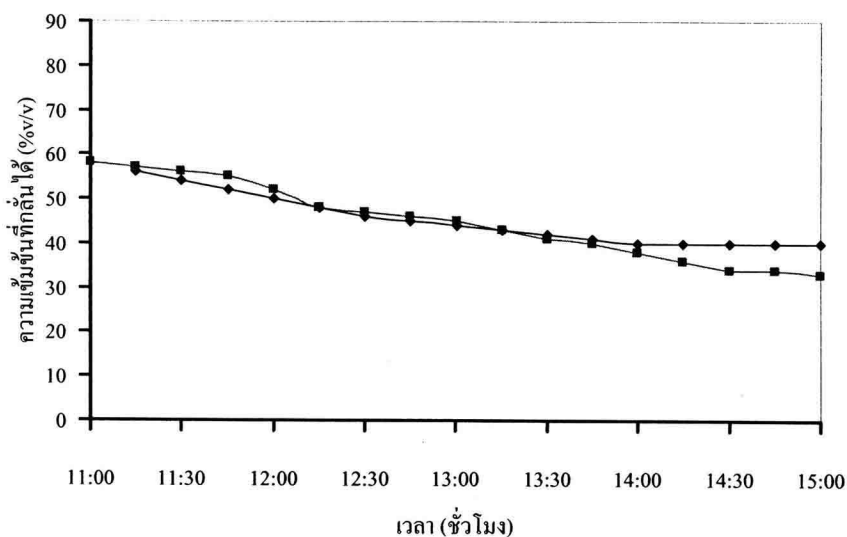


รูปที่ 4.8 แสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครึ่งโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ความร้อนกับสารละลาย

สำหรับการทดสอบโดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง ที่การทดสอบทำการป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบกลั่นตลอดเวลาด้วยอัตราการป้อนคงที่ ผลการทดสอบพบว่า ความเข้มข้นและปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ในแต่ละวันมีค่าสูงกว่าการกลั่นแบบแบ่งครั้งเล็กน้อย และปริมาณการกลั่นและความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้ในช่วงมีค่าค่อนข้างคงที่กว่าการกลั่นแบบแบ่งครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 โดยที่ปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ประมาณ 4.0 – 4.5 ลิตรต่อวัน ที่ความเข้มข้นของเอทานอลประมาณ 40 – 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยจากการทดสอบสามารถสรุปคุณลักษณะของเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่องได้ว่า สามารถควบคุมให้ปริมาณการกลั่นและความเข้มข้นของเอทานอลคงที่ได้ สามารถดำเนินการกลั่นได้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน จึงสามารถเพิ่มสมรรถนะการกลั่นได้ตามต้องการ



รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ความร้อนกับสารละลาย



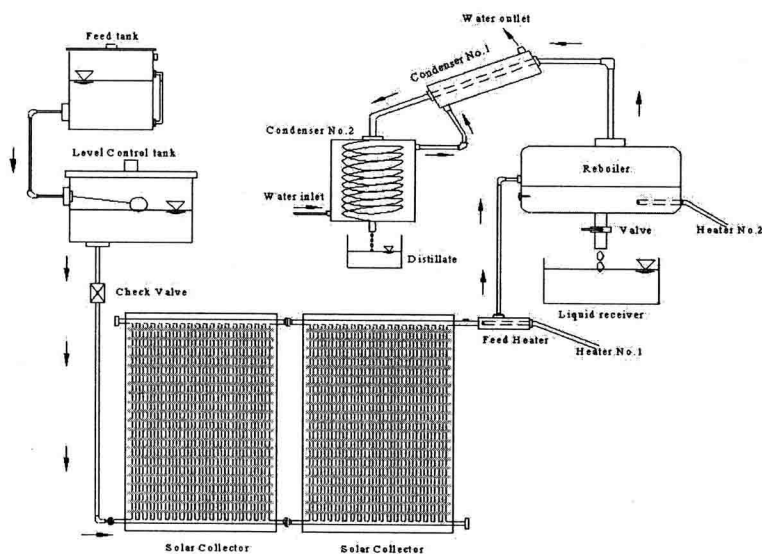
รูปที่ 4.10 แสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบ ต่อเนื่องโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ความร้อนกับสารละลาย

จากการทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสมเพื่อใช้สร้างเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้งกับระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง จะได้ว่าเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง เป็นเทคนิคการกลั่นที่ควบคุมให้ปริมาณการกลั่นและความเข้มข้นของเอทานอลคงที่ได้ และสามารถดำเนินการกลั่นได้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน จึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นระบบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

4.3 การทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ระบบกลั่นเอทานอล โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการออกแบบ จะทำงานด้วยเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง และใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ได้จากการทดสอบก่อนหน้านี้ มีหลักการทำงานโดยเริ่มต้นจากสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งถูกบรรจุในถังป้อน (Feed Tank) และถังป้อนได้รับความร้อนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้วยอัตราการไหลคงที่ตลอดเวลา จากนั้นสารละลายเอทานอลที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะเข้าสู่ชุดให้ความร้อนสารป้อน (Feed Heater) เพื่อให้ความร้อนกับสารละลายเอทานอลอีกครั้งจนเริ่มเดือดและมีความดันสูงขึ้น ผลักดันให้สารละลายเอทานอลขึ้นไปตามท่อในแนวตั้งเข้าสู่

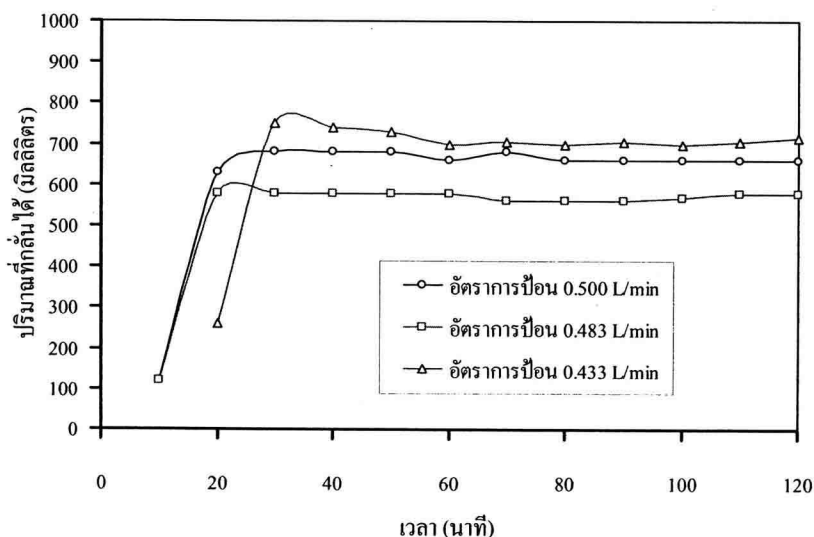
หม้อต้มซ้ำ (Reboiler) ที่ตำแหน่งนี้ สารละลายเอทานอลจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นไอและส่วนที่เป็นของเหลว ส่วนที่เป็นไอจะไหลไปตามท่อเข้าสู่คอนเดนเซอร์ เพื่อระบายความร้อน และกลั่นตัวได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูง ส่วนที่เป็นของเหลวในหม้อต้มซ้ำจะได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์อีกครั้งเพื่อแยกเอทานอลส่วนที่เหลือออกจากรีด จากหลักการทำงานดังกล่าวจะดำเนินการทดสอบหาสมรรถนะของระบบกลั่นโดยการป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบกลั่นในอัตราการไหลที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบในส่วนนี้ จะทำการทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า การทดสอบจะใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในการกลั่น ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วน คือ การทดสอบกลั่นเอทานอลในช่วงเวลาสั้นๆ โดยใช้เวลาในการทดสอบ 2 ชั่วโมง เพื่อศึกษาความสามารถในการกลั่นและหาสภาวะที่ทำงานได้ดีของระบบกลั่น และการทดสอบกลั่นเอทานอลอย่างต่อเนื่องโดยเวลาในการทดสอบ 5 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า จะสามารถดำเนินการกลั่นต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่ยังมีความเข้มข้นและอัตราการสูงอยู่ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้มีดังต่อไปนี้



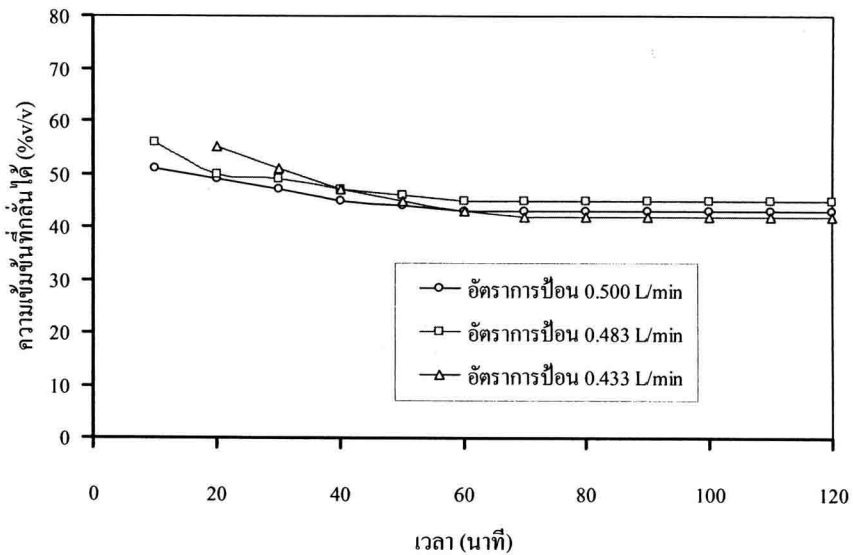
รูปที่ 4.11 แผนภาพการทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

4.3.1 ผลการทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ใช้เวลาทดสอบ 2 ชั่วโมง

เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการกลั่นเอทานอลของระบบกลั่นที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น ในเบื้องต้นจะทำการทดสอบโดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 2 ชั่วโมง เพื่อดูแนวโน้มของสมรรถนะในการกลั่น นำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงระบบกลั่นให้มีสมรรถนะตามที่ต้องการ ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้จะทำการทดสอบ 2 กรณีด้วยกัน คือ การทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว เพื่อศึกษาการทำงานของระบบกลั่นให้เป็นไปตามที่กำหนด เมื่อระบบกลั่นทำงานได้ตามต้องการ จึงจะทำการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า เพื่อดูความสามารถของระบบกลั่นในช่วงเวลาสั้นๆ ผลการทดสอบจะได้ว่าเมื่อระบบกลั่นที่ทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว โดยให้กำลังไฟฟ้า 4000 W แยกเป็นให้กำลังไฟฟ้า 2000 W ที่ชุดให้ความร้อนสารป้อน (Feed Heater) และให้กำลังไฟฟ้า 2000 W ที่หม้อต้มซ้ำ (Reboiler) เมื่อเวลาในการทดสอบผ่านไปประมาณ 15 นาที การกลั่นจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอัตราการกลั่นและความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้ค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13 จากการทดสอบระบบกลั่นด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าระบบกลั่นที่ออกแบบทำงานได้ดีและมีสมรรถนะการกลั่นค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับงานวิจัยเกี่ยวกับการกลั่นเอทานอลที่ผ่านมา ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ต่อไป

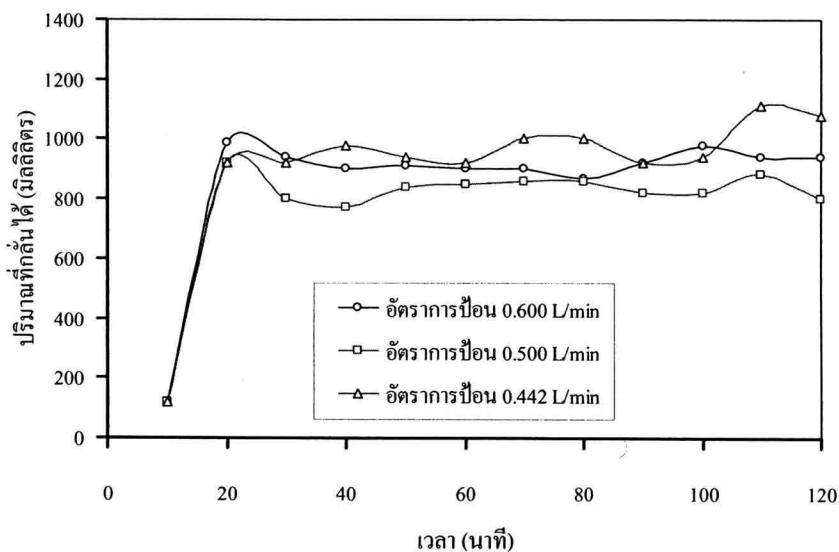


รูปที่ 4.12 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

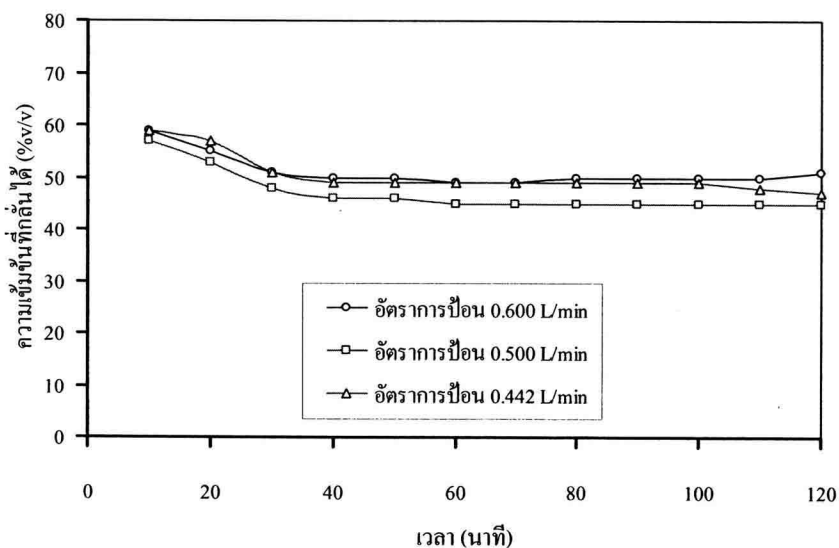


รูปที่ 4.13 แสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานไฟฟ้า

กรณีที่กลั่นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีขนาดพื้นที่รับรังสีประมาณ 4 ตารางเมตร ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า 4000 W โดยแยกเป็นใช้กำลังไฟฟ้าที่ชุดให้ความร้อนสารป้อน 2000 W และใช้กำลังไฟฟ้าที่หม้อต้มข้าว 2000 W ทำการทดสอบที่อัตราการป้อนสารค่าต่างๆ พบว่าอัตราการกลั่นจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหลังจากเวลาผ่านไป 15 นาที โดยที่ช่วงเวลาต่างๆ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอัตราการกลั่นจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของรังสีอาทิตย์ โดยปริมาณที่กลั่นได้แต่ละช่วงไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งปริมาณการกลั่นมีแนวโน้มที่จะเป็นเส้นนี้ตลอดการกลั่น ส่วนความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามนอกจากค่าความเข้มข้นของรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อสมรรถนะการกลั่นแล้ว อัตราการป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบกลั่นก็มีผลต่อสมรรถนะการกลั่นเช่นกัน โดยพบว่ากรณีที่ระบบกลั่นให้อัตราการกลั่นและความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้ดี เมื่อให้อัตราการป้อนสารละลาย 0.442 ลิตรต่อนาที มีปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ตลอดการกลั่น 10.85 ลิตร ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 49 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ดังแสดงในรูปที่ 14.14 และ 14.15



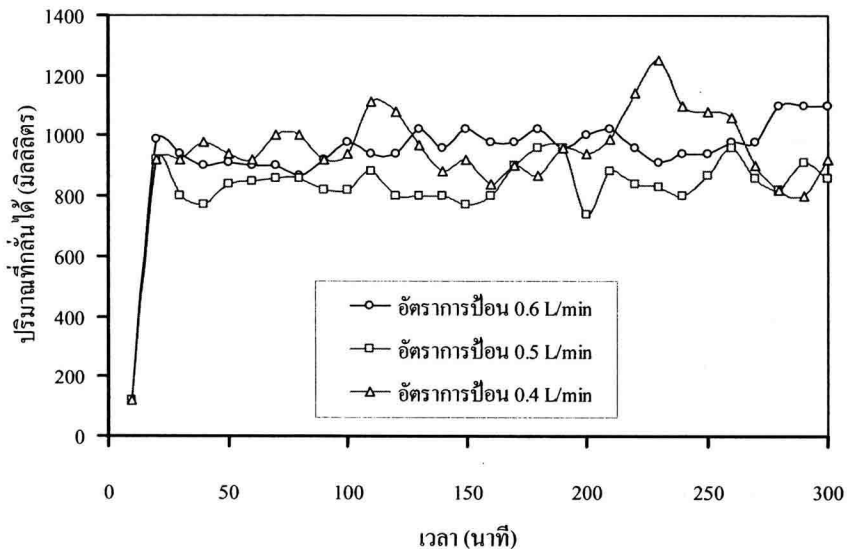
รูปที่ 4.14 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ที่ช่วงเวลาต่างๆ จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าใช้เวลาการทดสอบ 2 ชั่วโมง



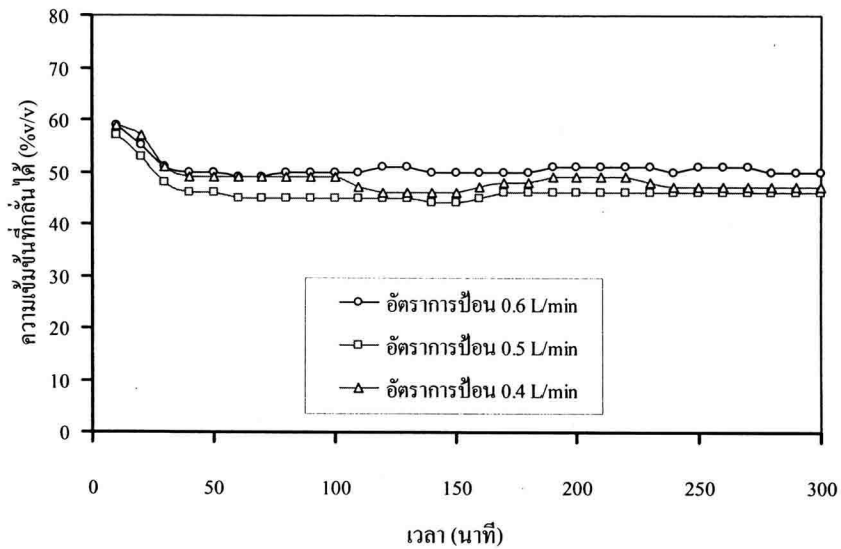
รูปที่ 4.15 แสดงความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้ที่ช่วงเวลาต่างๆ จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าใช้เวลาการทดสอบ 2 ชั่วโมง

4.3.1 ผลการทดสอบกลิ่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ใช้เวลาทดสอบ 5 ชั่วโมง

จากการทดสอบกลิ่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ใช้ระยะเวลาทดสอบ 2 ชั่วโมง พบว่าระบบกลิ่นสามารถทำงานได้ดี เพื่อให้แน่ใจว่าการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจะสามารถดำเนินการกลั่นต่อไปได้อย่างต่อเนื่องโดยที่ยังคงความเข้มข้นและอัตราการกลั่นที่สูง จึงทำการทดสอบกลิ่นเอทานอลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ภายใต้เงื่อนไขเดิม ผลการทดสอบพบว่า ความเข้มข้นและปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ในแต่ละการทดลองเป็นเช่นเดียวกับการทดสอบที่ใช้เวลาในการทดสอบ 2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 14.16 และ 14.17 โดยความเข้มข้นที่กลั่นได้ประมาณ 46 – 51 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และสามารถกลั่นได้ประมาณ 24.70 – 29.40 ลิตร



รูปที่ 4.16 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ที่ช่วงเวลาต่างๆ จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าใช้เวลาการทดสอบ 5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.17 แสดงความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้ในช่วงเวลาต่างๆ จากการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าใช้เวลาการทดสอบ 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าใช้เวลาการทดสอบ 5 ชั่วโมง

ครั้งที่	ปริมาณที่กลั่นได้ (ลิตร)	ความเข้มข้นที่กลั่นได้ (%V/V)	อัตราการกลั่นเฉลี่ย (ลิตร/ชั่วโมง)
1	24.70	46	4.94
2	28.19	47	5.64
3	28.28	51	5.66
4	29.40	51	5.88
5	26.90	48	5.38
เฉลี่ย	27.49	48	5.50

ตารางที่ 4.5 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า 4000 W ใช้เวลาการทดสอบ 5 ชั่วโมง

ครั้งที่	ปริมาณที่กลั่นได้ (ลิตร)	ความเข้มข้นที่กลั่นได้ (%V/V)	อัตราการกลั่นเฉลี่ย (ลิตร/ชั่วโมง)
1	17.47	46	3.49
2	17.66	48	3.52
3	18.05	47	3.61
เฉลี่ย	17.72	47	3.54

ตารางที่ 4.6 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พื้นที่รับรังสี 4 ตารางเมตร

ครั้งที่	ปริมาณที่กลั่นได้ (ลิตร)	ความเข้มข้นที่กลั่นได้ (%V/V)	อัตราการกลั่นเฉลี่ย (ลิตร/ชั่วโมง)
1	4.54	44	0.98
2	4.28	40	0.85
3	4.40	47	0.88
เฉลี่ย	4.41	44	0.90

จากผลการทดสอบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าดังตารางที่ 4.4 เทียบกับผลรวมของการกลั่นโดยใช้พลังงานไฟฟ้าและการกลั่นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 จะได้ว่าการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าให้ปริมาณการกลั่นเฉลี่ย 5.50 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ 16,060 ลิตรต่อปี มากกว่าการกลั่นโดยใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับการกลั่นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 19.27 เปอร์เซ็นต์ ที่สามารถกลั่นได้รวมกัน 12,964 ลิตรต่อปี

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

งานวิจัยเรื่องการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มีจุดประสงค์เพื่อจัดหาเครื่องกลั่นเอทานอลที่มีสมรรถนะเหมาะสม ในการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ ที่สามารถนำไปใช้ในพื้นที่ของเกษตรกรที่เป็นแหล่งผลิตเอทานอลได้ โดยใช้พลังงานในการกลั่นสองอย่างคือ พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้า งานวิจัยนี้มีระยะเวลาดำเนินโครงการ 3 ปี รายงานฉบับนี้จะรายงานผลการดำเนินงานวิจัยในส่วนของระยะที่ 1 (ปีที่ 1) โดยในปีที่ 1 จะเป็นการทดสอบเพื่อหาชนิดตัวเก็บรังสีอาทิตย์และเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสมที่จะใช้ในการกลั่นเอทานอล จากนั้นจึงเป็นการสร้างและทดสอบเครื่องกลั่นที่จะนำไปใช้งานจริง โดยมีการดำเนินงานในส่วนต่าง ดังนี้

- การทดสอบเพื่อหาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนในกระบวนการกลั่น การดำเนินงานในส่วนนี้จะดำเนินการออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลที่ใช้เทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง ทำการทดสอบหาความสามารถในการกลั่นเอทานอลของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2 แบบ คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ

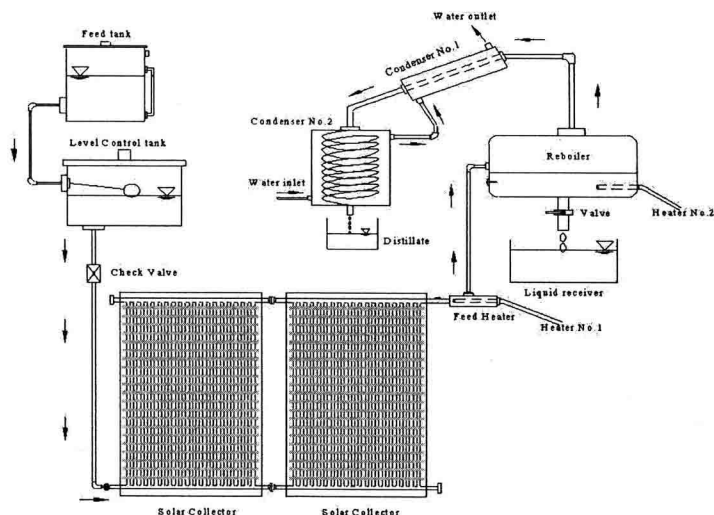
- การทดสอบเพื่อหาเทคนิคการกลั่นที่เหมาะสมสำหรับใช้สร้างเครื่องกลั่นเอทานอลที่จะนำไปใช้งานจริง การดำเนินงานในส่วนนี้จะดำเนินการทดสอบเครื่องกลั่นเอทานอลแบบแบ่งครั้งเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบเครื่องกลั่นเอทานอลแบบต่อเนื่องที่ได้จากการออกแบบเพิ่มเติมในส่วนนี้ โดยการทดสอบเครื่องกลั่นที่ใช้เทคนิคการกลั่นทั้งสองรูปแบบจะใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการทดสอบจากส่วนแรกเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อน

- การออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ที่เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับนำไปพัฒนาเป็นเครื่องกลั่นที่จะใช้งานจริง การดำเนินการในส่วนนี้ จะนำเอาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการทดสอบในส่วนแรก และเทคนิคการกลั่นที่ได้จากการทดสอบในส่วนที่สอง มาสร้างเป็นเครื่องกลั่นเอทานอลที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อนในกระบวนการกลั่น โดยมีหลักการในการออกแบบเครื่องกลั่น คือ พยายามลดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มากที่สุด

- ทดสอบหาความสามารถในการกลั่นเอทานอลของเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า การดำเนินการส่วนนี้ จะดำเนินการทดสอบเพื่อดูสมรรถนะในการกลั่นของเครื่องกลั่นต้นแบบ และดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเครื่องกลั่นให้มีสมรรถนะการกลั่นตามต้องการ เก็บข้อมูลเพื่อนำไปพัฒนาสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่จะนำไปใช้งานจริงในปีที่ 2 ต่อไป ซึ่งผลการทดสอบในส่วนนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบเบื้องต้นจะได้ว่าเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้ในการกลั่นเอทานอล จึงได้นำเอาเทคนิคการกลั่นและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังกล่าว มาใช้ในการสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลเชิงปริมาณที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนภาพการทำงานของเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

โดยเครื่องกลั่นที่สร้างขึ้น จะใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง การป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบกลั่นจะอาศัยแรงโน้มถ่วงในการสร้างอัตราการไหลของสารละลาย ใช้ความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ประมาณ 4 ตารางเมตร ในการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลาย และใช้กำลังไฟฟ้า 4000 W เพื่อให้สารละลายระเหยเป็นไอ โดยแยกเป็นสองส่วน คือ ให้กำลังไฟฟ้า 2000 W ที่จุดให้ความร้อนสารป้อน ที่ส่วนนี้สารละลายจะถูกทำให้มีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น ผลักดันให้สารละลายเคลื่อนที่ไปตามท่อเข้าสู่หม้อต้มซ้ำ ที่ส่วนนี้สารละลายจะแยกออกเป็นสองส่วนคือ ไอ และของเหลว ส่วนที่เป็นไอจะไหลไปตามท่อเข้าควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ ส่วนที่เป็นของเหลวจะถูกให้ความร้อนในหม้อต้มซ้ำอีกครั้งเพื่อแยกเอทานอลส่วนที่เหลือในของเหลวโดยใช้กำลังไฟฟ้า 2000 W ในการทดสอบกลั่นเอทานอลจะใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์ (จากการผสมระหว่างเอทานอล 99% กับน้ำ) ผลการทดสอบพบว่า เครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า สามารถใช้กลั่นเอทา

นอลได้ดี อัตราการกลั่นเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งสามารถควบคุมให้ความเข้มข้นและอัตราการกลั่นคงที่ตลอดการกลั่นได้ โดยมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอัตราการกลั่นในช่วงเวลาต่างๆ บ้าง ซึ่งเป็นผลจากค่าความเข้มข้นของรังสีอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในช่วงเวลาต่าง โดยผลการทดสอบสรุปได้ว่า เครื่องกลั่นให้อัตราการกลั่น 5.50 ลิตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 16,060 ลิตรต่อปี ที่ความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้ 48 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากผลการทดสอบที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมานงานวิจัยนี้จะให้อัตราการกลั่นที่ดีกว่า จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปทดสอบและพัฒนาเป็นเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้จริงในปีที่ 2 ต่อไป

บรรณานุกรม

- ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ นรกด ตันติเจริญ. 2524. การทำแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ. การประชุมทางวิชาการ เรื่องปัญหาพลังงานและการแก้ไข.
- เกษตร ชัยมณีวงศ์. 2525. การกลั่นแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักมันสำปะหลังด้วยแสงอาทิตย์. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จิรศักดิ์ จิระวารี และวีระชัย แก่นทรัพย์. 2523. เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยแสงอาทิตย์. ปรินญา นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นิกร มังกรทอง, ผ่องศรี มังกรทอง และ วินัย เลิศสุรวัฒน์. 2528. แก๊สโซฮอล์จากเอทานอลพลังงานแสงแดด. กรุงเทพฯ : การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 5 เรื่อง “พลังงานนอกแบบและการประยุกต์” ณ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ปกรณ์ นุชน้อย. 2526. การศึกษากระบวนการการถ่ายเทมวลและความร้อนในเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปรินญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Duffie, J.A and Beckman, W.a., 1991. *Solar Engineering and Thermal Process*. New York : John Willey and Sons. pp. 11-97. 229-322.
- ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. 2537. การออกแบบระบบพลังงานความร้อน. คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ASHRAE, Standard 93-77. 1997. *Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors*. New York : American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers.

ภาคผนวก ก

**ผลการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ**

ตาราง ก.1 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L,\text{Reboiler}}$	$T_{V,\text{Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	23.4	24..8	20	-	-
8:15	0.10	380	23.7	25.7	20.8	-	-
8:30	0.10	400	24.1	26.2	21.9	-	-
8:45	0.10	400	24.7	26.7	22.7	-	-
9:00	0.11	420	25.7	32.0	23.5	-	-
9:15	0.13	500	26.8	32.9	15.9	-	-
9:30	0.12	460	26.8	40.4	25.1	-	-
9:45	0.11	440	26.1	46.1	27.2	-	-
10:00	0.13	500	26.4	51.4	29.5	-	-
10:15	0.12	480	26.3	53.0	30.0	-	-
10:30	0.16	640	27.7	60.1	34.1	-	-
10:45	0.20	800	29.1	70.5	41.6	-	-
11:00	0.21	820	28.6	79.2	51.4	-	-
11:15	0.22	860	29.5	85.7	78.8	-	-
11:30	0.24	940	29.7	91.4	91.3	238	58
11:45	0.24	960	30.8	91.4	91.2	558	55
12:00	0.23	920	30.5	91.4	91.0	520	51
12:15	0.22	880	29.1	92.0	91.4	329	49
12:30	0.23	900	30.4	92.5	92.3	213	47
12:45	0.24	940	30.6	93.2	93.1	398	43
13:00	0.23	920	30.9	93.5	93.6	368	40
13:15	0.23	900	30.9	94.4	94.3	325	36
13:30	0.23	900	30.6	94.5	94.6	392	33
13:45	0.22	880	30.1	95.4	95.3	161	31
14:00	0.23	900	30.7	96.0	96.2	159	30
14:15	0.22	880	30.7	96.2	96.3	124	28
14:30	0.21	840	30.7	95.7	95.5	93	27
14:45	0.20	800	30.9	95.8	92.4	32	27
15:00	0.20	780	30.6	95.9	64.6	10	27

เอทานอลที่กลั่นได้ 3.92 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 44 %v/v

ตาราง ก.2 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

Time	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L,\text{Reboiler}}$	$T_{V,\text{Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	19.5	24.4	27.3	-	-
8:15	0.12	480	20.1	25.7	26.3	-	-
8:30	0.09	360	30.7	28.1	26.7	-	-
8:45	0.14	560	21.1	32.1	28.7	-	-
9:00	0.16	640	22.0	38.0	32.1	-	-
9:15	0.16	640	22.7	44.8	36.8	-	-
9:30	0.18	720	24.0	51.4	43.4	-	-
9:45	0.20	800	25.2	58.5	50.7	-	-
10:00	0.20	800	25.1	65.1	58.2	-	-
10:15	0.20	800	25.8	71.1	65.5	-	-
10:30	0.23	920	27.2	76.4	72.1	-	-
10:45	0.21	840	27.5	81.5	78.3	-	-
11:00	0.23	920	27.1	86.1	83.5	-	-
11:15	0.23	920	27.1	89.5	88.8	-	-
11:30	0.24	960	27.4	91.6	91.6	176	45
11:45	0.23	920	27.7	91.9	91.9	259	55
12:00	0.23	920	28.1	92.5	92.5	306	55
12:15	0.21	840	28.7	92.7	92.8	205	53
12:30	0.22	880	29.0	93.1	93.2	275	53
12:45	0.21	840	29.9	93.4	93.5	261	50
13:00	0.21	840	30.7	93.8	93.8	272	49
13:15	0.22	880	30.6	94.2	94.3	285	45
13:30	0.20	800	30.9	94.6	94.5	236	45
13:45	0.18	720	31.0	94.9	94.8	169	41
14:00	0.18	720	30.0	95.0	95.0	109	39
14:15	0.16	640	31.0	94.3	93.7	58	38
14:30	0.20	800	31.1	95.0	94.5	43	38
14:45	0.15	600	31.6	93.7	92.5	30	36
15:00	0.12	480	31.1	91.6	90.5	10	36

เอทานอลที่กลั่นได้ 2.69 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 48 %v/v

ตาราง ก.3 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 3

Time	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	21.3	28.9	26.1	-	-
8:15	0.03	120	22.0	30.1	26.8	-	-
8:30	0.05	200	22.7	33.2	27.3	-	-
8:45	0.08	320	23.4	37.7	29.0	-	-
9:00	0.13	520	24.0	41.3	30.2	-	-
9:15	0.13	520	24.9	47.1	33.6	-	-
9:30	0.14	560	26.0	53.3	39.1	-	-
9:45	0.15	600	26.2	58.6	46.6	-	-
10:00	0.16	640	26.4	64.1	55.6	-	-
10:15	0.17	680	26.1	69.0	63.7	-	-
10:30	0.16	640	28.6	74.0	71.2	-	-
10:45	0.20	800	26.9	79.3	75.2	-	-
11:00	0.21	840	29.1	84.2	77.7	-	-
11:15	0.20	800	29.0	88.9	79.1	-	-
11:30	0.23	920	29.8	91.4	91.1	200	57
11:45	0.23	920	30.3	92.2	91.9	349	56
12:00	0.24	960	29.6	92.8	92.5	376	55
12:15	0.22	880	30.1	93.2	92.9	312	53
12:30	0.23	920	30.8	93.8	93.5	360	51
12:45	0.21	840	31.1	94.3	94.0	306	49
13:00	0.13	520	30.7	94.6	94.3	185	48
13:15	0.12	480	29.9	94.8	94.5	98	47
13:30	0.10	400	31.1	94.9	94.6	55	46
13:45	0.10	400	31.4	95.0	94.7	45	46
14:00	0.10	400	30.4	95.1	94.8	53	46
14:15	0.10	400	31.3	95.2	94.9	55	46
14:30	0.12	480	30.8	95.3	95.0	89	45
14:45	0.17	680	32.7	95.6	95.3	150	44
15:00	0.13	520	31.4	95.9	95.6	110	43

เอทานอลที่กลั่นได้ 2.74 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 49 %v/v

ตาราง ก.4 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 4

Time hr	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L,\text{Reboiler}}$	$T_{V,\text{Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	21.6	25.8	29.9	-	-
8:15	0.04	160	22.1	27.5	32.6	-	-
8:30	0.05	200	23.1	31.8	35.8	-	-
8:45	0.06	240	24.5	37.9	38.4	-	-
9:00	0.14	560	24.4	44.5	41.2	-	-
9:15	0.15	600	24.2	51.3	46.1	-	-
9:30	0.17	680	25.6	57.7	50.1	-	-
9:45	0.18	720	27.2	63.6	53.6	-	-
10:00	0.19	760	26.4	69.3	61.1	-	-
10:15	0.20	800	28.0	74.8	67.3	-	-
10:30	0.19	760	28.7	79.6	72.7	-	-
10:45	0.18	720	28.4	84.3	78.7	-	-
11:00	0.20	800	28.8	88.5	86.2	-	-
11:15	0.21	840	28.2	91.4	90.7	210	58
11:30	0.23	920	29.3	91.9	91.5	310	57
11:45	0.24	960	30.7	92.3	91.9	340	56
12:00	0.23	920	30.6	92.9	92.4	310	53
12:15	0.22	880	30.5	93.2	93.0	305	51
12:30	0.22	880	30.5	93.7	93.5	305	49
12:45	0.22	880	30.3	94.0	93.6	300	44
13:00	0.21	840	30.4	94.4	94.1	280	42
13:15	0.21	840	31.4	94.7	94.7	270	40
13:30	0.20	800	32.7	95.0	94.9	255	38
13:45	0.19	760	31.4	95.4	95.4	250	34
14:00	0.18	720	31.1	95.6	95.5	210	30
14:15	0.17	680	31.1	95.9	95.7	200	28
14:30	0.17	680	32.1	96.0	95.9	180	27
14:45	0.16	640	31.4	96.2	96.0	160	26
15:00	0.15	600	31.1	96.5	96.2	150	25

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.03 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 42 %v/v

ตาราง ก.5 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 5

Time	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L, \text{Reboiler}}$	$T_{V, \text{Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	23.4	26.5	23.7	-	-
8:15	0.04	160	23.7	26.7	24.7	-	-
8:30	0.07	280	24.1	26.7	25.4	-	-
8:45	0.11	440	24.7	27.2	28.1	-	-
9:00	0.13	520	25.7	31.7	31.1	-	-
9:15	0.13	520	26.8	39.4	34.9	-	-
9:30	0.12	480	26.8	44.3	37.9	-	-
9:45	0.11	440	26.1	47.8	41.1	-	-
10:00	0.13	520	26.4	52.0	44.9	-	-
10:15	0.12	480	26.3	54.7	48.4	-	-
10:30	0.16	640	27.7	59.5	52.7	-	-
10:45	0.20	800	29.1	67.2	60.4	-	-
11:00	0.21	840	28.6	74.8	68.7	-	-
11:15	0.20	800	29.5	86.4	75.7	-	-
11:30	0.24	960	29.7	88.4	88.0	-	-
11:45	0.24	960	30.8	91.2	91.0	102	58
12:00	0.23	920	30.5	92.0	92.0	393	57
12:15	0.22	880	29.1	92.5	92.3	300	55
12:30	0.23	920	30.4	92.8	92.7	333	53
12:45	0.24	960	30.6	93.4	93.3	370	51
13:00	0.23	920	30.9	93.8	93.8	356	48
13:15	0.23	920	30.9	94.3	94.3	354	44
13:30	0.23	920	30.6	94.9	94.9	339	43
13:45	0.22	880	30.1	95.3	95.2	264	39
14:00	0.23	920	30.7	95.5	95.5	273	38
14:15	0.22	880	30.7	95.9	95.9	264	33
14:30	0.21	840	30.7	96.2	96.2	246	33
14:45	0.20	800	30.9	96.4	96.3	227	31
15:00	0.19	760	30.6	96.7	96.7	192	27

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.01 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 40 %v/v

ตาราง ก.6 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ปริมาณสารละลายที่ไกลั่น 30 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time hr	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	24.5	25.0	22.0	-	-
8:15	0.09	340	24.9	25.7	23.4	-	-
8:30	0.09	360	25.8	26.3	23.6	-	-
8:45	0.10	380	26.2	25.4	24.2	-	-
9:00	0.10	400	27.0	24.0	23.1	-	-
9:15	0.10	400	26.9	29.2	24.2	-	-
9:30	0.15	580	27.9	41.0	31.0	-	-
9:45	0.18	700	28.7	48.8	33.9	-	-
10:00	0.15	600	28.7	56.1	35.7	-	-
10:15	0.18	700	29.7	63.3	38.6	-	-
10:30	0.20	800	29.9	69.6	41.7	-	-
10:45	0.21	840	30.7	75.8	45.6	-	-
11:00	0.22	880	30.6	79.2	49.3	-	-
11:15	0.23	900	31.6	84.3	62.8	-	-
11:30	0.23	920	31.9	89.2	87.7	161	61
11:45	0.24	940	32.4	90.5	90.9	483	47
12:00	0.23	920	31.4	91.6	92.1	473	56
12:15	0.23	920	31.7	91.8	92.2	477	51
12:30	0.23	920	32.2	92.6	93.1	481	51
12:45	0.23	920	32.7	92.5	92.9	475	49
13:00	0.22	880	32.6	92.5	92.9	368	47
13:15	0.20	780	32.6	91.9	90.1	56	46
13:30	0.22	880	33.1	93.4	93.6	324	45
13:45	0.19	740	32.7	93.3	66.5	78	44
14:00	0.22	880	33.0	93.9	91.0	145	43
14:15	0.21	820	33.4	93.9	94.0	200	40
14:30	0.20	800	33.5	94.0	94.1	182	39
14:45	0.19	760	33.2	93.8	93.3	93	38
15:00	0.18	720	33.4	93.4	92.9	44	37

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.04 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 50 %v/v

ตาราง ก.7 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 30 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

Time	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	19.1	23.3	20.7	-	-
8:15	0.11	440	19.7	24.3	21.4	-	-
8:30	0.13	520	19.8	26.5	22.9	-	-
8:45	0.14	560	20.2	29.9	25.4	-	-
9:00	0.16	640	21.5	34.8	29.1	-	-
9:15	0.19	760	22.2	40.8	33.5	-	-
9:30	0.20	800	23.4	47.0	38.7	-	-
9:45	0.18	720	23.4	53.3	45.0	-	-
10:00	0.20	800	24.7	59.4	52.0	-	-
10:15	0.21	840	24.7	65.2	58.5	-	-
10:30	0.22	880	24.8	70.8	65.2	-	-
10:45	0.23	920	25.6	76.0	71.3	-	-
11:00	0.22	880	25.9	80.8	77.5	-	-
11:15	0.23	920	26.8	85.1	82.4	-	-
11:30	0.23	920	26.8	88.7	88.3	-	-
11:45	0.25	1000	27.0	91.3	91.6	160	50
12:00	0.24	960	27.7	91.7	91.9	393	57
12:15	0.25	1000	27.7	92.1	92.4	407	55
12:30	0.24	960	27.6	92.5	92.7	410	54
12:45	0.24	960	28.5	98.1	93.3	387	52
13:00	0.23	920	27.6	93.4	93.5	343	50
13:15	0.22	880	28.4	93.3	93.8	301	49
13:30	0.22	880	28.6	94.1	94.3	269	48
13:45	0.21	840	29.8	94.1	94.2	207	47
14:00	0.20	800	29.0	94.3	94.3	161	45
14:15	0.19	760	29.0	94.4	94.4	123	44
14:30	0.20	800	28.9	94.5	94.4	99	43
14:45	0.17	680	29.7	94.4	93.7	51	40
15:00	0.18	720	30.0	93.7	93.6	28	40

เอทานอลที่กลั่นได้ 3.39 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 50 %v/v

ตาราง ก.8 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 40 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time hr	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L,\text{Reboiler}}$	$T_{V,\text{Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	23.5	28.5	26.9	-	-
8:15	0.11	440	23.9	29.6	27.6	-	-
8:30	0.14	560	24.4	31.1	28.5	-	-
8:45	0.16	640	24.5	33.7	30.1	-	-
9:00	0.17	680	25.4	38.5	33.9	-	-
9:15	0.17	680	26.7	43.4	37.8	-	-
9:30	0.20	800	27.4	48.5	42.1	-	-
9:45	0.20	800	28.0	53.9	46.9	-	-
10:00	0.21	840	28.1	59.4	52.7	-	-
10:15	0.22	880	28.0	64.8	59.0	-	-
10:30	0.23	920	29.8	69.9	64.8	-	-
10:45	0.23	920	29.6	75.1	70.5	-	-
11:00	0.24	960	29.8	80.0	76.0	-	-
11:15	0.24	960	30.5	84.4	81.1	-	-
11:30	0.24	960	32.7	88.7	87.4	-	-
11:45	0.25	1000	31.3	91.5	91.5	217	48
12:00	0.25	1000	32.7	91.8	91.8	553	58
12:15	0.23	920	31.5	92.2	92.2	537	58
12:30	0.24	960	32.6	92.4	92.5	540	56
12:45	0.24	960	32.9	93.0	93.2	547	54
13:00	0.23	920	33.1	93.5	93.5	485	52
13:15	0.21	840	32.4	93.5	93.5	259	51
13:30	0.22	880	33.1	93.9	94.0	363	50
13:45	0.21	840	32.8	94.2	94.3	319	47
14:00	0.21	840	32.9	94.4	94.4	245	46
14:15	0.21	840	33.4	94.4	94.5	216	44
14:30	0.19	760	33.4	94.4	94.6	172	42
14:45	0.18	720	32.9	94.5	94.4	114	42
15:00	0.18	720	33.7	94.4	93.7	42	40

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.60 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 52 %v/v

ตาราง ก.9 ผลกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L, \text{Reboiler}}$	$T_{V, \text{Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	23.4	26.4	24.9	-	-
8:15	0.10	380	23.7	27.3	26.1	-	-
8:30	0.10	400	24.1	27.9	26.9	-	-
8:45	0.10	400	24.7	33.5	31.0	-	-
9:00	0.11	420	25.7	42.2	37.9	-	-
9:15	0.13	500	26.8	52.3	47.7	-	-
9:30	0.12	460	26.8	56.7	52.4	-	-
9:45	0.11	440	26.1	58.8	54.9	-	-
10:00	0.13	500	26.4	64.1	60.4	-	-
10:15	0.12	480	26.3	64.7	61.9	-	-
10:30	0.16	640	27.7	71.4	67.4	-	-
10:45	0.20	800	29.1	80.6	78.3	-	-
11:00	0.21	820	28.6	87.9	86.6	-	-
11:15	0.22	860	29.5	92.2	92.0	174	58
11:30	0.24	940	29.7	92.9	92.9	388	55
11:45	0.24	960	30.8	93.5	93.6	392	51
12:00	0.23	920	30.5	94.1	94.1	380	50
12:15	0.22	880	29.1	94.0	93.2	238	45
12:30	0.23	900	30.4	94.8	94.9	255	44
12:45	0.24	940	30.6	95.3	95.3	324	40
13:00	0.23	920	30.9	95.8	95.6	320	37
13:15	0.23	900	30.9	96.1	96.1	304	33
13:30	0.23	900	30.6	96.5	96.7	300	30
13:45	0.22	880	30.1	96.8	97.0	230	28
14:00	0.23	900	30.7	97.2	97.3	266	25
14:15	0.22	880	30.7	97.4	97.6	257	22
14:30	0.21	840	30.7	97.7	97.8	223	22
14:45	0.20	800	30.9	97.8	97.8	185	20
15:00	0.20	780	30.6	97.9	98.0	142	19

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.37 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 39 %v/v

ตาราง ก.10 ผลกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ
ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L,\text{Reboiler}}$	$T_{V,\text{Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	25.0	31.2	28.1	-	-
8:15	0.04	140	25.5	33.5	30.5	-	-
8:30	0.10	400	26.2	36.9	33.7	-	-
8:45	0.12	480	27.4	42.7	38.9	-	-
9:00	0.14	577	28.3	49.0	45.3	-	-
9:15	0.18	720	29.5	55.6	52.3	-	-
9:30	0.19	771	28.7	63.2	60.1	-	-
9:45	0.20	785	30.9	70.8	68.0	-	-
10:00	0.23	911	30.6	77.9	75.9	-	-
10:15	0.24	940	32.1	84.8	83.6	-	-
10:30	0.24	963	30.1	87.0	85.7	-	-
10:45	0.25	980	33.0	90.4	90.4	-	-
11:00	0.25	980	33.7	92.0	92.2	290	49
11:15	0.24	960	32.6	92.9	92.9	328	53
11:30	0.25	980	33.3	93.5	93.5	358	48
11:45	0.25	980	33.1	94.1	94.1	350	45
12:00	0.25	980	34.6	94.7	94.7	360	41
12:15	0.24	960	33.7	95.2	95.1	370	38
12:30	0.24	940	34.8	95.8	95.6	360	35
12:45	0.24	940	33.9	96.2	95.9	260	33
13:00	0.23	920	34.4	96.6	96.5	307	31
13:15	0.23	920	35.6	97.0	96.8	319	28
13:30	0.24	969	34.8	97.3	97.0	310	25
13:45	0.25	983	33.8	97.6	97.4	188	22
14:00	0.23	918	34.7	97.6	97.4	279	22
14:15	0.22	865	34.8	97.9	97.8	262	20
14:30	0.20	806	35.2	98.2	98.0	245	16
14:45	0.19	747	35.5	98.4	98.1	204	16
15:00	0.16	643	34.7	98.4	98.1	170	16

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.96 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 34 %v/v

ตาราง ก.11 ผลกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ ปริมาณสารละลายที่ไกลั่น 30 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L,\text{Reboiler}}$	$T_{V,\text{Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	24.5	28.1	24.0	-	-
8:15	0.09	340	24.9	28.1	24.0	-	-
8:30	0.09	360	25.8	28.8	28.9	-	-
8:45	0.10	380	26.2	30.1	29.9	-	-
9:00	0.10	400	27.0	31.3	31.6	-	-
9:15	0.10	400	26.9	36.3	28.0	-	-
9:30	0.15	580	27.9	45.9	43.4	-	-
9:45	0.18	700	28.7	53.6	47.7	-	-
10:00	0.15	600	28.7	60.6	55.8	-	-
10:15	0.18	700	29.7	67.0	62.8	-	-
10:30	0.20	800	29.9	73.9	70.5	-	-
10:45	0.21	840	30.7	79.9	76.7	-	-
11:00	0.22	880	30.6	85.4	83.4	-	-
11:15	0.23	900	31.6	90.3	91.1	95	58
11:30	0.23	920	31.9	92.0	92.4	353	57
11:45	0.24	940	32.4	92.5	92.9	439	55
12:00	0.23	920	31.4	92.9	92.3	427	52
12:15	0.23	920	31.7	93.2	93.6	415	50
12:30	0.23	920	32.2	93.7	94.0	413	47
12:45	0.23	920	32.7	94.1	94.4	405	44
13:00	0.22	880	32.6	94.4	94.4	357	43
13:15	0.20	780	32.6	94.5	94.8	154	42
13:30	0.22	880	33.1	94.8	95.2	365	41
13:45	0.19	740	32.7	94.9	95.1	136	40
14:00	0.22	880	33.0	95.3	95.6	295	39
14:15	0.21	820	33.4	95.6	95.8	291	36
14:30	0.20	800	33.5	95.8	96.0	268	35
14:45	0.19	760	33.2	96.1	96.2	218	32
15:00	0.18	720	33.4	96.2	96.3	169	30

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.80 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 45 %v/v

ตาราง ก.12 ผลกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ
ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 30 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L,Reboiler}$	$T_{V,Reboiler}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	25.1	30.0	26.1	-	-
8:15	0.05	200	25.3	32.1	28.3	-	-
8:30	0.12	480	25.9	35.5	30.5	-	-
8:45	0.15	600	26.7	40.6	34.4	-	-
9:00	0.14	560	26.7	45.2	38.7	-	-
9:15	0.18	720	28.7	52.1	44.8	-	-
9:30	0.19	760	28.8	59.8	51.8	-	-
9:45	0.19	760	29.1	65.3	59.2	-	-
10:00	0.20	800	29.1	71.4	65.8	-	-
10:15	0.22	880	29.4	76.9	72.8	-	-
10:30	0.23	920	29.5	82.7	78.4	-	-
10:45	0.24	960	31.0	88.3	87.0	-	-
11:00	0.23	920	31.7	91.7	91.7	-	-
11:15	0.25	1000	31.1	92.0	91.9	261	57
11:30	0.25	1000	31.5	92.5	92.5	300	55
11:45	0.24	960	31.7	93.1	93.1	420	54
12:00	0.25	1000	32.7	93.4	93.4	410	51
12:15	0.24	960	33.4	93.8	93.8	410	48
12:30	0.24	960	32.1	94.2	94.2	400	47
12:45	0.24	960	32.1	94.7	94.7	415	44
13:00	0.24	960	33.0	95.0	95.0	400	42
13:15	0.25	1000	32.1	95.5	95.3	350	40
13:30	0.21	840	32.7	95.8	95.7	347	37
13:45	0.23	920	34.5	96.0	95.9	327	34
14:00	0.21	840	33.3	96.5	96.4	289	32
14:15	0.21	840	33.7	96.7	96.5	230	30
14:30	0.20	800	33.1	96.9	96.7	179	28
14:45	0.18	720	33.9	97.1	96.9	137	26
15:00	0.18	720	34.2	97.2	97.0	103	24

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.97 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 42 %v/v

ตาราง ก.13 ผลกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 40 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time (min)	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	25.8	33.6	31.8	-	-
8:15	0.13	520	26.1	31.9	31.7	-	-
8:30	0.11	440	26.4	34.1	32.8	-	-
8:45	0.18	720	27.1	35.2	33.2	-	-
9:00	0.19	760	28.2	42.4	39.3	-	-
9:15	0.21	840	28.6	48.8	43.5	-	-
9:30	0.19	760	29.4	54.3	49.2	-	-
9:45	0.22	880	30.7	59.9	54.5	-	-
10:00	0.22	880	30.8	65.6	60.5	-	-
10:15	0.23	920	31.2	70.7	66.8	-	-
10:30	0.23	920	31.3	75.7	71.7	-	-
10:45	0.23	920	31.4	80.4	77.6	-	-
11:00	0.21	840	31.2	84.6	81.5	-	-
11:15	0.21	840	31.0	86.6	84.5	-	-
11:30	0.20	800	32.6	90.3	89.2	-	-
11:45	0.24	960	34.4	92.2	92.2	257	49
12:00	0.25	1000	32.2	92.5	92.3	462	56
12:15	0.24	960	34.0	92.3	92.1	441	54
12:30	0.24	960	33.8	93.0	93.0	453	53
12:45	0.24	960	34.2	93.4	93.4	446	52
13:00	0.24	960	34.1	93.7	93.7	448	51
13:15	0.24	960	34.2	94.0	93.9	435	48
13:30	0.22	880	34.2	94.2	94.2	408	46
13:45	0.16	640	32.1	93.4	93.4	279	44
14:00	0.20	800	33.2	94.7	94.7	270	43
14:15	0.14	560	33.2	94.7	94.6	138	42
14:30	0.16	640	33.4	94.9	94.8	204	42
14:45	0.16	640	33.2	95.0	94.9	181	41
15:00	0.09	360	32.7	94.8	93.6	57	38

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.47 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 49 %v/v

ภาคผนวก ข

**ผลการทดลองกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง
และเทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง**

ตาราง ข.1 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครึ่ง
ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L,Reboiler}$	$T_{V,Reboiler}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	23.4	24..8	20	-	-
8:15	0.10	380	23.7	25.7	20.8	-	-
8:30	0.10	400	24.1	26.2	21.9	-	-
8:45	0.10	400	24.7	26.7	22.7	-	-
9:00	0.11	420	25.7	32.0	23.5	-	-
9:15	0.13	500	26.8	32.9	15.9	-	-
9:30	0.12	460	26.8	40.4	25.1	-	-
9:45	0.11	440	26.1	46.1	27.2	-	-
10:00	0.13	500	26.4	51.4	29.5	-	-
10:15	0.12	480	26.3	53.0	30.0	-	-
10:30	0.16	640	27.7	60.1	34.1	-	-
10:45	0.20	800	29.1	70.5	41.6	-	-
11:00	0.21	820	28.6	79.2	51.4	-	-
11:15	0.22	860	29.5	85.7	78.8	-	-
11:30	0.24	940	29.7	91.4	91.3	238	58
11:45	0.24	960	30.8	91.4	91.2	558	55
12:00	0.23	920	30.5	91.4	91.0	520	51
12:15	0.22	880	29.1	92.0	91.4	329	49
12:30	0.23	900	30.4	92.5	92.3	213	47
12:45	0.24	940	30.6	93.2	93.1	398	43
13:00	0.23	920	30.9	93.5	93.6	368	40
13:15	0.23	900	30.9	94.4	94.3	325	36
13:30	0.23	900	30.6	94.5	94.6	392	33
13:45	0.22	880	30.1	95.4	95.3	161	31
14:00	0.23	900	30.7	96.0	96.2	159	30
14:15	0.22	880	30.7	96.2	96.3	124	28
14:30	0.21	840	30.7	95.7	95.5	93	27
14:45	0.20	800	30.9	95.8	92.4	32	27
15:00	0.20	780	30.6	95.9	64.6	10	27

เอทานอลที่กลั่นได้ 3.92 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 44 %v/v

ตาราง ข.2 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครั้ง ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

Time hr	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	21.6	25.8	29.9	-	-
8:15	0.04	160	22.1	27.5	32.6	-	-
8:30	0.05	200	23.1	31.8	35.8	-	-
8:45	0.06	240	24.5	37.9	38.4	-	-
9:00	0.14	560	24.4	44.5	41.2	-	-
9:15	0.15	600	24.2	51.3	46.1	-	-
9:30	0.17	680	25.6	57.7	50.1	-	-
9:45	0.18	720	27.2	63.6	53.6	-	-
10:00	0.19	760	26.4	69.3	61.1	-	-
10:15	0.20	800	28.0	74.8	67.3	-	-
10:30	0.19	760	28.7	79.6	72.7	-	-
10:45	0.18	720	28.4	84.3	78.7	-	-
11:00	0.20	800	28.8	88.5	86.2	-	-
11:15	0.21	840	28.2	91.4	90.7	210	58
11:30	0.23	920	29.3	91.9	91.5	310	57
11:45	0.24	960	30.7	92.3	91.9	340	56
12:00	0.23	920	30.6	92.9	92.4	310	53
12:15	0.22	880	30.5	93.2	93.0	305	51
12:30	0.22	880	30.5	93.7	93.5	305	49
12:45	0.22	880	30.3	94.0	93.6	300	44
13:00	0.21	840	30.4	94.4	94.1	280	42
13:15	0.21	840	31.4	94.7	94.7	270	40
13:30	0.20	800	32.7	95.0	94.9	255	38
13:45	0.19	760	31.4	95.4	95.4	250	34
14:00	0.18	720	31.1	95.6	95.5	210	30
14:15	0.17	680	31.1	95.9	95.7	200	28
14:30	0.17	680	32.1	96.0	95.9	180	27
14:45	0.16	640	31.4	96.2	96.0	160	26
15:00	0.15	600	31.1	96.5	96.2	150	25

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.03 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 42 %v/v

ตาราง ข.3 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครึ่ง ปริมาณสารละลายที่ใส่กลั่น 20 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 3

Time hr	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	23.4	26.5	23.7	-	-
8:15	0.04	160	23.7	26.7	24.7	-	-
8:30	0.07	280	24.1	26.7	25.4	-	-
8:45	0.11	440	24.7	27.2	28.1	-	-
9:00	0.13	520	25.7	31.7	31.1	-	-
9:15	0.13	520	26.8	39.4	34.9	-	-
9:30	0.12	480	26.8	44.3	37.9	-	-
9:45	0.11	440	26.1	47.8	41.1	-	-
10:00	0.13	520	26.4	52.0	44.9	-	-
10:15	0.12	480	26.3	54.7	48.4	-	-
10:30	0.16	640	27.7	59.5	52.7	-	-
10:45	0.20	800	29.1	67.2	60.4	-	-
11:00	0.21	840	28.6	74.8	68.7	-	-
11:15	0.20	800	29.5	86.4	75.7	-	-
11:30	0.24	960	29.7	88.4	88.0	-	-
11:45	0.24	960	30.8	91.2	91.0	102	58
12:00	0.23	920	30.5	92.0	92.0	393	57
12:15	0.22	880	29.1	92.5	92.3	300	55
12:30	0.23	920	30.4	92.8	92.7	333	53
12:45	0.24	960	30.6	93.4	93.3	370	51
13:00	0.23	920	30.9	93.8	93.8	356	48
13:15	0.23	920	30.9	94.3	94.3	354	44
13:30	0.23	920	30.6	94.9	94.9	339	43
13:45	0.22	880	30.1	95.3	95.2	264	39
14:00	0.23	920	30.7	95.5	95.5	273	38
14:15	0.22	880	30.7	95.9	95.9	264	33
14:30	0.21	840	30.7	96.2	96.2	246	33
14:45	0.20	800	30.9	96.4	96.3	227	31
15:00	0.19	760	30.6	96.7	96.7	192	27

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.01 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 40 %v/v

ตาราง ข.4 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครึ่ง ปริมาณสารละลายที่ใส่กลั่น 30 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 4

Time	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
hr	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	24.5	25.0	22.0	-	-
8:15	0.09	340	24.9	25.7	23.4	-	-
8:30	0.09	360	25.8	26.3	23.6	-	-
8:45	0.10	380	26.2	25.4	24.2	-	-
9:00	0.10	400	27.0	24.0	23.1	-	-
9:15	0.10	400	26.9	29.2	24.2	-	-
9:30	0.15	580	27.9	41.0	31.0	-	-
9:45	0.18	700	28.7	48.8	33.9	-	-
10:00	0.15	600	28.7	56.1	35.7	-	-
10:15	0.18	700	29.7	63.3	38.6	-	-
10:30	0.20	800	29.9	69.6	41.7	-	-
10:45	0.21	840	30.7	75.8	45.6	-	-
11:00	0.22	880	30.6	79.2	49.3	-	-
11:15	0.23	900	31.6	84.3	62.8	-	-
11:30	0.23	920	31.9	89.2	87.7	161	61
11:45	0.24	940	32.4	90.5	90.9	483	47
12:00	0.23	920	31.4	91.6	92.1	473	56
12:15	0.23	920	31.7	91.8	92.2	477	51
12:30	0.23	920	32.2	92.6	93.1	481	51
12:45	0.23	920	32.7	92.5	92.9	475	49
13:00	0.22	880	32.6	92.5	92.9	368	47
13:15	0.20	780	32.6	91.9	90.1	56	46
13:30	0.22	880	33.1	93.4	93.6	324	45
13:45	0.19	740	32.7	93.3	66.5	78	44
14:00	0.22	880	33.0	93.9	91.0	145	43
14:15	0.21	820	33.4	93.9	94.0	200	40
14:30	0.20	800	33.5	94.0	94.1	182	39
14:45	0.19	760	33.2	93.8	93.3	93	38
15:00	0.18	720	33.4	93.4	92.9	44	37

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.04 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 50 %v/v

ตาราง ข.5 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครึ่ง ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 30 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 5

Time	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
hr	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	19.1	23.3	20.7	-	-
8:15	0.11	440	19.7	24.3	21.4	-	-
8:30	0.13	520	19.8	26.5	22.9	-	-
8:45	0.14	560	20.2	29.9	25.4	-	-
9:00	0.16	640	21.5	34.8	29.1	-	-
9:15	0.19	760	22.2	40.8	33.5	-	-
9:30	0.20	800	23.4	47.0	38.7	-	-
9:45	0.18	720	23.4	53.3	45.0	-	-
10:00	0.20	800	24.7	59.4	52.0	-	-
10:15	0.21	840	24.7	65.2	58.5	-	-
10:30	0.22	880	24.8	70.8	65.2	-	-
10:45	0.23	920	25.6	76.0	71.3	-	-
11:00	0.22	880	25.9	80.8	77.5	-	-
11:15	0.23	920	26.8	85.1	82.4	-	-
11:30	0.23	920	26.8	88.7	88.3	-	-
11:45	0.25	1000	27.0	91.3	91.6	160	50
12:00	0.24	960	27.7	91.7	91.9	393	57
12:15	0.25	1000	27.7	92.1	92.4	407	55
12:30	0.24	960	27.6	92.5	92.7	410	54
12:45	0.24	960	28.5	98.1	93.3	387	52
13:00	0.23	920	27.6	93.4	93.5	343	50
13:15	0.22	880	28.4	93.3	93.8	301	49
13:30	0.22	880	28.6	94.1	94.3	269	48
13:45	0.21	840	29.8	94.1	94.2	207	47
14:00	0.20	800	29.0	94.3	94.3	161	45
14:15	0.19	760	29.0	94.4	94.4	123	44
14:30	0.20	800	28.9	94.5	94.4	99	43
14:45	0.17	680	29.7	94.4	93.7	51	40
15:00	0.18	720	30.0	93.7	93.6	28	40

เอทานอลที่กลั่นได้ 3.39 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 50 %v/v

ตาราง ข.6 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคการกลั่นแบบแบ่งครึ่ง ปริมาณสารละลายที่ใช้กลั่น 40 ลิตร ความเข้มข้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 6

Time	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled	
hr	kWh/m^2	W/m^2	T_a	$T_{L,Reboiler}$	$T_{V,Reboiler}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	23.5	28.5	26.9	-	-
8:15	0.11	440	23.9	29.6	27.6	-	-
8:30	0.14	560	24.4	31.1	28.5	-	-
8:45	0.16	640	24.5	33.7	30.1	-	-
9:00	0.17	680	25.4	38.5	33.9	-	-
9:15	0.17	680	26.7	43.4	37.8	-	-
9:30	0.20	800	27.4	48.5	42.1	-	-
9:45	0.20	800	28.0	53.9	46.9	-	-
10:00	0.21	840	28.1	59.4	52.7	-	-
10:15	0.22	880	28.0	64.8	59.0	-	-
10:30	0.23	920	29.8	69.9	64.8	-	-
10:45	0.23	920	29.6	75.1	70.5	-	-
11:00	0.24	960	29.8	80.0	76.0	-	-
11:15	0.24	960	30.5	84.4	81.1	-	-
11:30	0.24	960	32.7	88.7	87.4	-	-
11:45	0.25	1000	31.3	91.5	91.5	217	48
12:00	0.25	1000	32.7	91.8	91.8	553	58
12:15	0.23	920	31.5	92.2	92.2	537	58
12:30	0.24	960	32.6	92.4	92.5	540	56
12:45	0.24	960	32.9	93.0	93.2	547	54
13:00	0.23	920	33.1	93.5	93.5	485	52
13:15	0.21	840	32.4	93.5	93.5	259	51
13:30	0.22	880	33.1	93.9	94.0	363	50
13:45	0.21	840	32.8	94.2	94.3	319	47
14:00	0.21	840	32.9	94.4	94.4	245	46
14:15	0.21	840	33.4	94.4	94.5	216	44
14:30	0.19	760	33.4	94.4	94.6	172	42
14:45	0.18	720	32.9	94.5	94.4	114	42
15:00	0.18	720	33.7	94.4	93.7	42	40

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.60 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 52 %v/v

ตาราง ข.7 ผลการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง
ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
hr	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	19.0	38.4	38.0	-	-
8:15	0.02	80	19.4	37.6	37.3	-	-
8:30	0.03	120	20.2	37.2	36.2	-	-
8:45	0.04	160	20.5	37.6	35.5	-	-
9:00	0.09	360	20.9	39.5	37.3	-	-
9:15	0.10	400	21.7	43.3	40.5	-	-
9:30	0.11	440	22.5	49.7	45.3	-	-
9:45	0.12	480	23.7	56.9	52.8	-	-
10:00	0.14	560	24.4	63.9	60.6	-	-
10:15	0.16	640	24.9	70.5	68.5	-	-
10:30	0.17	680	24.7	77.2	75.7	-	-
10:45	0.18	720	25.0	84.0	83.1	-	-
11:00	0.18	720	25.7	90.0	89.7	-	-
11:15	0.20	800	26.9	92.7	92.6	226	56
11:30	0.20	800	26.9	93.1	93.0	260	54
11:45	0.21	840	26.4	93.6	93.6	299	52
12:00	0.22	880	27.4	93.8	93.7	312	50
12:15	0.22	880	27.9	94.2	94.1	315	48
12:30	0.22	880	27.6	94.3	94.3	314	46
12:45	0.22	880	28.6	94.5	94.5	310	45
13:00	0.22	880	27.8	94.7	94.7	313	44
13:15	0.22	880	28.5	94.9	94.7	310	43
13:30	0.22	880	28.0	95.0	95.0	317	42
13:45	0.21	840	28.5	95.2	95.1	300	41
14:00	0.21	840	28.1	95.3	95.1	302	40
14:15	0.19	760	28.2	95.3	95.3	270	40
14:30	0.19	760	28.6	95.3	95.3	253	40
14:45	0.18	720	28.9	95.3	95.1	235	40
15:00	0.16	640	28.7	95.3	95.3	207	40

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.54 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 44 %v/v

ตาราง ข.8 ผลการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง
ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

Time	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
hr	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0	18.7	26.1	26.1	-	-
8:15	0.03	120	18.8	26.7	26.8	-	-
8:30	0.05	200	19.1	27.4	27.3	-	-
8:45	0.08	320	20.0	29.1	29.0	-	-
9:00	0.10	400	20.5	31.6	30.2	-	-
9:15	0.10	400	21.4	36.2	33.6	-	-
9:30	0.11	440	22.6	43.4	39.1	-	-
9:45	0.13	520	23.1	51.4	46.6	-	-
10:00	0.14	560	23.9	59.0	55.6	-	-
10:15	0.16	640	24.3	66.3	63.7	-	-
10:30	0.17	680	24.7	73.1	71.2	-	-
10:45	0.18	720	25.7	82.7	78.2	-	-
11:00	0.18	720	25.9	86.0	84.7	100	58
11:15	0.19	760	26.4	91.0	91.0	200	57
11:30	0.21	840	25.7	92.3	92.2	246	56
11:45	0.21	840	27.2	92.9	92.8	296	55
12:00	0.21	840	26.4	93.4	93.4	278	52
12:15	0.22	880	27.4	93.9	93.9	296	48
12:30	0.21	840	26.3	94.4	94.3	270	47
12:45	0.21	840	27.4	94.5	94.4	282	46
13:00	0.21	840	27.4	94.9	94.7	279	45
13:15	0.21	840	26.6	95.2	95.2	285	43
13:30	0.21	840	27.2	95.4	95.3	290	41
13:45	0.21	840	26.9	95.7	95.6	289	40
14:00	0.20	800	27.1	95.9	95.7	279	38
14:15	0.19	760	27.3	96.0	95.9	265	36
14:30	0.19	760	27.4	96.2	95.9	229	34
14:45	0.17	680	26.7	96.1	95.9	215	34
15:00	0.16	640	27.4	96.0	95.9	182	33

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.28 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 40 %v/v

ตาราง ข.9 ผลการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบต่อเนื่อง
ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 7 ชั่วโมง ครั้งที่ 3

Time hr	I _T		Temperature (°C)			Distilled	
	kWh/m ²	W/m ²	T _a	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)
8:00	0.00	0.00	18.6	20.9	21.1	-	-
8:15	0.02	80.00	18.6	21.8	21.9	-	-
8:30	0.02	80.00	19.2	23.2	23.2	-	-
8:45	0.05	200.00	19.6	24.8	24.6	-	-
9:00	0.10	400.00	20.1	27.7	27.1	-	-
9:15	0.10	400.00	21.1	33.7	32.2	-	-
9:30	0.12	480.00	22.4	44.5	41.8	-	-
9:45	0.15	600.00	23.7	55.2	52.0	-	-
10:00	0.16	640.00	24.4	64.6	61.3	-	-
10:15	0.17	680.00	24.5	73.2	70.1	-	-
10:30	0.18	720.00	25.1	81.3	78.0	-	-
10:45	0.19	760.00	25.7	88.6	85.4	-	-
11:00	0.20	800.00	26.0	94.4	91.1	100	57
11:15	0.20	800.00	25.9	94.9	92.7	286	56
11:30	0.21	840.00	26.6	95.3	93.3	300	54
11:45	0.23	920.00	27.0	95.6	93.8	324	52
12:00	0.22	880.00	26.7	96.4	94.3	313	46
12:15	0.23	920.00	28.4	96.1	94.5	339	45
12:30	0.24	960.00	27.6	96.5	94.8	364	43
12:45	0.21	840.00	27.1	96.4	94.8	350	43
13:00	0.22	880.00	26.3	96.0	94.7	340	43
13:15	0.20	800.00	27.4	95.9	94.6	350	43
13:30	0.20	800.00	27.3	96.0	94.7	260	43
13:45	0.19	760.00	27.0	96.0	94.5	230	44
14:00	0.18	720.00	27.1	95.8	94.4	150	45
14:15	0.19	760.00	27.4	96.0	94.3	150	45
14:30	0.18	720.00	27.6	96.0	94.3	160	45
14:45	0.17	680.00	27.1	96.2	94.2	186	44
15:00	0.16	640.00	27.1	96.3	94.4	198	44

เอทานอลที่กลั่นได้ 4.40 L ความเข้มข้นเฉลี่ย 47 %v/v

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ตาราง ก.1 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time (min)	I _T		Temperature (°C)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m ²	W/m ²	T _{Feed Heater}	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	0.00	0	40.0	48.7	60.7			
5	0.03	360	88.1	79.0	93.2			
10	0.04	480	84.5	79.8	92.3	120	59	-
15	0.03	360	83.4	87.8	92.7			
20	0.04	480	84.7	91.4	93.2	730	54	-
25	0.04	480	86.8	93.3	92.9			
30	0.04	480	86.9	94.5	93.0	800	49	-
35	0.04	480	84.5	94.1	93.4			
40	0.05	600	83.5	94.7	93.8	780	47	3
45	0.04	480	82.2	95.0	94.1			
50	0.05	600	83.9	94.6	93.3	800	46	3
55	0.04	480	86.8	94.8	93.5			
60	0.06	720	85.7	95.2	94.2	790	46	3
65	0.04	480	83.3	95.0	94.1			
70	0.05	600	85.2	94.9	94.2	800	44	3
75	0.04	480	84.8	95.5	95.2			
80	0.05	600	88.1	96.0	95.6	820	44	3
85	0.06	720	87.6	96.1	95.6			
90	0.05	600	86.4	96.5	95.8	860	44	3
95	0.05	600	83.9	96.6	95.8			
100	0.06	720	86.9	96.5	95.8	940	43	3
105	0.06	720	87.3	97.1	95.8			
110	0.06	720	87.8	96.7	95.3	940	43	3
115	0.06	720	89.0	97.3	96.3			
120	0.02	240	83.5	96.3	95.9	900	43	3

เอทานอลที่กลั่นได้ 9.28 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0773 ลิตร/นาที่ ความเข้มข้น 45 %(V/V)

สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 80 ลิตร

อัตราการป้อนสาร 0.667 ลิตร/นาที่

ตาราง ก.2 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	0	0	38.3	33.1	39.9			
5	0.04	480	88.0	61.5	92.0			
10	0.04	480	86.3	86.8	93.3	120	57	-
15	0.04	480	87.5	91.0	93.9			
20	0.05	600	86.9	91.7	93.8	920	53	-
25	0.04	480	81.9	93.5	94.1			
30	0.03	360	82.2	93.9	93.7	800	48	3
35	0.05	600	83.0	95.1	94.4			
40	0.05	600	86.2	95.2	94.3	770	46	3
45	0.04	480	85.5	95.2	93.9			
50	0.06	720	86.1	95.1	94.2	840	46	3
55	0.05	600	82.5	95.1	94.2			
60	0.05	600	85.5	95.0	93.2	850	45	3
65	0.04	480	82.7	94.9	94.1			
70	0.05	600	82.4	94.7	93.2	860	45	3
75	0.04	480	81.6	95.0	94.1			
80	0.05	600	83.8	95.1	93.9	860	45	3
85	0.02	240	83.4	95.1	93.8			
90	0.06	720	84.5	95.1	94.1	820	45	3
95	0.04	480	80.2	95.0	94.3			
100	0.05	600	83.7	95.0	94.2	820	45	3
105	0.06	720	85.1	95.1	94.0			
110	0.05	600	84.4	95.3	93.8	880	45	3
115	0.03	360	83.9	95.3	94.6			
120	0.03	360	85.9	95.4	94.5	800	45	3

เอทานอลที่กลั่นได้ 9.34 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0775 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 47%(V/V)

สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 60 ลิตร

อัตราการป้อนสาร 0.500 ลิตร/นาที

ตาราง ค.3 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 3

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	0	0	33.6	37.7	31.7			
5	0.04	480	83.9	79.3	49.2			
10	0.02	240	76.2	88.4	72.9	120	59	
15	0.03	360	78.0	91.4	86.0			
20	0.03	360	81.7	92.5	88.1	920	57	
25	0.05	600	83.2	93.1	89.7			
30	0.06	720	83.3	92.6	91.6	920	51	4
35	0.05	600	83.9	93.2	92.3			
40	0.05	600	86.2	93.1	92.7	980	49	4
45	0.06	720	85.8	92.0	92.2			
50	0.05	600	81.6	93.4	92.2	940	49	4
55	0.04	480	85.1	92.6	92.3			
60	0.06	720	84.3	93.5	92.4	920	49	4
65	0.06	720	86.5	93.5	92.8			
70	0.05	600	81.9	92.9	92.6	1000	49	4
75	0.06	720	85.9	92.6	92.9			
80	0.05	600	80.9	93.8	93.1	1000	49	4
85	0.06	720	85.5	92.9	92.9			
90	0.05	600	85.3	92.4	92.6	920	49	4
95	0.04	480	79.6	93.5	92.5			
100	0.06	720	86.7	92.7	92.7	940	49	4
105	0.08	960	83.1	94.1	92.8			
110	0.06	720	88.0	95.2	93.1	1110	45	4
115	0.02	240	88.7	95.3	93.4			
120	0.05	600	85.5	95.5	94.1	1080	44	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 10.85 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0904 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 49%(V/V)

สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 53 ลิตร

อัตราการป้อนสาร 0.442 ลิตร/นาที

ตาราง ค.4 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 4

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	0	0	38.5	35.6	41.2			
5	0.05	600	85.2	67.6	85.7			
10	0.04	480	78.9	68.8	90.9	120	59	
15	0.05	600	84.5	88.5	92.5			
20	0.05	600	85.7	89.8	93.0	990	55	
25	0.04	480	84.0	91.0	93.7			
30	0.05	600	88.0	91.5	93.2	940	51	4
35	0.05	600	85.5	94.5	93.9			
40	0.05	600	83.0	93.9	93.6	900	50	4
45	0.06	720	82.8	94.7	93.1			
50	0.04	480	83.3	93.9	93.9	910	50	4
55	0.05	600	86.9	95.0	93.5			
60	0.06	720	84.2	95.1	94.2	900	49	4
65	0.06	720	83.0	95.0	93.2			
70	0.05	600	81.7	94.9	93.8	900	49	4
75	0.05	600	81.1	94.9	93.9			
80	0.06	720	85.5	94.8	93.7	870	50	4
85	0.07	840	87.1	94.8	93.2			
90	0.06	720	86.0	94.8	93.0	920	50	4
95	0.07	840	85.7	94.8	93.2			
100	0.06	720	85.1	95.0	93.7	980	50	4
105	0.07	840	84.6	94.4	93.5			
110	0.07	840	79.0	94.6	93.8	940	50	4
115	0.05	600	81.2	94.6	93.8			
120	0.07	840	84.5	94.8	93.9	940	51	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 10.31 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0859 ลิตร/นาทื ความเข้มข้น 53%(V/V)

สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 72 ลิตร

อัตราการป้อนสาร 0.600 ลิตร/นาทื

ตาราง ก.5 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	0	0	38.3	33.1	39.9			
5	0.04	480	88.0	61.5	92.0			
10	0.04	480	86.3	86.8	93.3	120	57	-
15	0.04	480	87.5	91.0	93.9			
20	0.05	600	86.9	91.7	93.8	920	53	-
25	0.04	480	81.9	93.5	94.1			
30	0.03	360	82.2	93.9	93.7	800	48	3
35	0.05	600	83.0	95.1	94.4			
40	0.05	600	86.2	95.2	94.3	770	46	3
45	0.04	480	85.5	95.2	93.9			
50	0.06	720	86.1	95.1	94.2	840	46	3
55	0.05	600	82.5	95.1	94.2			
60	0.05	600	85.5	95.0	93.2	850	45	3
65	0.04	480	82.7	94.9	94.1			
70	0.05	600	82.4	94.7	93.2	860	45	3
75	0.04	480	81.6	95.0	94.1			
80	0.05	600	83.8	95.1	93.9	860	45	3
85	0.02	240	83.4	95.1	93.8			
90	0.06	720	84.5	95.1	94.1	820	45	3
95	0.04	480	80.2	95.0	94.3			
100	0.05	600	83.7	95.0	94.2	820	45	3
105	0.06	720	85.1	95.1	94.0			
110	0.05	600	84.4	95.3	93.8	880	45	3
115	0.03	360	83.9	95.3	94.6			
120	0.03	360	85.9	95.4	94.5	800	45	3

ตาราง ก.5 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 1 (ต่อ)

Time	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
(min)	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
125	0.04	480	83.3	95.3	94.3			
130	0.02	240	84.2	95.4	94.7	800	45	3
135	0.04	480	82.1	95.4	94.7			
140	0.03	360	85.2	95.4	94.7	800	44	3
145	0.02	240	83.5	95.5	94.7			
150	0.02	240	85.6	95.6	94.4	770	44	3
155	0.04	480	83.7	95.6	94.6			
160	0.04	480	80.4	95.5	94.6	800	45	3
165	0.07	840	86.0	95.4	94.6			
170	0.07	840	86.9	95.3	93.6	900	46	3
175	0.07	840	87.0	95.3	93.7			
180	0.05	600	86.9	95.2	93.9	960	46	3
185	0.06	720	85.4	95.3	94.0			
190	0.03	360	88.5	95.3	93.9	960	46	3
195	0.01	120	85.8	95.2	93.7			
200	0.05	600	86.9	95.1	93.5	740	46	3
205	0.04	480	86.3	95.0	93.9			
210	0.04	480	82.5	94.7	93.6	880	46	3
215	0.02	240	85.5	94.3	93.1			
220	0.03	360	84.0	94.2	93.3	840	46	3
225	0.02	240	84.7	93.9	92.9			
230	0.01	120	87.5	93.8	92.6	830	46	3
235	0.03	360	82.1	94.1	93.1			
240	0.02	240	82.0	93.9	93.0	800	46	3
245	0.04	480	85.7	94.1	92.9			
250	0.05	600	86.6	94.3	93.0	870	46	3
255	0.08	960	82.8	94.4	93.7			
260	0.02	240	83.1	94.5	93.8	960	46	3

ตาราง ค.5 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า
ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)
ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 1 (ต่อ)

Time (min)	I _r		Temperature (°C)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m ²	W/m ²	T _{Feed Heater}	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
265	0.03	360	81.8	94.7	93.9			
270	0.02	240	82.1	94.7	93.8	860	46	3
275	0.02	240	84.8	94.5	93.6			
280	0.03	360	87.2	94.5	93.4	820	46	3
285	0.07	840	83.1	94.5	93.6			
290	0.03	360	84.6	94.6	93.8	910	46	3
295	0.02	240	84.2	94.6	93.9			
300	0.03	360	88.7	94.7	93.3	860	46	3

เอทานอลที่กลั่นได้ 24.70 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0823 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 46%(V/V)
สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 149 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.497 ลิตร/นาที

ตาราง ค.6 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

Time	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
(min)	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	0	0	33.6	37.7	31.7			
5	0.04	480	83.9	79.3	49.2			
10	0.02	240	76.2	88.4	72.9	120	59	
15	0.03	360	78.0	91.4	86.0			
20	0.03	360	81.7	92.5	88.1	920	57	
25	0.05	600	83.2	93.1	89.7			
30	0.06	720	83.3	92.6	91.6	920	51	4
35	0.05	600	83.9	93.2	92.3			
40	0.05	600	86.2	93.1	92.7	980	49	4
45	0.06	720	85.8	92.0	92.2			
50	0.05	600	81.6	93.4	92.2	940	49	4
55	0.04	480	85.1	92.6	92.3			
60	0.06	720	84.3	93.5	92.4	920	49	4
65	0.06	720	86.5	93.5	92.8			
70	0.05	600	81.9	92.9	92.6	1000	49	4
75	0.06	720	85.9	92.6	92.9			
80	0.05	600	80.9	93.8	93.1	1000	49	4
85	0.06	720	85.5	92.9	92.9			
90	0.05	600	85.3	92.4	92.6	920	49	4
95	0.04	480	79.6	93.5	92.5			
100	0.06	720	86.7	92.7	92.7	940	49	4
105	0.08	960	83.1	94.1	92.8			
110	0.06	720	88.0	95.2	93.1	1110	45	4
115	0.02	240	88.7	95.3	93.4			
120	0.05	600	85.5	95.5	94.1	1080	44	4
125	0.03	360	87.5	95.7	94.5			
130	0.03	360	82.4	94.0	92.0	970	44	4

ตาราง ค.6 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 2 (ต่อ)

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
135	0.02	240	84.8	93.2	92.6			
140	0.04	480	84.1	94.1	92.5	880	45	4
145	0.04	480	80.8	94.4	91.1			
150	0.02	240	86.6	93.2	92.6	920	46	4
155	0.03	360	79.2	93.4	92.9			
160	0.04	480	84.7	92.4	93.2	840	47	4
165	0.03	360	85.9	93.2	93.3			
170	0.03	360	80.9	93.7	92.7	900	48	4
175	0.02	240	82.5	93.9	92.9			
180	0.04	480	82.0	93.7	92.9	870	48	4
185	0.07	840	83.3	92.8	93.4			
190	0.05	600	82.4	93.5	92.7	960	49	4
195	0.04	480	82.3	92.6	92.9			
200	0.05	600	85.3	93.3	92.7	940	49	4
205	0.07	840	85.7	92.4	93.1			
210	0.07	840	84.2	92.2	92.7	990	49	4
215	0.07	840	83.7	92.3	92.4			
220	0.08	960	85.1	93.8	92.5	1140	49	4
225	0.08	960	89.2	95.0	93.1			
230	0.06	720	87.3	95.2	93.8	1250	48	4
235	0.05	600	85.1	95.6	94.1			
240	0.06	720	87.6	95.8	93.0	1100	47	4
245	0.05	600	86.3	95.9	92.2			
250	0.05	600	84.8	95.9	91.7	1080	46	4
255	0.05	600	87.2	96.1	92.3			
260	0.05	600	84.4	95.8	92.4	1060	45	4

ตาราง ค.6 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 2 (ต่อ)

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
265	0.02	240	83.2	94.1	91.7			
270	0.02	240	83.9	94.4	92.1	900	45	4
275	0.02	240	83.4	94.3	91.6			
280	0.01	120	85.9	93.9	91.8	820	45	4
285	0.01	120	85.5	93.2	93.5			
290	0.05	600	85.1	94.0	93.8	800	46	4
295	0.06	720	82.2	93.6	93.1			
300	0.03	360	81.6	94.4	93.6	920	47	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 28.19 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0939 ลิตร/นาฬิกา ความเข้มข้น 47%(V/V)
 สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 131 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.437 ลิตร/นาฬิกา

ตาราง ก.7 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า
 ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)
 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 3

Time	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
(min)	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	0	0	38.5	35.6	41.2			
5	0.05	600	85.2	67.6	85.7			
10	0.04	480	78.9	68.8	90.9	120	59	
15	0.05	600	84.5	88.5	92.5			
20	0.05	600	85.7	89.8	93.0	990	55	
25	0.04	480	84.0	91.0	93.7			
30	0.05	600	88.0	91.5	93.2	940	51	4
35	0.05	600	85.5	94.5	93.9			
40	0.05	600	83.0	93.9	93.6	900	50	4
45	0.06	720	82.8	94.7	93.1			
50	0.04	480	83.3	93.9	93.9	910	50	4
55	0.05	600	86.9	95.0	93.5			
60	0.06	720	84.2	95.1	94.2	900	49	4
65	0.06	720	83.0	95.0	93.2			
70	0.05	600	81.7	94.9	93.8	900	49	4
75	0.05	600	81.1	94.9	93.9			
80	0.06	720	85.5	94.8	93.7	870	50	4
85	0.07	840	87.1	94.8	93.2			
90	0.06	720	86.0	94.8	93.0	920	50	4
95	0.07	840	85.7	94.8	93.2			
100	0.06	720	85.1	95.0	93.7	980	50	4
105	0.07	840	84.6	94.4	93.5			
110	0.07	840	79.0	94.6	93.8	940	50	4
115	0.05	600	81.2	94.6	93.8			
120	0.07	840	84.5	94.8	93.9	940	51	4
125	0.07	840	85.5	94.8	93.3			
130	0.08	960	85.0	94.8	93.7	1020	51	4

ตาราง ก.7 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า
 ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)
 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 3 (ต่อ)

Time (min)	I _T		Temperature (°C)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m ²	W/m ²	T _{Feed Heater}	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
135	0.05	600	82.1	94.8	94.1			
140	0.07	840	84.1	94.4	92.7	960	50	4
145	0.07	840	83.7	94.7	93.5			
150	0.07	840	83.3	94.7	93.6	1020	50	4
155	0.06	720	86.3	94.6	92.8			
160	0.07	840	84.1	94.5	92.8	980	50	4
165	0.07	840	84.6	94.4	93.5			
170	0.07	840	82.1	94.7	92.9	980	50	4
175	0.08	960	81.5	94.7	93.5			
180	0.07	840	83.8	94.7	92.9	1020	50	4
185	0.07	840	86.9	94.4	93.2			
190	0.06	720	84.0	94.7	93.3	960	51	4
195	0.08	960	83.9	94.4	93.3			
200	0.07	840	85.7	94.4	93.2	1000	51	4
205	0.07	840	84.1	94.7	93.1			
210	0.07	840	83.8	94.6	93.7	1020	51	4
215	0.05	600	84.6	94.4	92.8			
220	0.08	960	85.3	94.3	92.9	960	51	4
225	0.06	720	78.5	94.8	93.9			
230	0.03	360	85.5	94.6	93.7	910	51	4
235	0.07	840	85.7	95.0	93.6			
240	0.06	720	85.0	94.9	93.8	940	50	4
245	0.07	840	84.5	94.7	93.8			
250	0.05	600	82.0	94.8	93.8	940	51	4
255	0.06	720	85.2	94.5	93.7			
260	0.07	840	85.2	94.5	93.2	980	51	4

ตาราง ค.7 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 3 (ต่อ)

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
265	0.04	480	81.9	94.8	93.9			
270	0.08	960	84.0	94.7	93.8	980	51	4
275	0.07	840	85.2	94.6	93.0			
280	0.08	960	87.5	95.0	94.4	1100	50	4
285	0.08	960	87.9	95.6	95.0			
290	0.08	960	88.0	96.1	95.5	1100	50	4
295	0.08	960	87.9	96.3	95.7			
300	0.06	720	87.9	96.5	95.4	1100	50	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 28.28 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0943 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 51 %(V/V)
 สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 180 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.600 ลิตร/นาที

ตาราง ก.8 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 4

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	0	0	40.8	48.7	60.7			
5	0.08	960	87.7	79.0	93.2			
10	0.08	960	84.3	79.8	92.3	420	57	4
15	0.06	720	83.0	87.8	92.7			
20	0.08	960	84.5	91.4	93.2	960	54	4
25	0.07	840	86.8	93.3	92.9			
30	0.09	1080	86.9	94.5	93.0	1080	52	4
35	0.06	720	84.5	94.1	93.4			
40	0.08	960	83.5	94.7	93.8	1040	51	4
45	0.07	840	81.2	95.0	94.1			
50	0.08	960	83.9	94.6	93.3	1020	51	4
55	0.07	840	86.6	94.8	93.5			
60	0.06	720	85.7	95.2	94.2	1100	51	4
65	0.09	1080	82.3	95.0	94.1			
70	0.09	1080	85.2	94.9	94.2	1140	51	4
75	0.08	960	84.8	95.5	95.2			
80	0.08	960	88.1	96.0	95.6	1300	48	4
85	0.08	960	87.6	96.1	95.6			
90	0.09	1080	86.4	96.5	95.8	1300	47	4
95	0.08	960	83.9	96.6	95.8			
100	0.09	1080	86.9	96.5	95.8	1280	46	4
105	0.08	960	87.3	97.1	95.8			
110	0.09	1080	87.8	96.7	95.3	1140	45	4
115	0.08	960	89.0	97.3	96.3			
120	0.06	720	83.5	96.3	95.9	1300	45	4
125	0.05	600	86.1	97.1	95.7			
130	0.03	360	77.0	96.6	96.1	1040	46	4

ตาราง ก.8 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 4 (ต่อ)

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
135	0.06	720	85.4	95.9	94.4			
140	0.07	840	86.0	95.8	93.2	900	47	4
145	0.09	1080	83.8	95.7	93.6			
150	0.07	840	84.4	95.3	93.6	1040	48	4
155	0.05	600	85.3	94.4	92.5			
160	0.05	600	84.2	95.1	93.5	960	50	4
165	0.04	480	81.7	94.9	93.9			
170	0.08	960	83.9	94.4	93.4	880	50	4
175	0.07	840	81.4	94.3	93.5			
180	0.08	960	85.4	94.7	93.8	1040	51	4
185	0.07	840	84.7	94.8	93.9			
190	0.05	600	85.7	94.2	92.5	1020	51	4
195	0.02	240	84.0	94.2	93.5			
200	0.02	240	81.0	94.0	92.6	800	51	4
205	0.03	360	83.4	93.9	92.7			
210	0.06	720	81.9	93.6	92.4	800	51	4
215	0.07	840	84.5	93.8	92.3			
220	0.02	240	79.8	93.8	92.9	900	53	4
225	0.03	360	83.3	94.1	92.9			
230	0.07	840	84.5	94.1	92.9	800	53	4
235	0.05	600	83.1	93.9	93.2			
240	0.06	720	86.2	94.4	92.9	940	54	4
245	0.05	600	79.9	94.3	93.4			
250	0.04	480	85.7	94.6	93.2	920	53	4
255	0.04	480	80.4	94.5	93.8			
260	0.05	600	86.2	94.6	92.9	900	52	4

ตาราง ค.8 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 4 (ต่อ)

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
265	0.03	360	82.4	94.8	94.1			
270	0.05	600	83.7	94.8	93.5	940	51	4
275	0.04	480	83.7	94.5	93.3			
280	0.04	480	80.1	94.4	93.6	840	51	4
285	0.04	480	86.0	94.1	92.5			
290	0.03	360	85.3	94.5	93.8	800	51	4
295	0.02	240	81.9	93.9	92.6			
300	0.01	120	54.3	88.8	89.8	800	52	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 29.40 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0980 ลิตร/นาที่ ความเข้มข้น 51 %(V/V)
 สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 172 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.573 ลิตร/นาที่

ตาราง ก.9 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 5

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	0	0	45.8	46.6	64.3			
5	0.08	960	86.2	75.6	94.7			
10	0.07	840	90.9	90.2	95.6	770	48	
15	0.05	600	86.4	91.7	93.8			
20	0.07	840	84.5	92.6	93.8	920	47	3
25	0.08	960	83.0	93.6	94.5			
30	0.08	960	84.1	94.6	94.7	960	47	3
35	0.09	1080	83.1	95.4	94.6			
40	0.06	720	84.8	95.4	94.6	970	47	3
45	0.06	720	83.7	95.4	94.6			
50	0.08	960	82.6	95.3	94.6	960	47	3
55	0.07	840	79.2	95.0	94.2			
60	0.08	960	83.5	95.3	94.5	940	47	3
65	0.08	960	86.4	95.4	94.6			
70	0.07	840	85.2	95.5	94.4	960	48	3
75	0.08	960	83.3	95.3	93.9			
80	0.08	960	86.0	95.3	93.5	940	49	3
85	0.06	720	84.1	95.3	93.6			
90	0.06	720	84.6	95.3	94.1	920	48	3
95	0.08	960	82.3	94.9	93.2			
100	0.09	1080	80.9	93.7	91.6	950	47	3
105	0.04	480	84.3	93.4	91.4			
110	0.07	840	81.8	93.2	91.7	900	47	3
115	0.08	960	83.1	92.3	90.7			
120	0.08	960	81.4	91.9	90.7	1000	47	3
125	0.09	1080	80.9	91.7	90.0			
130	0.07	840	79.2	91.9	90.3	970	47	3

ตาราง ค.9 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 5 (ต่อ)

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
135	0.08	960	78.9	91.7	90.8			
140	0.04	480	80.1	92.3	91.4	960	48	3
145	0.07	840	79.4	92.9	92.1			
150	0.05	600	80.1	93.7	92.9	890	47	3
155	0.04	480	83.3	93.9	92.0			
160	0.08	960	81.1	93.9	93.5	840	48	3
165	0.07	840	84.3	94.2	93.5			
170	0.07	840	86.5	94.5	93.1	930	49	3
175	0.05	600	81.7	94.6	93.8			
180	0.03	360	83.7	94.2	93.5	880	49	3
185	0.05	600	83.9	94.7	93.9			
190	0.05	600	87.3	95.0	93.1	870	49	3
195	0.05	600	82.6	94.8	93.9			
200	0.04	480	83.0	94.8	93.9	880	49	3
205	0.07	840	81.2	94.7	92.6			
210	0.06	720	82.9	94.4	93.2	920	49	3
215	0.05	600	83.8	94.1	92.3			
220	0.05	600	84.2	93.9	92.0	900	49	3
225	0.06	720	79.2	93.9	93.1			
230	0.04	480	83.9	94.1	92.6	900	49	3
235	0.04	480	83.8	94.5	93.6			
240	0.04	480	84.5	95.2	94.5	850	49	3
245	0.02	240	80.3	95.0	94.0			
250	0.01	120	85.9	95.3	94.5	900	49	3
255	0.03	360	85.8	95.4	94.3			
260	0.04	480	84.8	95.2	94.3	800	48	3

ตาราง ค.9 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 5 (ต่อ)

Time (min)	I_T		Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	kWh/m^2	W/m^2	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
265	0.03	360	81.7	94.7	93.9			
270	0.01	120	83.4	94.4	93.6	800	48	3
275	0.04	480	83.8	94.7	93.9			
280	0.03	360	84.8	94.3	93.3	820	49	3
285	0.03	360	83.0	94.4	93.2			
290	0.02	240	83.8	94.4	93.4	820	50	3
295	0.04	480	83.3	93.9	93.0			
300	0.03	360	84.2	93.9	92.9	800	50	3

เอทานอลที่กลั่นได้ 26.92 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0897 ลิตร/นาฬิกา ความเข้มข้น 48 %(V/V)

สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 174 ลิตร

อัตราการป้อนสาร 0.585 ลิตร/นาฬิกา

ตาราง ค.10 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	58.9	38.9	44.0			
5	83.7	83.9	93.6			
10	85.9	89.9	93.5	120	51	-
15	87.3	91.4	94.7			
20	87.2	92.3	95.0	630	49	-
25	82.8	92.3	94.5			
30	84.2	93.0	94.6	680	47	-
35	91.1	95.1	94.6			
40	88.6	95.2	95.4	680	45	5
45	83.1	95.3	95.1			
50	89.0	95.4	95.0	680	44	4
55	84.3	95.5	94.5			
60	86.1	95.6	95.0	660	43	4
65	89.1	95.5	94.8			
70	89.3	95.5	94.4	680	43	4
75	87.6	95.5	94.4			
80	86.5	95.5	94.5	660	43	4
85	91.1	95.6	94.4			
90	91.4	95.6	94.4	660	43	4
95	87.2	95.6	94.8			
100	89.9	95.6	94.4	660	43	4
105	89.9	95.7	95.0			
110	89.0	95.8	95.2	660	43	4
115	88.2	95.8	95.5			
120	90.6	95.7	95.0	660	43	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 7.43 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0619 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 44 % (V/V)

สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 60 ลิตร

อัตราการป้อนสาร 0.500 ลิตร/นาที

ตาราง ค.11 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

Time (min)	Temperature (°C)			Distilled		Liquid from Reboiler
	T _{Feed Heater}	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	54.1	38.7	42.9			
5	83.7	85.1	94.4			
10	86.3	91.2	95.2	140	51	-
15	80.0	92.7	95.5			
20	87.4	93.1	94.8	660	49	-
25	78.3	92.2	95.4			
30	82.1	92.6	94.8	680	47	-
35	85.2	92.0	95.3			
40	84.2	92.6	95.0	660	45	5
45	85.7	91.9	94.5			
50	85.6	92.8	95.5	670	44	4
55	83.9	92.3	95.3			
60	84.0	92.2	94.7	660	43	4
65	87.1	93.0	95.6			
70	86.3	92.6	95.0	660	43	4
75	91.2	93.2	95.3			
80	88.5	95.6	95.6	670	43	4
85	86.0	95.6	95.0			
90	91.1	95.6	95.2	660	43	4
95	89.6	95.6	95.6			
100	89.1	95.7	95.0	660	43	4
105	89.6	95.8	94.4			
110	89.1	95.7	94.4	660	43	4
115	90.6	95.6	95.1			
120	89.5	95.6	95.6	670	43	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 7.45 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0621 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 44 %(V/V)
 สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 60 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.500 ลิตร/นาที

ตาราง ค.12 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 3

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	31.5	32.3	33.4			
5	82.3	35.4	54.9			
10	89.1	72.5	86.0			-
15	87.9	77.7	80.6			
20	86.5	81.6	83.9	600	49	-
25	85.3	90.8	91.4			
30	85.3	90.3	92.2	640	47	-
35	86.5	90.9	92.1			
40	85.7	90.9	92.9	640	57	6
45	87.8	91.7	93.4			
50	83.3	91.3	93.5	620	53	5
55	82.8	94.5	93.6			
60	81.9	94.7	93.6	620	50	5
65	84.8	95.0	93.5			
70	80.1	95.0	93.5	620	48	5
75	85.8	95.1	94.1			
80	87.5	95.3	94.1	620	47	5
85	87.0	95.3	94.4			
90	82.3	95.4	93.9	620	46	5
95	84.8	95.6	93.9			
100	88.6	95.6	93.3	610	46	5
105	86.5	95.6	93.5			
110	86.2	95.6	93.3	620	46	5
115	87.7	95.3	93.9			
120	85.5	95.5	94.4	620	46	5

เอทานอลที่กลั่นได้ 6.83 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0569 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 47%(V/V)
 สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 60 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.500 ลิตร/นาที

ตาราง ก.13 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 4

Time (min)	Temperature (°C)			Distilled		Liquid from Reboiler
	T _{Feed Heater}	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	36.2	36.5	40.1			
5	89.5	80.2	85.5			
10	81.3	92.8	91.7	110	59	-
15	86.5	93.4	91.9			
20	88.4	93.7	92.9	260	55	-
25	89.4	94.1	93.1			
30	83.4	94.2	93.1	750	51	-
35	84.8	94.3	93.2			
40	85.8	94.5	93.4	740	47	-
45	86.3	95.1	93.2			
50	82.1	95.4	94.3	730	45	-
55	83.7	95.6	94.5			
60	85.7	95.5	94.4	700	43	3
65	83.0	95.5	94.4			
70	85.7	95.6	94.4	705	42	3
75	87.3	95.6	93.8			
80	83.6	95.4	93.2	700	42	3
85	87.5	95.5	93.3			
90	85.4	95.5	93.1	705	42	3
95	84.8	95.6	93.9			
100	88.6	95.6	93.3	700	42	3
105	86.5	95.6	93.5			
110	86.2	95.6	93.3	705	42	3
115	87.7	95.3	93.9			
120	85.5	95.5	94.4	715	42	3

เอทานอลที่กลั่นได้ 7.52 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0627 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 43 %(V/V)
 สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 52 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.433 ลิตร/นาที

ตาราง ค.14 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 5

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	43.3	46.4	65.0			
5	84.2	80.1	77.2			
10	82.6	84.0	86.4	120	56	-
15	85.3	89.0	92.0			
20	85.3	90.5	92.2	580	50	-
25	85.1	92.4	92.8			
30	81.0	92.0	92.6	580	49	-
35	84.0	92.9	92.5			
40	84.8	93.7	92.9	580	47	5
45	84.1	93.8	92.8			
50	82.9	93.9	93.0	580	46	5
55	83.3	93.9	93.2			
60	85.7	94.0	93.2	580	45	5
65	83.8	94.1	93.2			
70	82.4	94.3	93.5	560	45	5
75	84.9	94.3	93.4			
80	83.2	94.4	93.2	560	45	5
85	86.5	94.4	93.7			
90	83.9	94.4	93.7	560	45	5
95	84.8	94.5	93.8			
100	85.0	94.5	93.6	570	45	5
105	82.8	94.4	93.5			
110	85.6	94.4	93.8	580	45	5
115	83.9	94.4	93.7			
120	85.7	94.6	93.5	580	43	5

เอทานอลที่กลั่นได้ 6.43 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0536 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 47%(V/V)
 สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 58 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.483 ลิตร/นาที

ตาราง ค.15 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 6

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	47.8	58.2	61.2			
5	86.9	78.8	93.0			
10	86.3	88.2	94.3	500	42	2
15	88.1	91.0	94.7			
20	87.8	92.9	95.0	600	42	2
25	87.8	93.6	94.4			
30	85.4	94.4	95.4	720	41	2
35	84.6	94.1	95.5			
40	77.7	94.4	95.3	700	41	2
45	82.8	93.8	95.3			
50	85.2	94.7	95.3	680	41	2
55	84.8	94.7	95.3			
60	81.4	96.5	95.3	680	40	2
65	85.7	96.6	95.1			
70	84.0	96.7	95.8	660	40	2
75	85.5	96.6	95.4			
80	84.4	96.3	95.4	580	40	2
85	82.1	96.3	95.2			
90	83.1	96.1	95.2	540	40	2
95	83.7	96.0	94.8			
100	80.7	95.9	95.0	530	41	2
105	83.4	95.8	94.7			
110	83.4	95.8	94.5	540	42	2
115	79.8	95.5	94.4			
120	70.5	95.5	92.7	540	42	2

เอทานอลที่กลั่นได้ 7.27 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0606 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 38 % (V/V)
 สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 47 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.392 ลิตร/นาที

ตาราง ค.16 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 7

Time (min)	Temperature (°C)			Distilled		Liquid from Reboiler
	T _{Feed Heater}	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	43.1	38.7	46.9			
5	82.8	75.5	68.6			
10	79.4	86.9	91.1	150	59	-
15	81.8	89.0	91.8			
20	79.6	90.4	92.4	620	59	-
25	83.8	91.7	92.9			
30	83.8	92.6	92.6	620	53	6
35	84.2	94.1	93.1			
40	84.6	94.4	93.1	620	52	6
45	84.8	94.5	93.5			
50	85.8	94.7	92.9	620	50	6
55	81.8	94.8	93.8			
60	81.8	94.9	93.6	600	50	6
65	84.2	95.0	93.5			
70	85.5	95.0	93.5	600	49	6
75	85.0	95.0	93.7			
80	82.3	95.0	94.0	600	49	6
85	81.7	95.0	93.9			
90	85.2	95.2	94.1	600	48	6
95	83.4	95.0	93.9			
100	83.5	95.1	94.1	600	48	6
105	80.9	95.2	93.8			
110	83.3	95.2	93.9	590	48	6
115	85.4	95.4	94.3			
120	84.6	95.3	93.9	600	48	6

เอทานอลที่กลั่นได้ 6.82 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0568 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 50 %(V/V)
 สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 60 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.500 ลิตร/นาที

ตาราง ค.17 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 8

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	31.3	31.6	34.9			
5	85.1	71.9	52.7			
10	83.0	87.3	90.5	100	60	-
15	84.7	90.0	93.5			
20	86.0	92.1	93.5	520	47	-
25	85.1	92.9	93.8			
30	83.5	93.7	93.9	600	44	-
35	84.6	94.0	94.0			
40	84.7	93.9	94.1	600	44	5
45	82.8	95.0	94.0			
50	83.6	94.8	93.7	610	44	4
55	83.7	94.9	93.8			
60	83.3	94.7	94.0	600	44	4
65	84.5	94.7	93.9			
70	82.9	94.8	93.8	600	45	4
75	83.9	94.7	93.8			
80	85.7	94.6	93.8	620	45	4
85	85.5	94.6	93.5			
90	84.4	94.7	93.9	620	46	4
95	84.5	94.5	93.5			
100	82.4	94.5	93.5	600	46	4
105	84.0	94.5	93.6			
110	84.7	94.4	93.7	600	46	4
115	84.8	94.5	93.7			
120	83.8	94.3	93.5	600	46	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 6.67 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0556 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 45 %(V/V)

สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 56 ลิตร

อัตราการป้อนสาร 0.467 ลิตร/นาที

ตาราง ค.18 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	31.3	31.6	34.9			
5	85.1	71.9	52.7			
10	83.0	87.3	90.5	100	60	-
15	84.7	90.0	93.5			
20	86.0	92.1	93.5	520	47	-
25	85.1	92.9	93.8			
30	83.5	93.7	93.9	600	44	-
35	84.6	94.0	94.0			
40	84.7	93.9	94.1	600	44	5
45	82.8	95.0	94.0			
50	83.6	94.8	93.7	610	44	4
55	83.7	94.9	93.8			
60	83.3	94.7	94.0	600	44	4
65	84.5	94.7	93.9			
70	82.9	94.8	93.8	600	45	4
75	83.9	94.7	93.8			
80	85.7	94.6	93.8	620	45	4
85	85.5	94.6	93.5			
90	84.4	94.7	93.9	620	46	4
95	84.5	94.5	93.5			
100	82.4	94.5	93.5	600	46	4
105	84.0	94.5	93.6			
110	84.7	94.4	93.7	600	46	4
115	84.8	94.5	93.7			
120	83.8	94.3	93.5	600	46	4
125	82.7	94.1	93.3			
130	85.3	94.3	93.7	600	47	4

ตาราง ก.18 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 1 (ต่อ)

Time (min)	Temperature (°C)			Distilled		Liquid from Reboiler
	T _{Feed Heater}	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
135	85.1	94.7	93.7			
140	85.1	94.7	93.9	600	47	4
145	85.3	94.6	93.4			
150	84.5	94.6	93.5	600	47	4
155	85.5	94.3	93.4			
160	83.9	94.5	93.8	600	47	4
165	83.3	94.5	93.5			
170	86.8	94.5	93.8	600	46	4
175	83.7	94.6	93.8			
180	84.1	94.7	93.7	600	46	4
185	85.2	94.7	93.8			
190	85.0	94.7	93.9	600	46	4
195	85.5	94.7	93.9			
200	85.8	94.8	93.8	600	45	4
205	86.1	94.9	93.9			
210	85.4	95.0	93.8	600	45	4
215	86.1	95.0	93.8			
220	86.2	95.0	93.9	600	45	4
225	86.7	95.0	94.2			
230	85.9	95.0	94.0	600	45	4
235	83.8	95.0	94.1			
240	84.7	95.0	93.9	600	45	4
245	84.8	94.8	94.0			
250	85.4	94.9	94.0	600	45	4
255	85.7	95.0	93.8			
260	84.9	95.0	94.1	600	45	4

ตาราง ก.18 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 1 (ต่อ)

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
265	85.5	95.1	94.1			
270	86.6	94.9	93.9	600	45	4
275	85.4	95.0	94.2			
280	83.5	95.1	94.3	600	45	4
285	84.7	95.0	93.9			
290	84.8	94.8	94.0	600	45	4
295	85.4	94.9	94.0			
300	85.7	95.0	93.8	600	45	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 17.47 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0582 ลิตร/นาที ความเข้มข้น 46%(V/V)

สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 140 ลิตร

อัตราการป้อนสาร 0.467 ลิตร/นาที

ตาราง ก.19 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	T _{Feed Heater}	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	43.1	38.7	46.9			
5	82.8	75.5	68.6			
10	79.4	86.9	91.1	160	59	-
15	81.8	89.0	91.8			
20	79.6	90.4	92.4	620	59	-
25	83.8	91.7	92.9			
30	83.8	92.6	92.6	620	53	6
35	84.2	94.1	93.1			
40	84.6	94.4	93.1	620	52	6
45	84.8	94.5	93.5			
50	85.8	94.7	92.9	620	50	6
55	81.8	94.8	93.8			
60	81.8	94.9	93.6	600	50	6
65	84.2	95.0	93.5			
70	85.5	95.0	93.5	600	49	6
75	85.0	95.0	93.7			
80	82.3	95.0	94.0	600	49	6
85	81.7	95.0	93.9			
90	85.2	95.2	94.1	600	48	6
95	83.4	95.0	93.9			
100	83.5	95.1	94.1	600	48	6
105	80.9	95.2	93.8			
110	83.3	95.2	93.9	590	48	6
115	85.4	95.4	94.3			
120	84.6	95.3	93.9	600	48	6
125	82.7	94.1	93.3			
130	85.3	94.3	93.7	600	47	5

ตาราง ก.19 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 2 (ต่อ)

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
135	85.1	94.7	93.7			
140	85.1	94.7	93.9	600	47	5
145	85.3	94.6	93.4			
150	84.5	94.6	93.5	600	47	5
155	85.5	94.3	93.4			
160	83.9	94.5	93.8	600	47	5
165	83.3	94.5	93.5			
170	86.8	94.5	93.8	600	47	5
175	83.7	94.6	93.8			
180	84.1	94.7	93.7	600	47	5
185	85.2	94.7	93.8			
190	85.0	94.7	93.9	600	47	5
195	85.5	94.7	93.9			
200	85.8	94.8	93.8	600	47	5
205	86.1	94.9	93.9			
210	85.4	95.0	93.8	600	47	5
215	86.1	95.0	93.8			
220	86.2	95.0	93.9	610	47	5
225	86.7	95.0	94.2			
230	85.9	95.0	94.0	610	47	5
235	83.8	95.0	94.1			
240	84.7	95.0	93.9	600	47	5
245	84.8	94.8	94.0			
250	85.4	94.9	94.0	590	47	4
255	85.7	95.0	93.8			
260	84.9	95.0	94.1	600	47	4

ตาราง ค.19 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 2 (ต่อ)

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
265	85.5	95.1	94.1			
270	86.6	94.9	93.9	600	47	4
275	85.4	95.0	94.2			
280	83.5	95.1	94.3	610	47	4
285	84.7	95.0	93.9			
290	84.8	94.8	94.0	600	47	4
295	85.4	94.9	94.0			
300	85.7	95.0	93.8	610	47	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 17.66 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0587 ลิตร/นาที่ ความเข้มข้น 48 % (V/V)

สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 150 ลิตร

อัตราการป้อนสาร 0.500 ลิตร/นาที่

ตาราง ก.20 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 3

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
0	31.5	32.3	33.4			
5	82.3	35.4	54.9			
10	89.1	72.5	86.0			-
15	87.9	77.7	80.6			
20	86.5	81.6	83.9	600	49	-
25	85.3	90.8	91.4			
30	85.3	90.3	92.2	640	47	-
35	86.5	90.9	92.1			
40	85.7	90.9	92.9	640	57	6
45	87.8	91.7	93.4			
50	83.3	91.3	93.5	620	53	5
55	82.8	94.5	93.6			
60	81.9	94.7	93.6	620	50	5
65	84.8	95.0	93.5			
70	80.1	95.0	93.5	620	48	5
75	85.8	95.1	94.1			
80	87.5	95.3	94.1	620	47	5
85	87.0	95.3	94.4			
90	82.3	95.4	93.9	620	46	5
95	84.8	95.6	93.9			
100	88.6	95.6	93.3	610	46	5
105	86.5	95.6	93.5			
110	86.2	95.6	93.3	620	46	5
115	87.7	95.3	93.9			
120	85.5	95.5	94.4	620	46	5
125	86.3	95.1	93.2			
130	82.1	95.4	94.3	630	46	4

ตาราง ค.20 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 3 (ต่อ)

Time (min)	Temperature (°C)			Distilled		Liquid from Reboiler
	T _{Feed Heater}	T _{L,Reboiler}	T _{V,Reboiler}	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
135	83.7	95.6	94.5			
140	85.7	95.5	94.4	620	46	4
145	83.0	95.5	94.4			
150	85.7	95.6	94.4	610	46	4
155	87.3	95.6	93.8			
160	83.6	95.4	93.2	620	46	4
165	87.5	95.5	93.3			
170	85.4	95.5	93.1	620	46	4
175	84.8	95.6	93.9			
180	88.6	95.6	93.3	610	45	4
185	86.5	95.6	93.5			
190	86.2	95.6	93.3	630	45	4
195	87.7	95.3	93.9			
200	85.5	95.5	94.4	630	45	4
205	83.0	95.5	94.4			
210	85.7	95.6	94.4	630	46	4
215	87.3	95.6	93.8			
220	83.6	95.4	93.2	620	46	4
225	87.5	95.5	93.3			
230	85.4	95.5	93.1	630	46	4
235	84.8	95.6	93.9			
240	88.6	95.6	93.3	610	46	4
245	86.5	95.6	93.5			
250	86.2	95.6	93.3	630	46	4
255	87.7	95.3	93.9			
260	85.5	95.5	94.4	620	46	4

ตาราง ค.20 ผลการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

ให้กำลังไฟฟ้า Heater 4000 W (Feed heater 2000 W : Reboiler 2000 W)

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 %v/v เวลา 5 ชั่วโมง ครั้งที่ 3 (ต่อ)

Time (min)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Distilled		Liquid from Reboiler
	$T_{\text{Feed Heater}}$	$T_{\text{L,Reboiler}}$	$T_{\text{V,Reboiler}}$	Volume (ml)	Concentration (%v/v)	Concentration (%v/v)
265	83.0	95.5	94.4			
270	85.7	95.6	94.4	620	46	4
275	87.3	95.6	93.8			
280	83.6	95.4	93.2	630	46	4
285	87.5	95.5	93.3			
290	85.4	95.5	93.1	630	46	4
295	87.5	95.5	93.3			
300	85.4	95.5	93.1	630	46	4

เอทานอลที่กลั่นได้ 18.05 ลิตร อัตราการกลั่นเฉลี่ย 0.0602 ลิตร/นาที่ ความเข้มข้น 47 %(V/V)
 สารละลายที่ใช้ทั้งหมด 150 ลิตร อัตราการป้อนสาร 0.500 ลิตร/นาที่

ภาคผนวก ง
งบประมาณดำเนินโครงการ

งบประมาณของโครงการวิจัย ได้รับจากทุนอุดหนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ประเภทงบประมาณการวิจัยจากเงินผลประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ 2548 เป็นจำนวนเงิน 368,000 บาท (สามแสนหกหมื่นแปดพันบาทถ้วน) คณะผู้วิจัยได้ใช้จ่ายในการดำเนินการวิจัยเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 365,877.93 บาท (สามแสนหกหมื่นห้าพันแปดร้อยเจ็ดสิบเจ็ดบาทเก้าสิบสามสตางค์) ดังนี้

ตารางที่ ง.1 รายการค่าใช้จ่ายเงินของโครงการวิจัย

รายการ	จำนวน	หน่วย	รวม
งบดำเนินการ	-	-	
1.หมวดค่าตอบแทน			32,000.00
1.1 ค่าตอบแทนนักวิจัย	1	คณะ	32,000.00
2.หมวดค่าใช้สอย			156,032.20
2.1 ค่าจ้างเหมา			
- ค่าจ้างเหมาสร้างและติดตั้งเครื่องกลั่นแบบกะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (แบบแบ่งครึ่ง)	1	ชุด	65,002.50
- ค่าจ้างเหมาสร้างและติดตั้งเครื่องกลั่นแบบกะขนาดเล็กใช้พลังงานแสงอาทิตย์	1	ชุด	24,941.70
- ค่าจ้างเหมาสร้างและติดตั้งเครื่องกลั่นแบบต่อเนื่องใช้พลังงานแสงอาทิตย์	1	ชุด	65,000.00
- ค่าจ้างเช่าเล่มรายงาน	7	เล่ม	1,088.00
3. หมวดค่าวัสดุ			161,845.73
3.1 ค่าท่อสแตนเลส, ท่อทองแดงเส้น,เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K	-	-	64,949.00
3.2 ค่าขดลวดความร้อน, ฉนวนใยแก้ว	-	-	42,800.00
3.3 ค่าฉนวนยาง	-	-	7,200.03
3.4 ค่าเอทานอล 99.8%	-	-	29,532.00
3.5 ค่าน้ำกลั่น	-		2,364.70
3.6 ค่าชุดควบคุมการทำงาน	1	ชุด	15,000.00
4. หมวดค่าสาธารณูปโภค			16,000.00
งบลงทุน	-	-	-
5. ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
6. ค่าสิ่งก่อสร้าง	-	-	-
รวมเงินที่ใช้จ่ายในโครงการวิจัย			365,877.93

ภาคผนวก จ
แบบเสนอโครงการวิจัยและแบบ วจ. 1

แบบเสนอโครงการวิจัย
ประกอบการของบประมาณเงินผลประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ 2548

ชื่อโครงการ

การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
Solar Ethanol Distillation

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัยและผู้วิจัยหลัก	นายพรประสิทธิ์	กงบุญ
ผู้ร่วมวิจัย	ดร.ปทุมทิพย์	ต้นทับทิมทอง
	นายมณฑล	ชูชนาค
	นายสมจิตร	สุขสวัสดิ์

หน่วยงานที่สังกัด

กระทรวงศึกษาธิการ

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ

คณะวิชาเครื่องกล สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

แบบเสนอโครงการวิจัย

ประกอบการของงบประมาณเงินผลประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ 2548

ทิศทางการวิจัย : การวิจัยที่นำประเทศไปสู่การพึ่งพาตนเอง
 แผนวิจัย : แผนวิจัยพลังงานที่เหมาะสมในประเทศไทย : การวิจัยเพื่อพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์
 สถานภาพของข้อเสนอการวิจัย : เป็นโครงการวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย
 ลักษณะข้อเสนอการวิจัย : สอดคล้องกับนโยบายและแนวทางการวิจัยของชาติ ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2545 – 2549)
 ส่วนที่ 1 ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติเพื่อการพัฒนาประเทศ :
 ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติเกี่ยวกับพลังงานทดแทนและ
 การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

1. ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
 (ภาษาอังกฤษ) Solar Ethanol Distillation
2. หน่วยงานที่รับผิดชอบ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิชาเครื่องกล
 วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ
 เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
 โทร. 02- 2873211-25 ต่อ 121

3. คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัยและนักวิจัยหลัก นายพรประสิทธิ์ คงบุญ (สัดส่วนงานวิจัย 55%)

Mr. Pornprasit Kongboon

นักวิจัยร่วม นางสาวปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง (สัดส่วนงานวิจัย 15%)

Miss. Pathumthip Thontubthimthong

นายมนชวล ชูโชนาค (สัดส่วนงานวิจัย 15%)

Mr. Monthon Chuchonak

นายสมจิตร์ สุขสวัสดิ์ (สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 15%)

Mr. Somjit Suksawade

4. ประเภทของการวิจัย : การวิจัยและพัฒนา
5. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาการที่ทำการวิจัย : สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมการวิจัย
6. คำสำคัญ (Keywords) ของโครงการวิจัย : เอทานอล, การกลั่นเอทานอล
Ethanol, Ethanol distillation

7. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนพลังงานเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานนับวันมีแต่จะสูงขึ้น ขณะที่พลังงานต่างๆมีอยู่จำกัด โดยเฉพาะพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งนับวันมีแต่จะหมดไปและราคาก็สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีและเลือกหาพลังงานจากแหล่งอื่นมาทดแทน เอทานอลจัดเป็นพลังงานเชื้อเพลิงประเภทหนึ่ง ซึ่งได้มีการพิสูจน์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ โดยได้มีการทดลองใช้กับเครื่องยนต์แล้วในบางประเทศรวมถึงประเทศไทย ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลก็คือ เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ได้มาจากชีวมวลที่ไม่ก่อให้เกิดสารพิษจากการเผาไหม้ จึงถือได้ว่าเอทานอลเป็นพลังงานที่สะอาด สำหรับประเทศไทยเองแล้วการใช้เอทานอลเป็นพลังงานทดแทนยังจะช่วยลดปริมาณการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลได้อีกด้วย นอกจากนี้ผลที่ได้อีกทางหนึ่งก็คือ เมื่อมีความต้องการเอทานอลมากขึ้นจะช่วยให้ราคาผลผลิตทางการเกษตรที่ใช้ในการผลิตเอทานอลมีราคาสูงขึ้น สามารถระบายผลผลิตทางการเกษตรสู่ท้องตลาดได้ดีขึ้น เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรของประเทศไทยโดยตรง

เอทานอลที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้นั้นจะต้องมีความเข้มข้นสูง แต่เอทานอลที่ได้จากการหมักผลผลิตทางการเกษตรจะมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ส่วนใหญ่มักใช้พลังงานในรูปความร้อนและเทคนิคการกลั่นต่างๆในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล โดยความร้อนที่ใช้ในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นจะได้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งจะทำให้เกิดสารพิษระหว่างกระบวนการ ดังนั้นเอทานอลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ได้ชื่อว่าเป็นพลังงานที่สะอาด จึงน่าจะมาจากกระบวนการผลิตที่สะอาด การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนสำหรับเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นพลังงานที่ได้มาฟรีและสะอาด ในประเทศไทยเคยมีการนำตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบเป็นตัวให้ความร้อนเพื่อใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล พบว่า สามารถเพิ่มความเข้มข้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 40-50 เปอร์เซ็นต์ ในสเกลเดียวและอาจมากขึ้นถึง 90 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่มีการกลั่นหลายสเกล งานวิจัยดังกล่าวถึงแม้เป็นการศึกษาเบื้องต้น แต่ก็แสดงให้เห็นถึง

ศักยภาพในการนำเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน มาใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ มาเป็นแหล่งความร้อนในการผลิตเอทานอลให้มีความเข้มข้นสูง เพื่อนำไปสู่การผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ ที่สามารถนำไปใช้ติดตั้งในพื้นที่ของเกษตรกรที่เป็นแหล่งผลิตเอทานอลความเข้มข้นต่ำ ผลที่ได้จะช่วยกระจายรายได้ไปสู่เกษตรกร อีกส่วนหนึ่งเมื่อนำเทคโนโลยีการใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบมาเป็นแหล่งความร้อนในการผลิตสุรากลั่น ก็จะเป็นการช่วยลดต้นทุนให้แก่เกษตรกรในการผลิตสุรากลั่นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่งด้วย

8. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 8.1 เพื่อหาสมรรถนะในการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน
- 8.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการกลั่นเอทานอลเมื่อใช้และไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์
- 8.3 เพื่อหาต้นทุนการผลิตเอทานอลจากเอทานอลที่มาจากกากหมักมันสำปะหลัง
- 8.4 เพื่อจัดหาชุดกลั่นเอทานอลที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ ที่สามารถนำไปใช้จริงในภาคสนามได้

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 9.1 สามารถนำพลังงานทดแทน(พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานเอทานอล) มาใช้ประโยชน์ ในการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของประเทศอย่างจริงจัง
- 9.2 เป็นการสร้างงานและกระจายรายได้สู่เกษตรกรของประเทศ
- 9.3 ช่วยขยายตลาดมันสำปะหลังให้แก่เกษตรกร ซึ่งจะช่วยแก้ไขปัญหาราคาผลผลิตตกต่ำ
- 9.4 ได้เครื่องต้นแบบการกลั่น สำหรับให้นักศึกษาวิชาเอกวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมกล วิทยาเขตเขตเทคนิคกรุงเทพฯ ได้ศึกษาและเข้าใจถึงการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน

10. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

10.1 รังสีดวงอาทิตย์

10.1.1 รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นราบ

รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นโลกสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1). รังสีตรง (Direct or Beam Radiation) เป็นรังสีที่ได้จากดวงอาทิตย์โดยตรง ทำให้มีทิศทางที่แน่นอนนำไปใช้งานได้ดี เครื่องมือที่ใช้วัดรังสีตรง คือ ไพเรลิโอมิเตอร์ (Pyreheliometer)

2). รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีที่ได้รับหลังจากที่มีการกระจาย หักเห และ สะท้อนในชั้นบรรยากาศ หรือสิ่งแวดล้อม ทำให้มีทิศทางไม่แน่นอนและไม่เป็นระเบียบ เครื่องมือที่ใช้วัดรังสีกระจาย คือ ไพราโนมิเตอร์ชนิดที่มี Shading ring

3). รังสีรวม (Total or Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย หรืออาจหาได้จากการอินทิเกรตความเข้มของรังสีอาทิตย์ตลอดทุกๆ ช่วงความยาวคลื่น

10.1.2 รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นเอียง

สถานีบนพื้นโลกที่วัดค่ารังสีอาทิตย์ จะใช้ไพราโนมิเตอร์วัดค่ารังสีรวมที่ตกบนพื้นราบในแนวระดับ ในกรณีที่ต้องการค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนพื้นเอียงจากแนวระนาบที่มุมต่างๆ สามารถหาได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ในการคำนวณรังสีอาทิตย์ ณ เวลาต่างๆ ของวันนั้นๆ เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะต้องเป็นค่าเวลาสุริยะ (Solar time) ซึ่งมีค่าแตกต่างจากเวลามาตรฐานท้องถิ่น (Standard time) ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลหลักสองประการ ประการแรกคือ ค่าความแตกต่างของเส้นลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้ในการคำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่นกับเส้นลองจิจูดเมริเดียนของตำแหน่งที่ต้องการพิจารณา ประการที่สอง เนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกันไปทั้งปี จึงทำให้เวลามาตรฐานท้องถิ่นและเวลาสุริยะแตกต่างกัน ซึ่งจะมีค่าชดเชยที่เรียกว่าสมการเวลา (Equation of time, E) และความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยะและเวลามาตรฐานท้องถิ่น คำนวณได้จากสมการที่รวบรวมโดย Duffie and Beckman (1980) ดังนี้

$$\text{Solar time} - \text{Standard time} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E$$

$$E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B$$

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

เมื่อ E = สมการเวลา

n = วันที่ของปี

L_{st} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น

L_{loc} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของบริเวณที่ต้องการพิจารณา

ค่ารังสีอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลกในแต่ละวัน จากพระอาทิตย์ขึ้นจนถึงพระอาทิตย์ตก สามารถคำนวณได้จากสมการที่รวบรวมโดย Duffie and Beckman (1980)

$$H_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0.033 \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right]$$

$$\cos \omega_s = -\frac{\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} = -\tan \phi \tan \delta$$

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

เมื่อ H_o = ค่ารังสีอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)

G_{sc} = ค่าคงที่สุริยะซึ่งมีค่าประมาณ 1353 วัตต์ต่อตารางเมตร

n = วันที่ของปี

ϕ = มุมละติจูดหรือเส้นรุ้งของตำแหน่งที่พิจารณา (degree)

δ = มุมระหว่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เที่ยงสุริยะกระทำกับแนวระนาบ

แนวเคอร์หรือเรียกมุมดังกล่าวว่า มุมเคลินชัน (Declination angle)

ตารางที่ 1 วันที่ที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือน (กำหนดวันที่ค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศของโลกมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของค่ารังสีดังกล่าวเฉลี่ยตลอดทั้งเดือน)

เดือน	วันที่	วันที่ของเดือน(n)
มกราคม	17	17
กุมภาพันธ์	16	47
มีนาคม	16	75
เมษายน	15	105
พฤษภาคม	15	135
มิถุนายน	11	162
กรกฎาคม	17	198
สิงหาคม	16	228
กันยายน	15	258
ตุลาคม	15	288
พฤศจิกายน	14	318
ธันวาคม	10	344

ที่มา : Pratinthong (1996)

รังสีอาทิตย์รวมที่ตกลงมาบนพื้นโลกจะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระเจา ค่ารังสีกระเจาเฉลี่ยสำหรับประเทศไทยจะพิจารณาค่ารังสีอาทิตย์รายวันที่เฉลี่ยในแต่ละเดือน จากข้อมูลทางสถิติของประเทศไทย ซึ่งค่ารังสีกระเจาเฉลี่ยจะคำนวณได้จากสมการที่รวบรวมโดย Pratinthong (1996) ดังนี้

$$\frac{H_d}{H_o} = -4.6408 + 26.5495 \left(\frac{H}{H_o} \right) - 28.3422 \left(\frac{H}{H_o} \right)^2 - 31.4546 \left(\frac{H}{H_o} \right)^3 + 46.4421 \left(\frac{H}{H_o} \right)^4$$

เมื่อ H_d = รังสีกระเจารายวัน ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)
 H_o = รังสีรวมรายวันที่นอกชั้นบรรยากาศ ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)
 H = รังสีรวมรายวัน ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)

ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงสามารถคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนรังสีรวมรายชั่วโมงต่อรังสีรวมรายวันดังนี้

$$r_t = \frac{I}{H}$$

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi \omega_s}{360} \right) \cos \omega_s}$$

โดยที่ $a = a_1 + a_2 \sin(\omega_s - 60)$

$b = b_1 + b_2 \sin(\omega_s - 60)$

เมื่อ I = ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง ($\text{MJ/m}^2\text{-hr}$)
 H = ค่ารังสีรวมรายวัน ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)
 ω = มุมชั่วโมง (hour angle) กำหนดเป็น 15 องศาในแต่ละ 1 ชั่วโมง ที่เที่ยง
 สุริยะเป็นศูนย์ ในตอนเช้ามีค่าเป็นลบ และในตอนบ่ายมีค่าเป็นบวก
 a_1, a_2, b_1, b_2 = ค่าคงที่ที่สถานีต่างๆของประเทศไทยดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1, b_2 ของสถานีต่างๆในประเทศ

สถานี	a_1	a_2	b_1	b_2
เชียงใหม่	0.514	0.228	0.512	0.033
อุบลราชธานี	0.760	-0.031	0.207	0.238
หาดใหญ่	0.307	-0.124	0.417	0.007

ที่มา : Pratinthong (1996)

ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมงคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนของรังสีกระจายรายชั่วโมงต่อค่ารังสีกระจายรายวันดังนี้

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi \omega_s}{360} \right) \cos \omega_s}$$

ดังนั้นเราจะได้ค่ารังสีตรงรายชั่วโมงดังนี้

$$I_b = I - I_d$$

เมื่อ I_b = ค่ารังสีตรงรายชั่วโมง ($\text{MJ/m}^2\text{-hr}$)
 I_d = ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมง ($\text{MJ/m}^2\text{-hr}$)

ในกรณีแสงรับแสงอาทิตย์ที่วางเอียงเพื่อรับรังสีอาทิตย์ จะต้องคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนพื้นเรียบในแนวเอียง จากแนวระนาบที่มุมต่างๆ จะมีแนวทางในการคำนวณดังนี้

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

โดยที่

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta$$

$$\begin{aligned}\cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \sin \gamma \sin \omega\end{aligned}$$

- เมื่อ I_T = ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงบนระนาบเอียง ($\text{MJ/m}^2\text{-hr}$)
 I_b = ค่ารังสีตรงรายชั่วโมงบนระนาบในแนวระดับ ($\text{MJ/m}^2\text{-hr}$)
 I_d = ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมงบนระนาบในแนวระดับ ($\text{MJ/m}^2\text{-hr}$)
 β = มุมที่แผงรับแสงเอียงทำมุมกับแนวระดับ (degree)
 θ = มุมตกกระทบรังสีตรงบนระนาบในแนวเอียง (degree)
 θ_z = มุมตกกระทบรังสีตรงบนระนาบในแนวระดับ (degree)
 ρ = แฟกเตอร์ของรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อม
 β = มุมเอียงของระนาบที่พิจารณาจากพื้นในแนวระดับ (degree)
 γ = มุมอะซิมุท (Azimuth angle) ของระนาบเอียงมีค่าเป็นศูนย์ในทิศใต้ มีค่าเป็นลบในทิศตะวันออก และมีค่าเป็นบวกในทิศตะวันตก
 θ = มุมตกกระทบระหว่างค่ารังสีตรงกับพื้นในแนวระดับ (degree)

10.2 สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์

1). ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี

ที่สภาวะคงตัว ค่าพลังงานความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีสามารถคำนวณได้

โดย

$$q_c = A_c [I_T (\tau \alpha)_e - U_L (T_{pm} - T_a)]$$

เมื่อ

- q_c คือ ค่าพลังงานความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสี (W)
 A_c คือ พื้นที่รับแสงอาทิตย์ของตัวเก็บรังสี (m^2)
 U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสี ($\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$)
 T_{pm} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวดูดกลืนรังสี ($^\circ\text{C}$)
 T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^\circ\text{C}$)
 I_T คือ รังสีจากแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนตัวเก็บรังสี (W/m^2)
 $(\tau \alpha)_e$ คือ ผลคูณประสิทธิภาพของค่าส่งผ่านและค่าดูดกลืนรังสี
 กรณีที่สารทำงานไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ค่าพลังงานความร้อนสามารถคำนวณได้

ดังนี้

$$q_c = \dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi})$$

เมื่อ

- $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
 C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)
 T_{fo} คือ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกในตัวเก็บรังสี (°C)
 T_{fi} คือ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าในตัวเก็บรังสี (°C)

เนื่องจากอุณหภูมิผิวจุดกลืนรังสีเฉลี่ย (T_{pm}) ในทางปฏิบัติวัดได้ยากจึงมักใช้อุณหภูมิของไหลทำงานเฉลี่ย (T_{fm}) ในตัวเก็บรังสีแทน ดังสมการ

$$q_c = A_c F' [I_T (\tau \alpha)_e - U_L (T_{fm} - T_a)]$$

เมื่อ F' คือ แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี (Collector efficiency factor) เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีจริงต่อพลังงานที่ได้ เมื่ออุณหภูมิผิวมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของไหล (T_{fm}) ซึ่งมักจะใช้ค่า

$$T_{fm} \cong \frac{(T_{fo} - T_{fi})}{2}$$

ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิของของไหลเข้ามาเป็นฐานในการวิเคราะห์ ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีจะอยู่ในรูป

$$q_c = A_c F_R [I_T (\tau \alpha)_e - U_L (T_{fi} - T_a)]$$

สมการดังกล่าวเรียกว่า สมการของ Hottel-Willier-Bliss

เมื่อ

- F_R คือ ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน (heat removal factor) เป็นอัตราส่วนความร้อนที่ได้รับจริงจากตัวเก็บรังสีต่อพลังงานความร้อนที่ถ่ายเท ที่ถูกดึงโดยของไหลใช้งานในตัวเก็บรังสี

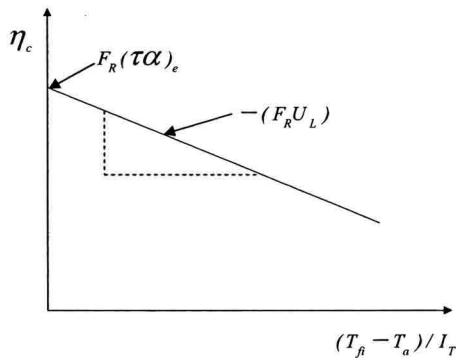
10.3 ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี (Collector efficiency)

ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี จะเป็นดัชนีที่ใช้บอกความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\eta_c = \frac{q_c}{I_T A_c} = F_R(\tau\alpha)_e - \frac{F_R U_L (T_f - T_{fo})}{I_T}$$

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่าง η_c และ $(T_f - T_a)/I_T$ มาพล็อตกราฟจะได้เป็นสมการเส้นตรงโดยมีค่าความชันของเส้นกราฟเท่ากับ $-F_R U_L$ และค่าจุดตัดบนแกนประสิทธิภาพ (η_c) คือค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ ดังรูปที่ 1 ซึ่งค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และค่า $-F_R U_L$ ของโครงการวิจัยนี้สามารถหาได้จากการทดลอง

ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ คือค่าสมรรถนะเชิงแสง ถ้ามีค่าสูงแสดงว่า การส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีมีค่าสูง ส่วนเทอม $-F_R U_L$ จะแสดงค่าการสูญเสียความร้อน ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังกล่าวป้องกันความร้อนสูญเสียไม่ได้พอ ทั้งสองค่านี้จะเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสี

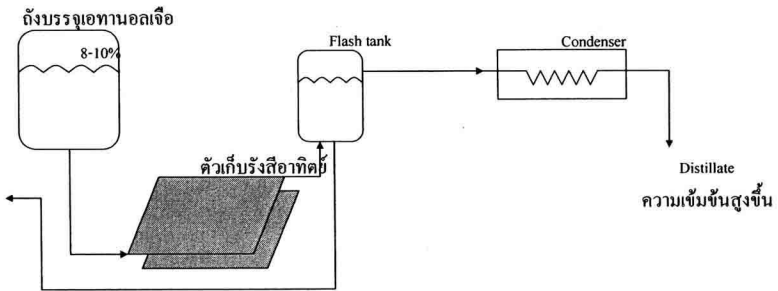


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_c และ $(T_f - T_a)/I_T$

10.4 การกลั่นโดยใช้แสงอาทิตย์ในรูปความร้อน

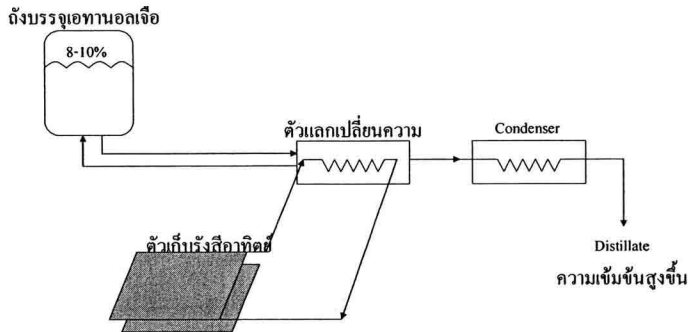
การกลั่นสารละลายโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนนั้น รูปแบบของการให้ความร้อนแก่สารละลายจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ การให้ความร้อนแก่สารละลายโดยตรง และ การให้ความร้อนแก่สารละลายโดยใช้เทคนิคการถ่ายเทความร้อนแบบ closed-loop ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

10.4.1 การให้ความร้อนแก่สารละลายที่ต้องการกลั่นโดยตรง กล่าวคือ สารละลายเอทานอลเจือจาง จะอยู่ในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งสารละลายจะได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีโดยตรง และเกิดการระเหยออกไป ในขณะที่เดียวกันก็จะมีเอทานอลเจือจางไหลเข้ามาแทนที่ ไอเอทานอลที่ได้จากการระเหยมีความเข้มข้นสูงจะถูกควบแน่นไปที่ถังเก็บดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการให้ความร้อนโดยตรง

10.4.2 การให้ความร้อนแก่สารละลายที่ต้องการกลั่นโดยใช้เทคนิคการถ่ายเทความร้อนแบบ closed-loop กล่าวคือ ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมีสารตัวกลาง คือ น้ำหรือน้ำมัน โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะทำให้สารตัวกลางมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเคลื่อนที่ไประบายความร้อนให้แก่สารละลายเอทานอลเจือจาง เพื่อใช้ในการเดือดของเอทานอลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3 ไอเอทานอลความเข้มข้นสูงจะถูกควบแน่นที่ถังเก็บ ทำให้ได้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น



รูปที่ 3 การใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้ความร้อนในลักษณะ closed-loop

10.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบความร้อนนั้น ยังมีไม่มากนัก ระบบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่นิยมใช้มี 2 ประเภทด้วยกัน คือ ประเภทแรก ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเป็นแหล่งความร้อน ซึ่งได้นักวิจัยทำการทดลองกลั่นเอทานอลโดยสามารถเพิ่มความเข้มข้นให้กับเอทานอลจากประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

เพิ่มขึ้นไปประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ ในสเดจเดียว และเพิ่มขึ้นมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่มีการกลั่นหลายสเดจ อีกประเภทหนึ่งเป็นเครื่องกลั่นแสงอาทิตย์แบบอ่าง ซึ่งสามารถเพิ่มความเข้มข้นให้กับเอทานอลจาก 10 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่นักวิจัยได้ทำไปแล้วนั้น ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก ไม่สามารถประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้ชัดเจน นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการขยายระบบกลั่นให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ยังไม่มีแบบจะลงการทำงานที่ช่วยในการคำนวณสมรรถนะของระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเพื่อหาสมรรถนะของระบบในการผลิตเอทานอล การสร้างแบบจำลองการทำงานของระบบ รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเอทานอล เพื่อให้สามารถทราบถึงศักยภาพและราคาที่แท้จริง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนสำหรับผลิตเอทานอล

11. เอกสารอ้างอิง

1. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ มรกต ดันติเจริญ,
การทำแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยใช้ตัวรับ รังสีแบบแผ่นเรียบ, การประชุมทาง
วิชาการ เรื่องปัญหาพลังงานและการแก้ไข, หาดใหญ่, 2524.
2. เกษตร ชัยมณีวงศ์, การกลั่นแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักมันสำปะหลังด้วยแสงอาทิตย์,
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2525.
3. จิรศักดิ์ จิระวารี และวีระชัย แก่นทรัพย์, เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยแสงอาทิตย์,
ปริญญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2523.
4. นิกร มังกรทอง, ผ่องศรี มังกรทอง และ วินัย เลิศสุรวัดน์, แก๊สโซฮอล์จากเอทานอล
พลังงานแสงแดด, การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 5 เรื่อง “พลังงานนอกแบบและการ
ประยุกต์” ณ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ, 2528
5. ปกรณ์ นุชน้อย, การศึกษากระบวนการการถ่ายเทมวลและความร้อนในเครื่องกลั่น
แอลกอฮอล์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าธนบุรี, 2526.
6. Duffie, J.A and Beckman, W.a., 1991, Solar Engineering and Thermal Process, New
York, John Willey and Sons, pp. 11-97, 229-322.
7. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, การออกแบบระบบพลังงานความร้อน, คณะพลังงานและ
วัสดุสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537.
8. ASHRAE, Standard 93-77, “Methods of Testing to Determine the Thermal
Performance of Solar Collectors”, American Society of Heating, Refrigeration, and
Air Conditioning Engineers, New York, 1997.

12. ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ในส่วนแรกจะเป็นส่วนที่ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ โดยจะเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียว สำหรับทดลองกลั่นเอทานอล เพื่อให้ได้ข้อมูลสมรรถนะการทำงานของระบบกลั่น โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นตัวให้ความร้อน รวมถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมในการกลั่น ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปใช้ออกแบบในส่วนที่สอง ซึ่งจะเป็นการสร้างระบบกลั่นที่ใช้ Stripping Column เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับเอทานอล รวมไปถึงการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ทำนายสมรรถนะการกลั่นระยะยาว ข้อมูลจากส่วนแรกและส่วนที่สองจะนำไปใช้ออกแบบในส่วนที่สาม ซึ่งจะเป็นระบบกลั่นเอทานอลในระดับชุดต้นแบบการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ โดยเอทานอลที่ได้จะมีความเข้มข้นไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราการผลิตไม่เกิน 50 ลิตรต่อวัน

การศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาจะออกแบบสร้างชุดทดสอบและทดสอบสมรรถนะการกลั่นได้แก่

- 1). การกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่พัฒนาขึ้นเอง
- 2). การกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ
- 3). การกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้จะมีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ประมาณ 4 ตารางเมตร ผลิตความร้อนเพื่อใช้ในการกลั่นเอทานอลที่มีความเข้มข้นเชิงปริมาตรเริ่มต้น 8-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการนำเอทานอลบริสุทธิ์ผสมกับน้ำกลั่น และเทียบกับเอทานอลเริ่มต้นที่ได้จากการหมักมันสำปะหลัง ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 8-10 เปอร์เซ็นต์ เช่นกัน

การศึกษาในระดับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการศึกษาจะพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายสมรรถนะของระบบ เมื่อทำงานในช่วงเวลาต่างๆ และความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล รวมไปถึงการทำนายสมรรถนะระยะยาวของระบบและราคาของเอทานอลที่ผลิตได้

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะมีการพัฒนาเพื่อหาขนาดของระบบกลั่นที่เหมาะสม ที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด นอกจากนี้เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ในงานวิจัยจะทดสอบโดยการติดตั้ง Stripping Column เข้ากับระบบกลั่น เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะและความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล

การศึกษาในระดับการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ

แบบจำลองจะถูกนำมาพัฒนา เพื่อสร้างระบบกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียวและแบบที่ร่วมกับ Stripping Column เพื่อออกแบบระบบที่สามารถผลิตเอทานอลความเข้มข้นไม่เกิน 50 และ

80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในอัตราการผลิตประมาณ 50 ลิตรต่อวัน เพื่อทดสอบจริงและศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น รวมไปถึงมูลค่าต้นทุนในการผลิตเอทานอล

13. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 13.1 ค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่ผลิตได้ กรณีการกลั่นแบบสเตจเดียวจะไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ และแบบใช้ร่วมกับ Stripping Column จะไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์
- 13.2 อัตราการผลิตเอทานอลในระดับการผลิตเชิงปริมาณจะไม่เกิน 50 ลิตรต่อวัน
- 13.3 ข้อมูลรังสีอาทิตย์ในการคำนวณสมรรถนะการกลั่นระยะยาวจะใช้ข้อมูลของจังหวัด กรุงเทพฯ เป็นหลัก

14. ระยะเวลาที่ทำการวิจัย 3 ปี

สถานที่ทำการวิจัย ทดลอง และเก็บข้อมูล

ดำเนินการที่ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมกล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ

15. แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ตอนที่ 1 (ระยะเวลา 1 ปี)

- 1) ออกแบบ สร้างเครื่องกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียวทั้ง 3 รูปแบบ
- 2) ศึกษาความสามารถในการกลั่นเอทานอล จากเอทานอลที่มีค่าความเข้มข้นเชิงปริมาตรเริ่มต้น 8-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการนำเอทานอลบริสุทธิ์ผสมกับน้ำกลั่น และเทียบกับเอทานอลเริ่มต้นที่ได้จากการหมักมันสำปะหลัง ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 8-10 เปอร์เซ็นต์ เช่นกัน
- 3) รวบรวมผล สรุปผล และจัดทำรายงานวิจัย ของตอนที่ 1

ตอนที่ 2 (ระยะเวลา 1 ปี)

- 1) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายสมรรถนะของระบบ รวมถึงการหาสมรรถนะระยะยาวของระบบทั้งสาม
- 2) ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เทียบกันเพื่อพิจารณาระบบที่เหมาะสม
- 3) สร้างชุดกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียว ที่มีขนาดเหมาะสมจากผลการจำลองการทำงาน

- 4) ออกแบบ Stripping Column และประกอบเข้ากับระบบกลั่น เพื่อทดลองหาสมรรถนะการกลั่น พร้อมทั้งพัฒนาแบบจำลองเมื่อใช้ Stripping Column และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
- 5) รวบรวมผล สรุปผล และจัดทำรายงานวิจัย ของตอนที่ 2

ตอนที่ 3 (ระยะเวลา 1 ปี)

- 1) สร้างชุดกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียวและแบบที่ใช้ร่วมกับ Stripping Column ที่มีกำลังผลิต 50 ลิตรต่อวัน และนำไปทดสอบจริง
- 2) รวบรวมผล สรุปปัญหาที่เกิดขึ้น รวมถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และจัดทำรายงานวิจัย ฉบับสมบูรณ์

กิจกรรม	ปีที่ 1			
	0-3	4 - 6	7 - 9	10 - 12
1. ออกแบบ สร้างเครื่องกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียวทั้ง 3 รูปแบบ				
2. ทดลองความสามารถในการกลั่นเอทานอลจากเอทานอลที่มีค่าความเข้มข้นเชิงปริมาตรเริ่มต้น 8-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการนำเอทานอลบริสุทธิ์ผสมกับน้ำกลั่น และเทียบกับเอทานอลเริ่มต้นที่ได้จากการหมักมันสำปะหลัง				
3. รวบรวมผล สรุปผล และจัดทำรายงานวิจัย ของตอนที่ 1				

กิจกรรม	ปีที่ 2					
	0 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 - 10	11 - 12
1. พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายสมรรถนะของระบบ รวมถึงการหาสมรรถนะระยะยาวของระบบทั้งสาม						
2. ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เทียบกันเพื่อพิจารณาาระบบที่เหมาะสม						
3. สร้างชุดกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียว ที่มีขนาดเหมาะสมและทดสอบสมรรถนะ						
4. ออกแบบ Stripping Column และประกอบเข้ากับระบบกลั่น เพื่อทดลองหาสมรรถนะการกลั่น พร้อมทั้งพัฒนาแบบจำลองเมื่อใช้ Stripping Column และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์						
5. รวบรวมผล สรุปผล และจัดทำรายงานวิจัย ของตอนที่ 2						

กิจกรรม	ปีที่ 3					
	0 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 - 10	11 - 12
1. สร้างชุดกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียวและแบบที่ใช้ร่วมกับ Stripping Column ที่มีกำลังผลิต 50 ลิตรต่อวัน						
2. ทดสอบสมรรถนะจริง						
3. ประเมินราคาเอทานอล						
4. รวบรวมผล สรุปผล และจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์						

16. อุปกรณ์ที่จำเป็นของโครงการวิจัย (ที่ต้องการเพิ่ม:ยังไม่มีในหน่วยวิจัย)

17. งบประมาณของโครงการวิจัย

งบประมาณของโครงการวิจัยรวม 964,000 บาท (เก้าแสนหกหมื่นสี่พันบาท) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ปีที่ 1 (งบประมาณ 368,000 บาท)

รายการ	ราคา/หน่วย	จำนวน	หน่วย	รวม
งบดำเนินงาน	-	-	-	
1.หมวดค่าตอบแทน	32,000			
1.1 ค่าตอบแทนนักวิจัย(10%ของ 2+3+4)	32,000	1	คณะ	32,000
2.หมวดค่าใช้สอย	15,2000			
2.1 ค่าจ้างเหมา				
-ค่าจ้างสร้างและติดตั้งเครื่องกลั่น	50,000	3	ชุด	150,000
-ค่าจ้างพิมพ์เอกสารและเข้าเล่มรายงาน	286	7	เล่ม	2,000
3. หมวดค่าวัสดุ	168,000			
3.1 ค่าขดลวดความร้อน	50,00	4	ชุด	20,000
3.2 ค่าทดสอบแลส	600	5	ท่อ	3,000
3.3 ค่าท่อทองแดง	1,500	4	ท่อ	6,000
3.4 ค่าสารหมักจากมันสำปะหลัง	1,000	20	ถัง	20,000
3.5 ค่าเอทานอลความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซนต์	2,000	35	ขวด	70,000
3.6 ค่าน้ำกลั่น	50	100	ถัง	5,000
3.7 ค่าฉนวนใยแก้ว	3,000	4	ม้วน	12,000
3.8 ค่าฉนวนยาง	3,000	4	ม้วน	12,000
3.9 ค่าสายเทอร์โมคัปเปิล	10,000	1	ม้วน	10,000
3.10 ค่าชุดควบคุมการทำงาน	10,000	1	ชุด	10,000
4. หมวดค่าสาธารณูปโภค(5%ของ2+3)	16,000			
งบลงทุน	-	-	-	-
5. ค่าครุภัณฑ์	-	-	-	-
6. ค่าสิ่งก่อสร้าง	-	-	-	-
รวมเงินอุดหนุนโครงการงานวิจัย				368,000

ปีที่ 2 (งบประมาณ 224,000 บาท)

รายการ	ราคา/หน่วย	จำนวน	หน่วย	รวม
งบดำเนินการ	-	-	-	
1.หมวดค่าตอบแทน	91,700			
1.1 ค่าตอบแทนนักวิจัย(10%ของ1.2+2+3+4)	19,700	1	คณะ	19,700
1.2 ค่าตอบแทนผู้ช่วยนักวิจัย(วุฒิ ปวส. ระยะ1ปี)	6,000	12	เดือน	72,000
2.หมวดค่าใช้สอย	35,000			
2.1 ค่าจ้างเหมา				
-ค่าจ้างสร้างและติดตั้งชุดกลั่นที่มีขนาดเหมาะสม	20,000	1	ชุด	20,000
-ค่าพิมพ์รายงาน	18	200	หน้า	3,600
-ค่าเขียนแบบ(Detail,Assembly,Exploded)	5,000	2	ชุด	10,000
-ค่าเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์	200	7	เล่ม	1,400
3. หมวดค่าวัสดุ	91,000			
3.1 ค่าสมาชิกจากมันสำปะหลัง	1,000	20	ถัง	20,000
3.2 ค่าเอทานอลความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซนต์	2,000	10	ขวด	20,000
3.3 ค่าน้ำกลั่น	50	100	ถัง	5,000
3.4 ค่าฉนวนใยแก้ว	3,000	4	ม้วน	12,000
3.5 ค่าฉนวนยาง	3,000	4	ม้วน	12,000
3.6 ค่าท่อสแตนเลส	600	10	ท่อ	6,000
3.7 ค่าแผ่นสแตนเลส	3,000	4	แผ่น	12,000
3.8 ค่าท่อทองแดง	2,000	2	ท่อ	4,000
4. หมวดค่าสาธารณูปโภค(5%ของ2+3)	6,300			
งบลงทุน	-	-	-	-
5. ค่าครุภัณฑ์	-	-	-	-
6. ค่าสิ่งก่อสร้าง	-	-	-	-
รวมเงินอุดหนุนโครงการงานวิจัย				224,000

ปีที่ 3 (งบประมาณ 372,000 บาท)

รายการ	ราคา/หน่วย	จำนวน	หน่วย	รวม
งบดำเนินการ	-	-	-	
1.หมวดค่าตอบแทน	105,300			
1.1 ค่าตอบแทนนักวิจัย(10%ของ1.2+2+3+4)	33,300	1	คณะ	33,300
1.2 ค่าตอบแทนผู้ช่วยนักวิจัย(วุฒิ ปวส. ระยะ1ปี)	6,000	12	เดือน	72,000
2.หมวดค่าใช้สอย	95,000			
2.1 ค่าจ้างเหมา				
-ค่าจ้างสร้างและติดตั้งชุดกลั่นที่มีกำลังผลิต 50 ลิตรต่อวัน	90,000	1	ชุด	90,000
-ค่าจ้างพิมพ์เอกสารและเข้าเล่มรายงาน	715	7	เล่ม	5,000
3. หมวดค่าวัสดุ	159,000			
3.1 ค่าสารหมักจากมันสำปะหลัง	1,000	50	ถัง	50,000
3.2 ค่าเอทานอลความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซนต์	2,000	25	ขวด	50,000
3.3 ค่าน้ำกลั่น	50	200	ถัง	10,000
3.4 ค่าท่อสแตนเลส	600	10	ท่อ	6,000
3.5 ค่าท่อทองแดง	1,500	6	ท่อ	9,000
3.6 ค่าฉนวนใยแก้ว	3,000	4	ม้วน	12,000
3.7 ค่าฉนวนยาง	3,000	4	ม้วน	12,000
3.8 ค่าชุดควบคุมการทำงาน	10,000	1	ชุด	10,000
4. หมวดค่าสาธารณูปโภค(5%ของ2+3)	12,700			
งบลงทุน	-	-	-	-
5. ค่าครุภัณฑ์	-	-	-	-
6. ค่าสิ่งก่อสร้าง	-	-	-	-
รวมเงินอุดหนุนโครงการงานวิจัย				372,000

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการและผู้วิจัยหลัก

นายพรประสิทธิ์ คงบุญ

Mr. Pornprasit Kongboon

ตำแหน่ง อาจารย์ 1 ระดับ 5

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิชาเครื่องกล วิทยา
เขตเทคนิคกรุงเทพฯ

โทร. 02-2873211-25 ต่อ 121

Email : p_kongboon@hotmail.com

วุฒิการศึกษา วศ.บ. (เครื่องกล), วศ.ม. (เครื่องกล)

ผู้ร่วมวิจัย

นายมนชวล ชูโชนาก

Mr. Monthon Chuchonak

ตำแหน่ง อาจารย์ 1 ระดับ 5

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิชาเครื่องกล วิทยา
เขตเทคนิคกรุงเทพฯ

โทร. 02-2873211-25 ต่อ 121

วุฒิการศึกษา วศ.บ. (เครื่องกล), วศ.ม. (เครื่องกล)

นายสมจิตร์ สุขสวัสดิ์

Mr. Somjit Suksawade

ตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 7

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิชาเครื่องกล วิทยา
เขตเทคนิคกรุงเทพฯ

โทร. 02-2873211-25 ต่อ 121

วุฒิการศึกษา วศ.บ. (เครื่องกล), คอ.ม. (เครื่องกล)

ดร. ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง

Dr. Pathumthip Thontubthimthong

ตำแหน่ง อาจารย์ 1 ระดับ 5

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิชาเทคโนโลยีเคมี
วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ

วุฒิการศึกษา วศ.ค. (วิศวกรรมเคมี),

แบบ วจ. 1

แผนการใช้จ่ายเงินในการดำเนินการวิจัย

ชื่อโครงการ การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (โครงการต่อเนื่อง 3 ปี)

☐ โครงการวิจัย-เงินงบประมาณ พ.ศ..... ☒ โครงการวิจัย-เงินผลประโยชน์ พ.ศ.

2548

☐ โครงการวิจัยพิเศษ ☐ โครงการวิจัย-งบภายนอก
☐ งบกลาง (หน่วยงาน/สถาบัน) พ.ศ.....☐ งบสะสม (หน่วยงาน/สถาบัน) พ.ศ.....☐ เงินกองทุนวิจัย พ.ศ.....

วงเงินของโครงการ ปีที่ 1 (2548) 368,000 บาท (สามแสนหกหมื่นแปดพันบาทถ้วน)

หน่วยงานที่รับผิดชอบโครงการ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิชาเครื่องกล วิทยาเขตเทคนิค
กรุงเทพฯ

เจ้าของโครงการ	1. นายพรประสิทธิ์ คงบุญ	หัวหน้าโครงการวิจัย
	2. ดร.ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
	3. นายมงคล ชูโชนาค	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
	4. นายสมจิตร สุขสวัสดิ์	ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.1 เพื่อหาสมรรถนะในการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน
- 1.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการกลั่นเอทานอลเมื่อใช้และไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.3 เพื่อหาต้นทุนการผลิตเอทานอลจากเอทานอลที่มาจากการหมักมันสำปะหลัง
- 1.4 เพื่อจัดหาชุดกลั่นเอทานอลที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ ที่สามารถนำไปใช้จริงในภาคสนามได้

2. เป้าหมาย หรือผลผลิตหรือสำเร็จของโครงการ (ปีที่ 1)

- 2.1 สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน
- 2.2 ได้เครื่องต้นแบบการกลั่นสำหรับพัฒนาในปีที่ 2 และปีที่ 3 รวมถึงให้นักศึกษาวิชาเอกวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิชาเครื่องกล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ ได้ศึกษาและเข้าใจถึงการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน

3. แผนดำเนินงานตามโครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2548 (ปีที่ 1)

3.1 สถานที่ดำเนินการ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิชาเครื่องกล

วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ

- 3.2 วิธีการดำเนินการ โครงการวิจัยเรื่องการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ในปีที่ 1 จะเป็นส่วนที่ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลแบบสเตจเดียวเพื่อใช้ในการทดลองกลั่นเอทานอล ทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลของสมรรถนะการทำงานของระบบกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นตัวให้ความร้อน รวมถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมในการกลั่น โดยมีวิธีการดังนี้ การศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาจะออกแบบสร้างชุดทดสอบและทดสอบสมรรถนะการกลั่นได้แก่

- 1) การกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
- 2) การกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ
- 3) การกลั่นโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้จะมีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ประมาณ 4 ตารางเมตร ผลิตความร้อนเพื่อใช้ในการกลั่นเอทานอลที่มีความเข้มข้นเชิงปริมาตรเริ่มต้น 8-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการนำเอทานอลบริสุทธิ์ผสมกับน้ำกลั่น และเทียบกับเอทานอลเริ่มต้นที่ได้จากการหมักมันสำปะหลัง ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 8-10 เปอร์เซ็นต์ เช่นกัน

โดยมีแผนดำเนินงานดังนี้

กิจกรรม	ปีที่ 1 (เดือนที่)			
	0-3	4 - 6	7 - 9	10 - 12
1. ออกแบบ สร้างเครื่องกลั่นเอทานอลแบบสเดจ เคียวทั้ง 3 รูปแบบ				
2. ทดลองความสามารถในการกลั่นเอทานอล จากเอ ทานอลที่มีค่าความเข้มข้นเชิงปริมาตรเริ่มต้น 8-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการนำเอทานอลบริสุทธิ์ผสมกับ น้ำกลั่น และเทียบกับเอทานอลเริ่มต้นที่ได้จากการ หมักมันสำปะหลัง				
3. รวบรวมผล สรุปผล และจัดทำรายงานวิจัย ของ ตอนที่ 1				

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการและวงเงินประมาณค่าใช้จ่ายในแต่ละขั้นตอน (ปีที่ 1)

ขั้นตอนในการดำเนินการจะแบ่งขั้นตอนดำเนินการออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ

3.3.1 จัดซื้อวัสดุสำหรับใช้ในงานวิจัย (ตามเสนอโครงการ)

3.3.2 จัดสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลแบบสเดจเคียวทั้ง 3 รูปแบบ

3.3.3 ทดสอบเพื่อหาความสามารถในการกลั่นเอทานอล

3.3.4 สรุปผลการวิจัยและจัดทำรายงานวิจัยของปีที่ 1

โดยมีวงเงินประมาณค่าใช้จ่ายในแต่ละขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการดำเนินการ	ค่าใช้จ่าย
1. จัดซื้อวัสดุสำหรับใช้ในงานวิจัย	83,000
2. จัดซื้อวัสดุสำหรับสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลแบบสเดจ เคียวทั้ง 3 รูปแบบ	180,000
3. ทดสอบเพื่อหาความสามารถในการกลั่นเอทานอล	100,000
4. สรุปผลการวิจัยและจัดทำรายงานวิจัยของปีที่ 1	5,000
รวม	368,000

3.4 ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี (ตามเสนอโครงการ)

เวลาเริ่มต้น 1 ตุลาคม 2547 เวลาสิ้นสุดโครงการ 30 กันยายน 2548

4. ประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานตามโครงการวิจัยสำหรับวงเงินที่ได้รับในปีงบประมาณ พ.ศ. 2548

4.1 งบประมาณ		32,000	บาท
- ค่าตอบแทนนักวิจัย (10% ของข้อ 4.2+4.4)		32,000	บาท
4.2 งบดำเนินการ		320,000	บาท
- ค่าจ้างพิมพ์เอกสารและเข้าเล่มรายงาน		2,000	บาท
- ค่าจ้างสร้างและติดตั้งเครื่องกลั่น	จำนวน 3 ชุด	150,000	บาท
- ค่าขดลวดความร้อน	จำนวน 4 ชุด	20,000	บาท
- ค่าท่อสแตนเลส	จำนวน 5 ท่อ	3,000	บาท
- ค่าท่อทองแดง	จำนวน 4 ท่อ	6,000	บาท
- ค่าสารหมักจากมันสำปะหลัง	จำนวน 20 ถัง	20,000	บาท
- ค่าเอทานอลความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซ็นต์	จำนวน 35 ขวด	70,000	บาท
- ค่าน้ำกลั่น	จำนวน 100 ถัง	5,000	บาท
- ค่าฉนวนใยแก้ว	จำนวน 4 ม้วน	12,000	บาท
- ค่าฉนวนยาง	จำนวน 4 ม้วน	12,000	บาท
- ค่าสายเทอร์โมคัปเปิล	จำนวน 1 ม้วน	10,000	บาท
- ชุดควบคุมการทำงาน	จำนวน 1 ชุด	10,000	บาท
4.3 งบลงทุน (ค่าจัดซื้อครุภัณฑ์ที่ได้รับอนุมัติในโครงการ)		-	บาท
4.4 ค่าสาธารณูปโภค (ค่าน้ำ, ค่ากระแสไฟฟ้า) (5%ของข้อ 4.2)		16,000	บาท
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น		368,000	บาท

5. ขอรับเงินอุดหนุนเป็นจำนวน 3 งวด ตามรายละเอียดดังนี้

งวดแรก	จำนวนเงิน 257,600 บาท	เมื่อหน่วยงานรับเงินจากกองคลัง
งวดก่อนงวดสุดท้าย	จำนวนเงิน 73,600 บาท	เมื่อส่งรายงานความก้าวหน้าของ โครงการวิจัย
งวดสุดท้าย	จำนวนเงิน 36,800 บาท	เมื่อส่งรายงานฉบับสมบูรณ์หรือ ส่งรายงานผลการดำเนินการวิจัย ตามแผนที่ระบุใน วจ. 1

รวมเป็นเงิน 368,000 บาท