



การศึกษาสมรรถนะการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง

An Investigation Performance of Citronella Oil Distillation with
Solar Energy by Bubble Pump Technique

จิระพล กลิ่นบุญ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
งบประมาณแผ่นดินปีการศึกษา 2561



การศึกษาสมรรถนะการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง

An Investigation Performance of Citronella Oil Distillation with
Solar Energy by Bubble Pump Technique

จิระพล กลิ่นบุญ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
งบประมาณแผ่นดินปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ**รหัสโครงการ** : A-67/2561**ชื่อโครงการ** : การศึกษาสมรรถนะการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง**ชื่อนักวิจัย** : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล กลิ่นบุญ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมรรถนะการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง ทำการเปรียบเทียบปริมาณรวมของน้ำมันหอมระเหยที่จากการกลั่นตะไคร้หอมโดยการกลั่นแบบดั้งเดิม และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินต้นทุนต่อหน่วยที่กลั่นได้ของน้ำมันหอมระเหย ในการทดลองนำตะไคร้หอมที่ใช้กลั่นเท่ากับ 40 ลิตร ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีขนาด 2.2 ตารางเมตร ทำมุม 14 องศากับแนวระดับ และรักษาระดับสารละลายช่วงการกลั่นอยู่ที่ 80 % ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำการกลั่นในช่วงเดือนเมษายน ถึงเดือนพฤษภาคม 2561 ภายใต้สภาวะอากาศจังหวัดนครปฐม จากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้สูงสุดคือ วันที่หนึ่งของการทดลองอยู่ที่ 73.80 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 1027.97 W/m² และมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้รวมทั้งหมดการทดลองเท่ากับ 590.84 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันหอมระเหยในการกลั่นแบบดั้งเดิมและแบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง พบว่ามีปริมาณรวมของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้เพิ่มขึ้น 36.95 % เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมอยู่ที่ 60.43 บาทต่อลิตร

คำสำคัญ : การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ตัวรับรังสีอาทิตย์ เทคนิคปั๊มฟอง**Email Address** : jirapol.kli@rmutr.ac.th**ระยะเวลาโครงการ** : ตุลาคม 2560 - กันยายน 2561

Abstact

Code of project : A-67/2561

Project name : An Investigation Performance of Citronella oil Distillation with Solar Energy by Bubble Pump Technique

Researcher name : Asst.Prof.Dr.Jirapol Klinbun

This research studied the efficiency of distillation of essential oil from citronella grass by solar energy using bubble pump technique. Comparing the total amount of citronella essential oil by normal distillation and economic analysis to evaluate the production cost of citronella essential oils. The experiment using citronella water 40 liters by using solar collector is 2.2 square meters, 14 degrees incline, and maintain the level of citronella water range at 80%. The experiment start from April, 2018 until May, 2018 under the climate of Nakhon Pathom province. The result from the experiments found that the highest amount of essential oil is distilled is in the first day of the experiment is 73.80 ml with the maximum solar intensity of 1,027.97 W / m² and the total amount of essential oil that was distilled is 590.84 ml. The comparison by using solar energy with bubble pump technique found that the total amount of essential oils that were distilled has increased by 36.95% and economic analysis showed that the production cost of citronella essential oil is 60.43 baht per liter.

Keywords: Citronella Distillation, Solar Energy, Bubble Pump Technique

Email Address : jirapol.kli@rmutr.ac.th

Period of project : October 2017 - September 2018

กิตติกรรมประกาศ

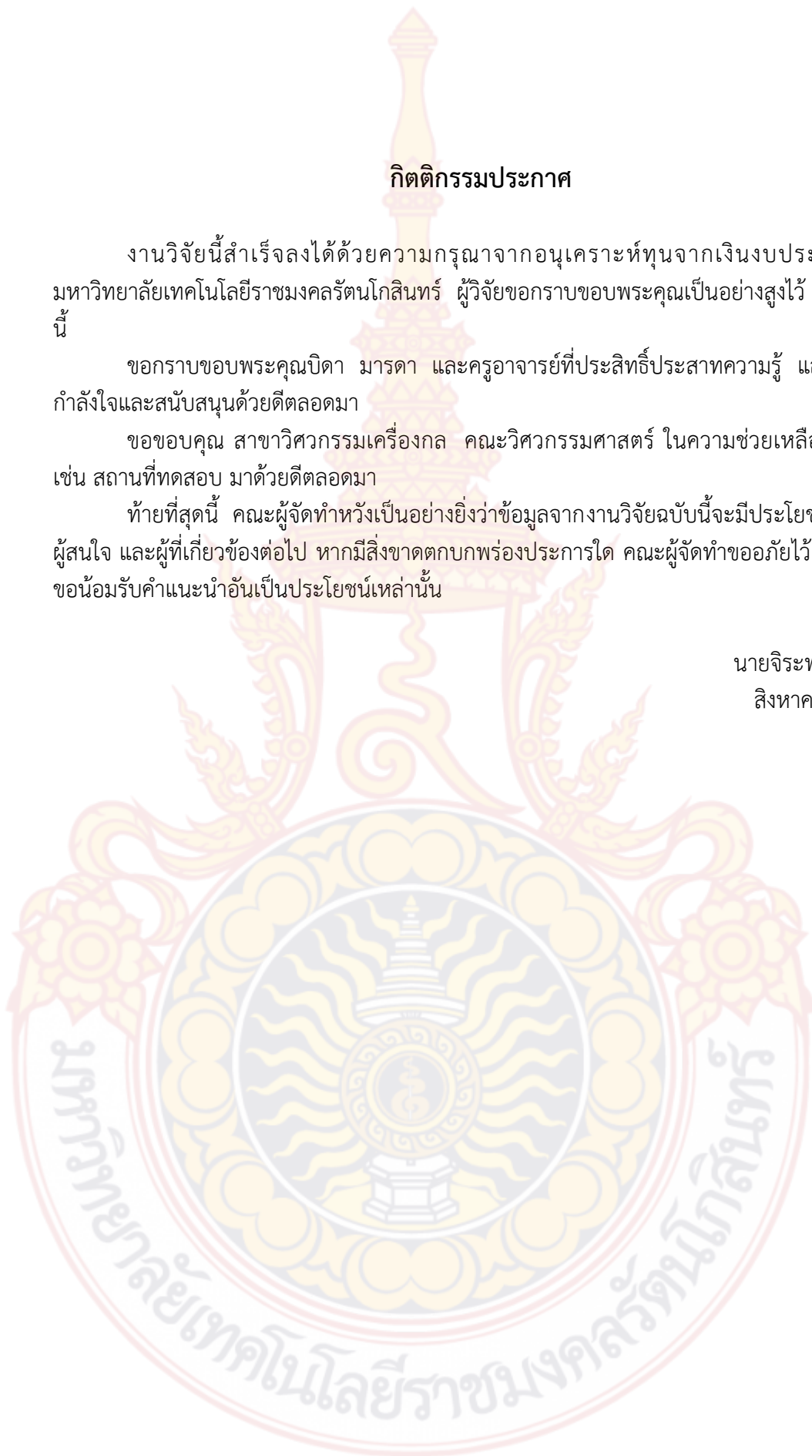
งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้ความกรุณาจากอนุเคราะห์ทุนจากเงินงบประมาณของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครูอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในความช่วยเหลือด้านต่างๆ เช่น สถานที่ทดสอบ มาด้วยดีตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าข้อมูลจากงานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์กับผู้อ่าน ผู้สนใจ และผู้ที่เกี่ยวข้องต่อไป หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ ที่นี้และขอน้อมรับคำแนะนำอันเป็นประโยชน์เหล่านั้น

นายจิระพล กลิ่นบุญ
สิงหาคม 2561



คำอธิบายสัญลักษณ์

Q_c	อัตราความร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีอาทิตย์ (W)
$(Q)_e$	ผลคูณประสิทธิภาพของสภาพส่งผ่าน
A_c	พื้นที่รับแสงอาทิตย์ของแผงรับรังสีอาทิตย์ (m^2)
U_L	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับรังสีอาทิตย์ ($W / m^2 \cdot ^\circ C$)
T_{pm}	อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)
T_a	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^\circ C$)
I_T	รังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงรับรังสีอาทิตย์ (W / m^2)
$(\tau\alpha)_e$	ผลคูณสัมประสิทธิ์ผลรวมค่าส่งผ่านและค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ($kJ / kg \cdot ^\circ C$)
T_{fo}	อุณหภูมิของไหลที่ไหลออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)
T_{fi}	อุณหภูมิของไหลที่ไหลเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)
η_c	ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ (Collector Efficiency)
F_R	ค่าแฟคเตอร์การดูดความร้อน (Heat removal factor)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการกลั่น	4
2.2 ทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์	7
2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	8
2.4 ตะไคร้หอม	10
2.5 การเตรียมสารละลาย	13
2.6 ทฤษฎีรังสีแสงอาทิตย์	15
2.7 การส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์	21
2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับแผงรับรังสีอาทิตย์	21
2.9 ทฤษฎีเทคนิคปั๊มฟอง	24
2.10 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์	25
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ	30
3.1 การออกแบบระบบกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	45
3.3 กระบวนการเตรียมตะไคร้หอม	47
บทที่ 4 การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	50
4.1 ขั้นตอนการทดลอง	50
4.2 ผลการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม	52
4.3 ผลของความหนาแน่นที่ได้จากการกลั่นน้ำตะไคร้	65
4.4 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอม	66
4.5 ผลของความหนาแน่นและปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากตะไคร้หอม	67
4.6 ผลรวมของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบเดิม และแบบพลังงานแสงอาทิตย์	68
4.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	69
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุปผลการทดลอง	73
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก	76
ก. ข้อมูลผลการทดลอง	77
ข. แบบของระบบกลั่นน้ำมันหอมระเหยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคปั๊มฟอง	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 แผนการดำเนินงาน	3
2-1 วันที่ที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือน	17
2-2 ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวัน (H) ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร	18
2-3 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1 และ b_2 ที่สถานีวัดต่างๆของประเทศไทย	19
4-1 ต้นทุนเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย	70
4-2 ต้นทุนตะไคร้หอม	72
ก-1 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 1 ปริมาณสารเริ่มต้น 40 ลิตร วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2562	78
ก-2 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 2 ปริมาณสารเริ่มต้น 39.9262 ลิตร วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2562	79
ก-3 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 3 ปริมาณสารเริ่มต้น 39856.14 ลิตร วันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2562	80
ก-4 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 4 ปริมาณสารเริ่มต้น 39856.14 ลิตร วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2562	81
ก-5 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 5 ปริมาณสารเริ่มต้น 39722.14 ลิตร วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2562	82
ก-6 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 6 ปริมาณสารเริ่มต้น 39658.97 ลิตร วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2562	83
ก-7 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 7 ปริมาณสารเริ่มต้น 39596.47 ลิตร วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2562	84
ก-8 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 8 ปริมาณสารเริ่มต้น 39539.33 ลิตร วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2562	85
ก-9 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 9 ปริมาณสารเริ่มต้น 39490.9 ลิตร วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2562	86
ก-10 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 10 ปริมาณสารเริ่มต้น 39447.73 ลิตร วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2562	87
ก-11 อุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์แต่ละช่วงเวลาในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม	88

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การกลั่นแบบเติมสารต่อเนื่อง	4
2-2 แสดงการกลั่นแบบเติมสารครั้งเดียว	5
2-3 การส่งผ่านรังสีอาทิตย์มายังพื้นผิวโลก	19
2-4 มุมตกกระทบของรังสีตรงบนพื้นราบและบนพื้นเอียง	21
2-5 ลักษณะการส่งผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์	21
2-6 เส้นแสดงสมรรถนะของแผงรับรังสีอาทิตย์	24
2-7 หลักการทำงานของปั๊มฟอง	24
2-8 ระบบกลั่นเอทานอลที่มี fractionating column	28
2-9 การกลั่นเอทานอลแบบเติมสารอย่างต่อเนื่อง	28
2-10 เครื่องกลั่นเอทานอลแบบอ่าง	29
3-1 หุ้มฉนวนกันความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Condenser)	36
3-2 ถังบรรจุสารละลายน้ำมันหอมระเหย	38
3-3 หุ้มฉนวนกันความร้อนที่ถังบรรจุสารละลายน้ำมันหอมระเหย	39
3-4 Ball Valve	40
3-5 ท่อลดขนาด	41
3-6 ถังพักน้ำหล่อเย็น	43
3-7 ขาดังปรับระดับ	44
3-8 ระบบการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง	44
3-9 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)	45
3-10 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)	46
3-11 เทอร์โมมิเตอร์	46
3-12 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K (Thermocouple Type K)	46
3-13 ตาชั่งดิจิตอล	47
3-14 ตะไคร้หอม	47
3-15 กระบวนการเตรียมตะไคร้หอม	48
4-1 ขั้นตอนการทดลองและตำแหน่งของในการวัดอุณหภูมิ	50
4-2 ค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์แต่ละช่วงเวลาของการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-3 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	52
4-4 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	53
4-5 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	55
4-6 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	56
4-7 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	57
4-8 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	59
4-9 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	60
4-10 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	61
4-11 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	62
4-12 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	63
4-13 แสดงความหนาแน่นที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอม	65
4-14 แสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอม	66
4-15 แสดงความหนาแน่นและปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากตะไคร้หอม	67
4-16 ผลรวมของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบเดิม และแบบพลังงานแสงอาทิตย์	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการแพร่ระบาดของโรคเนื่องจากการถูกยุงกัดเกิดขึ้นได้ง่าย ซึ่งการป้องกันการถูกยุงกัดโดยใช้ยากำจัดแมลงป้องกันและกำจัด โดยที่ยาเหล่านั้นเป็นส่วนประกอบของสารเคมีอันตรายทั้งสิ้น ถึงแม้ว่าจะใช้ได้ผลดีแต่สารเคมีอันตรายในส่วนผสมมักตกค้างตามในบริเวณที่ฉีดพ่นซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย อย่างไรก็ตามก็ยังมีแนวความคิดที่จะใช้สารสกัดจากธรรมชาติมาใช้เพื่อป้องกันยุงได้ อย่างดีซึ่งถือว่าเป็นทางออกที่ดีของปัญหานี้ นั่นคือการใช้น้ำมันหอมระเหยสกัดจากต้นตะไคร้หอมซึ่งไม่มีความเป็นอันตรายต่อร่างกายและไม่มีสารตกค้างอีกด้วย อีกนัยหนึ่งตะไคร้หอมเป็นพืชที่หาได้ง่ายและราคาไม่แพง แต่เนื่องจากในการผลิตในปัจจุบันเป็นนิยมผลิตน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมจากการต้มแล้วกลั่นตัวและยังได้ปริมาณต่อรอบการผลิตต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาเทคนิคใหม่ๆ มาช่วยทำให้กระบวนการผลิตมีคุณภาพสูงและปริมาณที่มากพอตามที่ต้องการ นั่นคือการใช้การกลั่นตัวด้วยเทคนิคปั๊มฟอง ซึ่งเทคนิคปั๊มฟองนี้จะทำให้การตัวของสารละลายเป็นไปได้อย่างง่ายและสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ดีในการผลิตต้องใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงแต่ได้น้ำมันหอมระเหยน้อยทำให้มีราคาทางการตลาดค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาพลังงานอื่นนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน สำหรับกระบวนการในการผลิตน้ำมันหอมระเหย โดยทั่วไปนั้นแหล่งพลังงานที่ให้ความร้อนจะได้มาจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊ส หรือชีวมวล ซึ่งนอกจากจะราคาสูงแล้วยังเป็นปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดมลภาวะและภาวะโลกร้อนตามมาอีกด้วย

จากที่กล่าวมา เพื่อเป็นลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเพื่อให้พลังงานความร้อนในการกลั่น มีพลังงานความร้อนที่น่าสนใจอีกรูปแบบหนึ่งนั่นคือพลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นพลังงานที่สะอาดไม่มีต้นทุนด้านพลังงาน งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำมาเป็นพลังงานที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรวมของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมการกลั่นที่ได้แบบดั้งเดิม

1.2.3 เพื่อศึกษาผลทางเศรษฐศาสตร์จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ศึกษาสมรรถนะการกลั่นของระบบเมื่อปริมาณสารละลายตะไคร้หอมภายในแผงรับรังสีอาทิตย์มีระดับ 80% ของแผง

1.3.2 สารละลายที่นำมากลั่นได้มาจากการตะไคร้หอม 300 กิโลกรัม

1.3.3 ใช้สารละลายตะไคร้หอมในการกลั่นตั้งต้นประมาณ 40 ลิตร

1.3.4 ใช้แผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.2 ตารางเมตร

1.3.5 แผงรับรังสีอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศใต้ ทำมุมเอียง 14 องศากับแนวระดับ

1.3.6 ใช้ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะภูมิอากาศและภูมิประเทศภาคกลางของประเทศไทย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงสมรรถนะของการกลั่นน้ำมันตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟองโดยใช้สารตั้งต้นหมักจากตะไคร้หอม

1.4.2 ได้ทราบถึงข้อแตกต่างทางสมรรถนะการกลั่น ทั้งปริมาณและเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอมที่กลั่นได้

1.4.3 ได้ทราบถึงต้นทุนการกลั่นน้ำมันตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟองในการผลิตน้ำมันตะไคร้หอม

1.4.4 ได้ต้นแบบการกลั่นน้ำมันตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟองเพื่อเผยแพร่แก่สาธารณชน

1.4.5 ได้เป็นส่วนหนึ่งในแปรรูปตะไคร้เป็นพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานหลังจากการทำเข้าจากต่างประเทศ

1.5 แผนการดำเนินการ

โครงการวิจัยนี้ใช้เวลาการทำวิจัยทั้งสิ้น 1 ปี โดยเริ่มต้น วันที่ 1 ตุลาคม 2560 สิ้นสุดวันที่ 30 กันยายน 2561 ขึ้นตอนและระยะเวลาของแผนการดำเนินงาน (Gantt chart)

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินการ

เวลา ดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินการ											
	ต.ค. 60	พ.ย. 60	ธ.ค. 60	ม.ค. 61	ก.พ. 61	มี.ค. 61	เม.ย. 61	พ.ค. 61	มิ.ย. 61	ก.ค. 61	ส.ค. 61	ก.ย. 61
1. รวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←-----→											
2. ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการกลั่นและสารตั้งต้นตะไคร้หอม		←-----→										
3. จัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการวิจัย			←-----→									
4. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ				←-----→								
5. ทดสอบสมรรถนะเครื่องกลั่นกลั่นน้ำมันตะไคร้หอม				←-----→								
6. ประเมินคุณภาพและผลการทดสอบคุณสมบัติของการกลั่นน้ำมันตะไคร้หอมพลังงานแสงอาทิตย์					←-----→							
7. วิเคราะห์ปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์						←-----→						
8. สรุปผลการวิจัย								←-----→				
9. จัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์ และเผยแพร่งานวิจัย										←-----→		

หมายเหตุ : ←-----→ แผนการดำเนินการที่วางไว้
 ←-----→ แผนการดำเนินการที่สามารถทำได้จริง

บทที่ 2

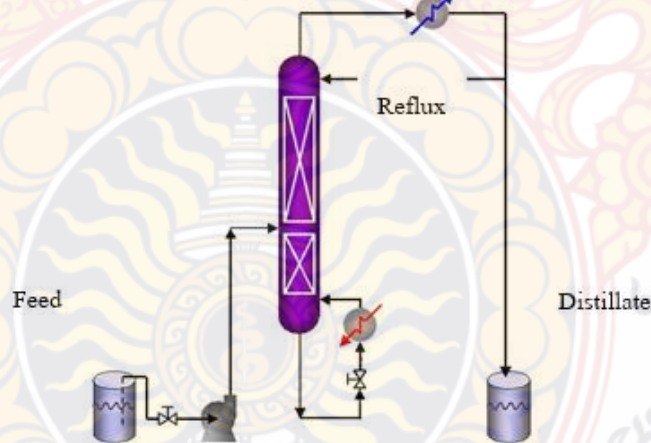
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการกลั่น

การกลั่นเป็นกรรมวิธีแยกสารละลาย โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด เมื่อสารละลายได้รับความร้อนสารที่มีจุดเดือดต่ำจะระเหยออกมาก่อนสารที่มีจุดเดือดสูง มีผลทำให้ความเข้มข้นของสารที่มีจุดเดือดต่ำมีค่าสูงขึ้น โดยทั่วไปการกลั่นสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ การกลั่นแบบเติมสารต่อเนื่อง และการกลั่นแบบเติมสารครั้งเดียว

2.1.1 การกลั่นแบบเติมสารต่อเนื่อง (Continuous Distillation)

การกลั่นด้วยวิธีนี้สารละลายเอทานอล จะถูกป้อนเข้าในระบบอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการกลั่น สารละลายที่ถูกป้อนเข้าหอกกลั่นของระบบ (Column) ดังภาพที่ 2-1 จะมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ แบบที่เป็นของเหลวทั้งหมด แบบที่เป็นของเหลวบางส่วน และแบบที่เป็นไอทั้งหมด [5]



ภาพที่ 2-1 การกลั่นแบบเติมสารต่อเนื่อง [5]

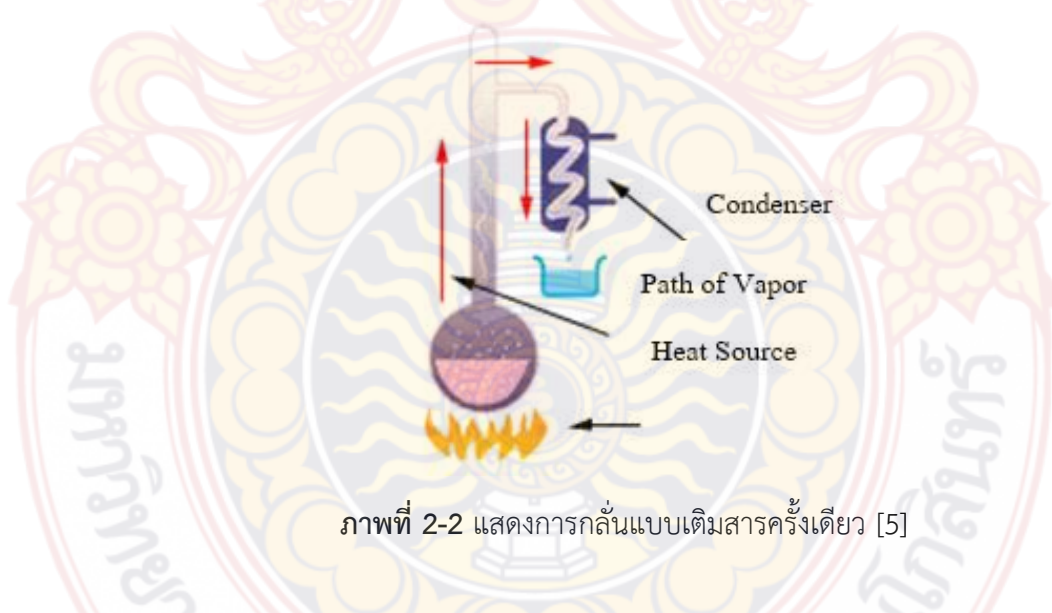
แบบที่ 1 เป็นของเหลวทั้งหมด โดยของเหลวทั้งหมดจะไหลสู่ส่วนล่างของหอกกลั่น เพื่อรับความร้อนก่อนที่จะระเหยเป็นตัวเป็นไอเคลื่อนขึ้นสู่ด้านบนของหอกกลั่น และเมื่อควบแน่นแล้วจะมีบางส่วนที่ถูกป้อนเข้ามายังหอกกลั่น (Reflux) ในสภาวะของเหลว เพื่อที่ว่าในขณะที่ไอของสารละลายระเหยขึ้นไปจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับของเหลวที่ไหลสวนทางกัน ทำให้สารที่มีจุดเดือดต่ำในของเหลวระเหยออกมาและสารที่มีจุดเดือดสูงอยู่ในไอเกิดการควบแน่น เป็นผลให้สารละลายมีความเข้มข้นสูงกว่าเดิม

แบบที่ 2 เป็นแบบที่ป้อนเข้าสู่หอกลับเป็นของเหลวบางส่วน ในส่วนที่เป็นไอจะมีความเข้มข้นสูงกว่าส่วนที่เป็นของเหลว และจะระเหยไปกลั่นตัวที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทันที ส่วนของเหลวจะ ตกลงสู่ด้านล่างของหอกลับ ก่อนจะดำเนินการกระบวนการตามแบบที่ 1

แบบที่ 3 แบบที่เป็นไอทั้งหมด โดยไอทั้งหมดที่เข้าสู่หอกลับ จะไปกลั่นตัวเป็นของเหลวที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทันที และของเหลวทั้งหมดจะถูกป้อนกลับมายังหอกลับ เพื่อจะนำไปรับความร้อนที่ด้านล่าง แล้วจึงจะระเหยขึ้นมาใหม่ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายที่อยู่ภายในไอ และของเหลวที่ไหลสวนทางกันแล้วจากนั้น ไอที่ระเหยขึ้นไปใหม่นี้จะไปควบแน่นที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอีกครั้ง ซึ่งครั้งนี้นี้จะมีบางส่วนที่ถูกป้อนกลับเข้ามายังหอกลับอีกครั้งหนึ่ง ส่วนที่เหลือนั้นจะถูกนำไปเก็บที่ถังสะสม

2.1.2 การกลั่นแบบเติมสารครั้งเดียว (Batch Distillation)

การกลั่นด้วยวิธีการนี้สารละลายจะถูกเติมเข้าไปสู่ระบบก่อนกลั่นเพียงครั้งเดียว โดยนำของผสมซึ่งเป็นของเหลวต้มให้เดือดเป็นไอ แล้วควบแน่นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบจุดเดือดต่ำ ในการกลั่นแบบเติมสารครั้งเดียว อุณหภูมิสัดส่วนโมลในหม้อกลั่นและสัดส่วนโมลในสายกลั่นจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 แสดงการกลั่นแบบเติมสารครั้งเดียว [5]

2.1.3 การเดือดและการควบแน่น (Boiling and Condensation)

ขบวนการเปลี่ยนเฟสสองประการที่สำคัญ คือ ขบวนการเปลี่ยนเฟสจากของเหลวให้กลายเป็นไอ (Vaporization) และการควบแน่นของไอกลับมาเป็นของเหลว (Condensation) ซึ่งต่างก็มีผลมาจากการพาความร้อนอย่างง่าย (Simple Convection) ที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน คือ h และแสดงได้ด้วยค่าฟลักซ์ความร้อน (Heat Flux) เมื่อมีอุณหภูมิระหว่างผิวที่ให้ความร้อน (Heating Surface) และของเหลวอิ่มตัว (Saturated Liquid) แตกต่างกัน

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2-1)$$

อย่างไรก็ดีในกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสนั้นจะรวมถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) และค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของของไหลในขณะที่ความร้อนแฝง (Latent Heat) ของของไหลจะเกิดจากการแยกตัวออกอิสระ (การควบแน่น) หรือการรับความร้อน (การกลายเป็นไอ) ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในขณะเดือด (Convection) เพราะฉะนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการนำมาคำนวณในงานทางด้านวิศวกรรมที่รวมสภาวะของการเดือดและการควบแน่นเข้าด้วยกันซึ่งส่วนใหญ่ทำได้โดยการนำเอาค่าความสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองมาใช้งาน

1) การเดือด (Boiling)

เมื่อพิจารณาของไหลที่ให้ความร้อนด้วยขดลวดความร้อนที่แช่อยู่ในของเหลว เมื่ออัตราการเพิ่มของปริมาณความร้อนที่ให้แก่ระบบอยู่ในอัตราที่ต่ำ จะทำให้เกิดไอที่ผิวอิสระขึ้นและในขณะที่ฟลักซ์ความร้อนเพิ่มมากขึ้นต่อไปอีกจะทำให้ลักษณะฟองอากาศที่บริเวณผิวของอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนมีขนาดเปลี่ยนไป โดยจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นและไหลผ่านของไหลไปเป็นไอนี้เรียกว่า “การเดือด” พฤติกรรมของไหลในระหว่างที่เดือดมักจะขึ้นกับอุณหภูมิส่วนเกิน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ $\Delta T = T_s - T_\infty$ โดยวัดจากจุดเดือดของของไหล เมื่อพิจารณาภาวะของการเดือดที่เกิดขึ้นภายในกาน้ำลักษณะของฟลักซ์ความร้อนนี้เรียกว่า เส้นเคิร์ฟของการเดือด

ขอบเขต I ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยความร้อนอิสระ

ขอบเขต II ฟองเริ่มเกิดขึ้นที่ผิวซึ่งเป็นผิวที่ให้ความร้อนและฟองอากาศเคลื่อนที่ขึ้นไปยังผิวอิสระโดยตรง

ขอบเขต III พฤติกรรมของการเดือดจะทวีความรุนแรงมากขึ้นจนกระทั่งมีการรวมตัวของฟองอากาศที่เกิดขึ้น โดยตรงและรวมกับฟองอากาศส่วนอื่น ซึ่งลักษณะการเกิดขึ้นนี้จะเป็นไปอย่างรวดเร็วมากจากฟองที่เป็นไอในแนวแกนที่เกิดขึ้นจริงแล้วเคลื่อนที่ไปสู่ผิวอิสระ

ขอบเขต IV ลักษณะการเกิดฟองอากาศนี้จะเกิดขึ้นรวดเร็วมากในบริเวณผิวที่ให้ความร้อนและเป็นตัวป้องกันไม่ให้ของไหลเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณนี้ ดังนั้นค่าความต้านทานจะเพิ่มมากขึ้นด้วยฟิล์มมากขึ้น และทำให้ลดปริมาณของค่าฟลักซ์ความร้อนลงด้วยดังนั้นปริมาณที่ถ่ายเทความร้อนลดลงขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิแตกต่างที่เพิ่มขึ้นเพราะว่าฟิล์มที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ขอบเขตนี้มีลักษณะที่ไม่เสถียรเป็นอย่างยิ่ง

ขอบเขต V ฟิล์มที่เกิดขึ้นบนผิวของอุปกรณ์ให้ความร้อนจะกลับมามีความเสถียรในขณะที่ ΔT เกิดขึ้นจริงประมาณ 1000°F และจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนขึ้นทำให้มีค่าความร้อน มีค่ามากกว่าส่วนอื่นและค่าฟลักซ์ความร้อนจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งด้วยค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นคือ ΔT ฟลักซ์ความร้อนที่จุด B เรียกว่า Burnout Point เงื่อนไขนี้จะพิจารณาปริมาณฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นเพราะว่าค่าของ ΔT เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นในผิวของเหลว (Vapor Blanket) ที่

บริเวณผิวรอบ ๆ อุปกรณ์ให้ความร้อนผลจากการสมดุลค่าความร้อนทั้งสอง จะทำให้เกิดสภาวะการเดือดที่เรียกว่า “การเดือดวิกฤต” การ Burnout หรือในส่วนของที่เกิดการเดือดของนิวเคลียส ภายในของไหลส่วนใหญ่อุณหภูมิจุด D จะมีค่าสูงกว่าจุดหลอมตัวของวัสดุ และทำให้เกิดการเสียหายต่ออุปกรณ์ให้ความร้อนได้ และถ้าฮีตเตอร์ไม่หลอมละลายจะทำให้เส้นเคิร์ฟที่แสดงการเดือดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในย่านของจุด D

เมื่อจุดของการเดือดเกินกว่าตำแหน่งที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน h ที่ให้ นั้น โดยปกติจะไม่เกินขีดดังกล่าวนี้

2) การควบแน่น (Condensation)

การควบแน่นเป็นกระบวนการย้อนกลับของการเดือด เกิดขึ้นเมื่อไออิ่มตัวมาสัมผัสที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ของเหลวที่เกาะตัวบนผิวจะถูกปล่อยภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงหรือการนำแรงดูดของไอที่มีการเคลื่อนที่นั้นถ้าการเคลื่อนที่ของการควบแน่นเป็นแบบราบเรียบเสมอ (Lamina) โดยทั่วไปความร้อนจะถ่ายเทจากส่วนที่สัมผัสกันของไอ-ของเหลวไปยังผิวโดยการนำอัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์ม ถ้ากำหนดให้ผิวเป็นแนวตั้ง ความหนาของฟิล์มขึ้นอยู่กับอัตราการควบแน่นสำหรับเพลทที่วางเอียงนั้นอัตราการปล่อยซึ่งมีค่าต่ำกว่า เพราะมีการเพิ่มความหนาของฟิล์มและมีผลทำให้ลดอัตราการถ่ายเทความร้อน

ลักษณะการควบแน่นทั้งสองที่เกิดขึ้นหรืออาจเกิดขึ้นพร้อมกัน วิธีที่นิยมมากคือการควบแน่นที่ฟิล์ม (Film Condensation) เกิดความบางของฟิล์มของเหลวบนผิวแต่ละส่วน สิ่งนี้เกิดขึ้นบนผิวเปียกนี้จะเป็นผิวที่สะอาดสำหรับการหยดของเหลวจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยการควบแน่น หรือหยดเล็ก ๆ หลาย ๆ หยดอาจรวมกันเป็นหยดใหญ่และเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นถึงระดับหนึ่งก็ไหลตกลงไปด้วยแรงโน้มถ่วงรูปแบบนี้เรียกว่า Drop-Wise Condensation เกิดขึ้นบนผิวที่ไม่เปียก (Non-wet Table) ดังเช่นลักษณะการเกาะไอน้ำบนเทฟลอน (Teflon) ในกรณีนี้จะมีการควบแน่นเป็นหยด แล้วเพิ่มขนาดจนกระทั่งมันถูกนำออกไปด้วยแรงโน้มถ่วงหรือเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอในขบวนการที่เกิดการควบแน่นเป็นหยดของของเหลวนั้น ส่วนบริเวณผิวหน้าของเครื่องควบแน่นซึ่งสัมผัสกับไอจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นมากกว่าที่เกิดในการควบแน่นที่ฟิล์ม [5]

2.2 ทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์

2.2.1 ความร้อนที่สะสมภายในถัง

ความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายเอทานอลภายในถังสะสม จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ผ่านไป สามารถคำนวณได้ดังนี้ [11]

$$Q_{\text{store}} = m_s C_{ps} \left[\frac{dT}{dt} \right] \quad (2-2)$$

เมื่อ Q_{store} คือ ความร้อนที่สะสมภายในถัง (W)

- m_s คือ มวลของสารละลายเอทานอลในระบบ (kg)
 C_{ps} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะสารละลายที่ความดันคงที่ ($kJ / kg \cdot K$)
 $\left[\frac{dT}{dt} \right]$ คือ อุณหภูมิภายในถังสะสมที่เปลี่ยนแปลงในเวลา t ใดๆ (K / s)

2.2.2 ความร้อนสูญเสีย

$$Q_{\text{loss}} = UA(T_s - T_a) \quad (2-3)$$

การแก้ปัญหามาจากสมการ Differential ข้างต้นสามารถใช้ Finite Element ดังนี้

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T^{(t-\Delta t)} - T^t}{\Delta t} \quad (2-4)$$

- เมื่อ Q_{loss} คือ ความร้อนที่สูญเสียออกไป (W)
 T_s คือ อุณหภูมิของสารละลายเอทานอลภายในถังที่เวลาใดๆ (K)
 T_a คือ อุณหภูมิบรรยากาศขณะนั้น (K)
 UA คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (W / K)
 T^t คือ อุณหภูมิของสารละลายเอทานอลเมื่อเวลาเริ่มต้น ($^{\circ}C$)
 $T^{(t-\Delta t)}$ คือ อุณหภูมิของสารละลายเอทานอลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป
 Δt คือ เวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (min)

2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนที่สำคัญมี 3 แบบ คือการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

2.3.1 การนำความร้อน(Conduction)

ค่าความลาดชันของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในวัสดุซึ่งมีเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) จะนำมาคำนวณหาอัตราการถ่ายเทพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวกลาง ได้ด้วยสมการดังนี้

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial n} \quad (2-5)$$

เมื่อ $\partial T / \partial n$ คือค่าความลาดชันของอุณหภูมิ ซึ่งเกิดขึ้นในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่ A ค่าการนำความร้อน (k) คือค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองสำหรับตัวกลาง (Medium) นั้นๆ และอาจเกิดขึ้นกับคุณสมบัติอื่นๆ เช่นอุณหภูมิ และความดัน ดังแสดงการวิเคราะห์ในหัวข้อ คุณสมบัติของวัสดุ หน่วยของ k คือ Btu/hr-ft-F หรือ W/m-K

เครื่องหมายลบในสมการที่ (2-3) ซึ่งก็คือ กฎของฟูเรียร์ (Fourier's Law) โดยพิจารณากฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ การถ่ายเทพลังงานความร้อนเป็นผลมาจากการที่ความลาดชันเชิงความร้อนจะต้องพิจารณาจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ลักษณะเส้นตรงดังกล่าวมักจะเกิดขึ้นในตัวกลางที่มีลักษณะที่มีเนื้อเดียวกันโดยกำหนดให้มีค่า k คงที่ในระหว่างที่มีการถ่ายเทความร้อนในเชิงสม่ำเสมอ

การถ่ายเทความร้อนในสภาวะสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิทุกๆจุดภายในวัตถุรวมทั้งที่ผิวจะไม่ขึ้นอยู่กับเวลาหรือถ่ายเทออกจากวัตถุตั้งนั้นการสะสมความร้อนภายในวัตถุนี้ คือ

$$Q_{\text{stored}} = mC_p \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2-6)$$

2.3.2 การพาความร้อน (Convection)

เมื่อใดก็ตามที่วัตถุแข็งเกรงวางตัวอยู่ในของไหลที่กำลังเคลื่อนที่โดยที่ของแข็งดังกล่าวมีอุณหภูมิแตกต่างจากวัตถุนั้นแล้วจะมีการพาพลังงานออกไปจากของไหลโดยของไหลดังกล่าวถ้าอุณหภูมิทางด้านส่วนต้นของของไหลคือ T_∞ และอุณหภูมิที่ผิวของของแข็งคือ T_s ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยเวลาจากสมการ ดังนี้คือ

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2-7)$$

ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่า เป็นกฎการเย็นตัว(Newton's Law of Cooling) ในสมการนี้กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนโดยการพา(h) เป็นค่าคงที่ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของการถ่ายเทความร้อน คิดต่อหนึ่งหน่วยเวลาและต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยพิจารณาจากความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ทั้งหมด หน่วยของ h คือ Btu/hr-ft²-F หรือ W/m²-K สิ่งที่สำคัญคือการแลกเปลี่ยนพลังงานด้านพื้นฐานที่ชั้นขอบเขตของการไหล-ของแข็งเกิดขึ้น โดยการนำความร้อนและพลังงานดังกล่าวถูกพาออกไปโดยการไหลของของไหล [14]

2.4 ตะไคร้หอม

จัดเป็นพืชตระกูลเดียวกับตะไคร้บ้าน แต่มีกลิ่นหอมฉุนที่แรงกว่า นิยมนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหย ต้มน้ำดื่ม ทำรูป และใช้ในการป้องกัน และกำจัดแมลงศัตรูพืชตะไคร้หอม (Citronella Grass) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในวงศ์ Gramineae พันธุ์ที่นิยมปลูกมากเพื่อการผลิตน้ำมันหอมระเหย มีอยู่ 2 ชนิด คือ พันธุ์ Cymbopogonardus Lin. มีชื่อเรียกตามท้องถิ่นต่างๆ เช่น ตะไคร้มะขูด ตะไคร้มะขูด (ภาคเหนือ) หรือตะไคร้แดง (นครศรีธรรมราช) ส่วนอีกชนิดคือพันธุ์ Cymbopogonwinterianus Jowitt ปลูกมากบริเวณเกาะชวา มีชื่อพื้นเมืองว่า Mahapengiri ซึ่งต่อมาได้กระจายออกไปหลายแห่ง เช่น เกาะไต้หวัน เกาะฮอติ และเป็นชนิดที่ปลูกมากในประเทศไทย ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ตะไคร้หอมเป็นพืชล้มลุก อายุประมาณได้นาน 6-8 ปี เป็นพืชที่มีกลิ่นหอม เจริญเติบโตด้วยการแตกหน่อ หรือแตกเหง้า มีทรงพุ่มเป็นกอคล้ายตะไคร้บ้าน มีลำต้นยื่นจากเหง้าสั้น รูปทรงกระบอก ผิวเรียบเกลี้ยง ส่วนเหนือดินสูงได้ตั้งแต่ 1-2 เมตร

ตะไคร้หอมมีเป็นใบเดี่ยว ขนาดใหญ่ ยาว แต่บางกว่าตะไคร้บ้าน ใบเรียวยาว กว้าง 1.5-2.6 เซนติเมตร ยาว 60-115 เซนติเมตร ปลายใบเรียวแหลม ขอบใบหยักถี่ คมแข็ง มีผิวใบสาก ไม่มีขน บริเวณโคนใบด้านในมีขน ปลายใบยาวมีลักษณะโน้มลง ใบมีสีเขียวแกมเหลือง กาบใบเป็นส่วนหุ้มที่มองเป็นลำต้นเทียม มีสีเขียวแกมแดงหรือสีม่วง ซึ่งต่างจากตะไคร้บ้านที่มีสีเขียวอมเขียว [1]

2.4.1 น้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอม

น้ำมันหอมระเหย (Volatile Oil) เป็นสารอินทรีย์ที่พืชสังเคราะห์ขึ้น มีกลิ่น และรสเฉพาะตัว ถูกสร้างไว้ในเซลล์พิเศษ ฉับเซลล์ ต่อมหรือท่อภายในพืช น้ำมันหอมระเหยเกิดขึ้นจากกระบวนการเมตาบอลิซึมระดับทุติยภูมิ (Secondary Metabolite) แต่เป็นสารที่ไม่ได้ทำหน้าที่ต่อการเจริญเติบโต เป็นสารที่พบในพืชบางชนิด สารตั้งต้นในกระบวนการผลิตน้ำมันหอมระเหย เป็นสารที่ได้จากปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมระดับปฐมภูมิ (Primary Metabolite) แตกต่างกันที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของการผลิตน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดพืชที่ผลิตน้ำมันหอมระเหยได้จะสังเคราะห์ จัดเก็บ และปลดปล่อยกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกัน สำหรับตะไคร้หอม เป็นพืชที่สร้างน้ำมันหอมระเหยจากเซลล์ขนาดเล็ก (Microhairs) ที่อยู่บริเวณเนื้อเยื่อถาวร Abaxial Epidermis ของใบ [1]

2.4.1.1 การใช้ประโยชน์

1.) ประโยชน์ทางการแพทย์ตะไคร้หอมเป็นสมุนไพรพื้นบ้านที่มีน้ำมันหอมระเหยสูงกว่าตะไคร้บ้าน พบในส่วนใบ กาบใบ และลำต้น มีสรรพคุณทางยา ใช้แก้ริดสีดวงในปาก ปากแตกกระแหว แผลในปาก ขับลมในกระเพาะ ลำไส้ แก้อืดท้องเฟ้อ

2.) ประโยชน์ทางการเกษตร น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมคุณสมบัติป้องกันตัวเต็มวัย และสามารถฆ่าไข่ของด้วงถั่วเขียว (*Callosobruchus Maculatus*) ซึ่งเป็นแมลงลงในโรงเก็บเข้าทำลายเมล็ดถั่วเขียวที่เก็บ โดยใช้ Citronellal ความเข้มข้นร้อยละ 5 ตั้งทิ้งไว้ในโรงเก็บเมล็ดเป็นเวลา 3 ชั่วโมงสามารถออกฤทธิ์ไล่ตัวเต็มวัยและไข่ของด้วงถั่วเขียวได้มีการทดลองใช้สารสกัดจากตะไคร้หอมยับยั้งเพลี้ยที่เข้าทำลายต้นยี่ห่วยฝรั่งได้โดยใช้ Citronellal เข้มข้นร้อยละ 1.0 ฉีดพ่นยี่ห่วยฝรั่ง และมีการนำมาใช้ประโยชน์ในการควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus flavus* และการผลิต Aflatoxin พบว่า Citronellal ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมสามารถยับยั้งการผลิต Aflatoxin โดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 [1]

2.4.2 ความต้องการตะไคร้หอม

ความต้องการผลผลิตตะไคร้หอมภายในประเทศมีมากกว่าปีละ 15 ตัน ส่วนมากมีความต้องการมากในกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์ชุมชน และโรงพยาบาล เพื่อนำไปสกัดน้ำมันหอมระเหย แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพร เช่น ยาแก้นิ่วและแมลง สารให้กลิ่นในเครื่องสำอาง ยารักษาโรค และน้ำสมุนไพร ส่วนที่เหลือจะจำหน่ายเข้าสู่โรงงานแปรรูปโดยตรง และบางส่วนส่งออกจำหน่ายไปยังตลาดต่างประเทศ

2.4.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil) คือ น้ำมันที่พืชสร้างขึ้นและเก็บไว้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ดอก ใบผล ลำต้น ตลอดจนเมล็ดซึ่งจะพบแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด คุณสมบัติที่เด่นชัด คือ มีกลิ่นหอมและระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ น้ำมันหอมระเหยเป็นกลุ่มสารอินทรีย์กลิ่นดังกล่าวไม่จำเป็นต้องหอมเสมอไป สะสมอยู่ในบริเวณผนังเซลล์จากพืช เป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากการเจริญเติบโต ซึ่งประกอบด้วย 2 ขบวนการ คือ การเผาผลาญ (Catabolism) และการสร้าง (Anabolism) ปริมาณและคุณภาพน้ำมันหอมระเหยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ดิน ภูมิอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความสูงจากระดับน้ำทะเลการเก็บเกี่ยว ตลอดจนเทคนิค และวิธีการสกัดและการกลั่น ในปัจจุบันน้ำมันหอมระเหยกลายเป็นสิ่งจำเป็นต่อมนุษย์เพิ่มขึ้น และมีบทบาทอย่างกว้างขวาง ในวงการอุตสาหกรรม ทั้งทางด้านบริโภคและอุปโภค และที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน จะเห็นได้ว่าในแต่ละวันตั้งแต่เช้าจรดค่ำ ตื่นเช้าขึ้นมา ล้างหน้า แปรงฟัน อาบน้ำ หวีผม แต่งหน้า ล้วนแล้วแต่ใช้ในเครื่องอุปโภคช่วยปรุงแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหย และเครื่องหอมทั้งสิ้น นับตั้งแต่ สบู่ ยาสีฟัน ยาสระผม น้ำมันใส่ผม โลชั่น โคลโลญจ์ เป็นต้น และ ปัจจุบันประเทศไทยต้องสั่งน้ำมันหอมระเหยและ กลิ่นต่างๆ เข้ามา คิดเป็นมูลค่าหลายพันล้านบาท โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมทั้งเครื่องบริโภคและอุปโภค อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอางผงซักฟอก ยาสูบ เปียร์ สบู่ นมสด ไอศกรีม ฯลฯ ซึ่งมีอยู่ในประเทศไทยมากกว่า 200 โรงงาน โรงงานเหล่านี้มีความ

จำเป็นต้องใช้น้ำมันหอมระเหยกลิ่นหอมต่างๆ การสกัดน้ำมันหอมระเหย คือ การกลั่นน้ำมันหอมระเหย (distillation) การกลั่น เป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในการสกัดน้ำมันหอมระเหย หลักการของการกลั่น คือ ใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำเข้าไปแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากพืช โดยการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อพืช ความร้อนจะทำให้สารละลายออกมากลายเป็นไอ ปนมากับน้ำร้อนหรือไอน้ำ อย่างไรก็ตาม การกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดีนั้น ต้องอาศัยเทคนิคและขบวนการทางเคมีและกายภาพหลายอย่างประกอบกัน โดยทั่ว ๆ ไป เทคนิคการกลั่น น้ำมันหอมระเหยที่ใช้กันอยู่มี 3 วิธี ได้แก่ [9]

2.4.3.1 การกลั่นด้วยน้ำร้อน (Water distillation & Hydro - distillation)

เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการกลั่น น้ำมันหอมระเหย การกลั่น โดยวิธีนี้พื้นที่กลั่น ต้องจุ่มในน้ำเดือดทั้งหมด อาจพบพืชบางชนิดเบาหรือให้ท่อไอน้ำผ่านการกลั่น น้ำมันหอมระเหยนี้ใช้กับของที่ติดกันง่าย ๆ เช่น ใบไม้บาง ๆ กลีบดอกไม้อ่อน ๆ ข้อควรระวังในการกลั่นโดยวิธีนี้คือ พืชจะได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอตรงกลางมักจะได้รับความร้อนมากกว่าด้านข้าง จะมีปัญหาในการไหม้ของตัวอย่าง กลิ่นไหม้จะปนมากับน้ำมันหอมระเหยและมีสารไม่พึงประสงค์ติดมาในน้ำมันหอมระเหยได้ วิธีแก้ไข คือ ใช้น้ำหรืออาจใช้ Closed Steam Coil จุ่มในหม้อต้ม แต่การใช้ Steam Coil นี้ไม่เหมาะกับดอกไม้บางชนิด เพราะเมื่อกลิบบอกไม้ถูก Steam Coil จะหดกลายเป็น Glutinous Mass จึงต้องใช้วิธีใส่ลงไปในน้ำ กลีบดอกไม้จะสามารถหมุนเวียนไปอย่างอิสระในการกลั่น เปลือกไม้ก็เช่นกัน ถ้าใช้วิธีกลั่นด้วยน้ำ โดยน้ำจะซึมเข้าไปและนำกลิ่นออกมา หรือกลิ่นจะแพร่กระจายออกจากเปลือกไม้ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการกลั่นจึงขึ้นกับชนิดของพืชที่นำมากลั่นด้วย

2.4.3.2 การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and Steam Distillation)

การกลั่น โดยวิธีนี้ใช้ตะแกรงรองของที่จะกลั่น ให้เหนือระดับน้ำในหม้อกลั่น ต้มให้เดือด ไอน้ำจะลอยตัวขึ้นไปผ่านพืชหรือตัวอย่างที่จะกลั่นส่วนน้ำจะไม่ถูกกับตัวอย่างเลย ไอน้ำจากน้ำเดือดเป็นไอน้ำที่อิ่มตัว หรือเรียกว่า ไอเปียก ไม่ร้อนจัด เป็นการกลั่น ที่สะดวกที่สุด คุณภาพของน้ำมันออกมาดีกว่าวิธีแรก การกลั่น แบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยทางการค้า

2.4.3.3 การกลั่นด้วยไอน้ำ (Direct Steam Distillation)

วิธีนี้วางของอยู่บนตะแกรงในหม้อกลั่นซึ่งไม่มีน้ำอยู่เลย ไอน้ำภายนอกที่อาจจะเป็นไอน้ำเปียก หรือไอน้ำร้อนจัดแต่ความดันสูงกว่าบรรยากาศ ส่งไปตามท่อใต้ตะแกรง ให้ไอน้ำผ่านขึ้นไปถูกกับของบนตะแกรง ไอน้ำต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะช่วยให้น้ำมันแพร่ระเหยออกมาจากตัวอย่าง ตัวอย่างบางชนิดอาจใช้ไอน้ำร้อนได้ แต่บางชนิดก็ใช้ไอเปียก น้ำมันจึงจะถูกปล่อยออกมา 3 ข้อดีของการกลั่น วิธีนี้

คือ สามารถกลั่น ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเอาพีซีใส่หม้อกลั่น ไม่ต้องเสียเวลารอให้ร้อน ปล่อยไอร้อนเข้าไปได้เลย ปริมาณของสารที่นำเข้ากลั่นก็ได้มาก

น้ำมันหอมระเหยมากการกลั่น ทั้ง 3 วิธี ผู้ปฏิบัติควรพิจารณาด้วยว่า การแพร่กระจายของน้ำมันหอมระเหยและน้ำร้อยผ่านเยื่อ บางๆ ของพีซี การไฮโดรไลซิสสาร องค์ประกอบต่างๆ เนื่องจากสัมผัสกับน้ำตลอดเวลา ตลอดจน การสลายตัวของสารในน้ำมันหอมระเหย อันเนื่องมาจากความร้อน ถึงแม้ว่าก่อนนำพีซีมากลั่น จะต้องหั่น หรือทำให้เซลล์แตกก่อน เพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยออกมาจากเซลล์ได้ง่าย แต่ถึงกระนั้น ก็ยังมีน้ำมันหอมระเหยบางส่วนที่อยู่ทีผิวและถูกทำให้กลายเป็นไออย่างรวดเร็วด้วยไอน้ำ น้ำมันส่วนที่เหลือภายในจะออกมาสู่ผิวได้โดยการซึมผ่านผนังบางๆ ของพีซี และจะดำเนินไปได้ดีที่อุณหภูมิสูง สารประกอบพวกเอสเทอร์จะถูกไฮโดรไลซิสให้เป็นกรด และ แอลกอฮอล์ได้ง่าย ดังนั้น เพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดีที่สุด ควรกลั่น ที่อุณหภูมิต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ หากได้น้ำมันน้อย ควรใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ใช้เวลาให้สั้นที่สุด การกลั่น จะต้องพิจารณาให้รอบคอบ วัดอุณหภูมิและเวลาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการกลั่นน้ำมันหอมระเหย [9]

2.5 การเตรียมสารละลาย

2.5.1 สารละลาย (Solution)

สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 10% ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นสารละลายที่ได้จากการผสมกันระหว่างเอทานอล 95% กับน้ำกลั่น ซึ่งสารละลายหมายถึง ของผสมที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งเกิดขึ้นระหว่าง 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิดก็ได้ โดยอัตราส่วนที่ผสมกันนั้นไม่แน่นอน แต่อัตราส่วนที่ผสมนี้จะเหมือนกันทุกส่วนของสารละลาย

สารละลายประกอบด้วย ตัวทำละลาย (Solvent) กับ ตัวถูกละลาย (Solute) ในสารละลาย จะมีตัวทำละลายมากกว่าตัวถูกละลายเสมอ เช่น สารละลายเกลือแกง ประกอบด้วยตัวทำละลายคือน้ำ ตัวถูกละลายคือเกลือแกง ซึ่งปริมาณของน้ำมีมากกว่าปริมาณของเกลือแกง ทำให้ผลึกของเกลือแกงละลาย

เนื่องจากสารละลายมีได้ทั้ง 3 สถานะ คือสารละลายของแข็ง สารละลายของเหลว และ สารละลายแก๊ส ดังนั้นจึงสามารถแบ่งสารละลายได้ 9 ชนิดดังนี้

- 1) สารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นแก๊ส (สารละลายแก๊ส) มี 3 ชนิด
 - แก๊ส + แก๊ส เช่น ออกซิเจนในอากาศ
 - แก๊ส+ของเหลว เช่น ไอน้ำในอากาศ
 - แก๊ส+ของแข็ง เช่น ไอโอดีนในอากาศ
- 2) สารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นของเหลว (สารละลายของเหลว) มี 3 ชนิด
 - ของเหลว+แก๊ส เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ
 - ของเหลว+ของเหลว เช่น แอลกอฮอล์ในน้ำ
 - ของเหลว+ของแข็ง เช่น เกลือแกงในน้ำ

3) สารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นของแข็ง (สารละลายของแข็ง) มี 3 ชนิด

- ของแข็ง + แก๊ส เช่น ไฮโดรเจนในพาราเดียม
- ของแข็ง+ของเหลว เช่น พรอทในเงิน
- ของแข็ง+ของแข็ง เช่น เงินในตะกั่ว

2.5.2 ความเข้มข้นของสารละลาย

ความเข้มข้นของสารละลายเป็นการบอกให้ทราบว่า มีตัวละลายอยู่เท่าใด ในสารละลายนั้น ซึ่งส่วนมากนิยมบอกเป็นมวลหรือโมลของตัวละลายต่อหน่วยปริมาตรของสารละลาย ในที่นี้จะกล่าวถึง ความเข้มข้นของสารละลายและการเตรียมสารละลายในหน่วยความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้

1) ร้อยละของตัวละลาย (Percent of Solute) การบอกความเข้มข้นของสารละลายมี 3 แบบ

- ร้อยละของตัวละลาย (Present by Weight : %wt/wt) หมายถึง น้ำหนักของตัวละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย 100 หน่วยน้ำหนักเดียวกัน ถ้าต้องการเตรียมสารละลายในปริมาณมาก ๆ คำนวณหาน้ำหนักของสารละลายดังนี้

$$\text{น้ำหนักของตัวละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวละลาย} \times \text{น้ำหนักของสารละลาย}}{100} \quad (2-8)$$

เมื่อเราทราบน้ำหนักของตัวละลายก็หาน้ำหนักของตัวทำละลาย ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างน้ำหนักของสารละลายกับน้ำหนักของตัวละลาย แล้วนำไปเตรียมสารละลายต่อไป

ในกรณีที่เรารู้หาน้ำหนักของตัวละลายที่เติมลงไปในตัวทำละลาย และทราบน้ำหนักของสารละลายก็สามารถคำนวณหาร้อยละของตัวละลายในสารละลายในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักโดยสูตรข้างล่างนี้

$$\text{ร้อยละโดยน้ำหนักของตัวละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวละลาย} \times 100}{\text{น้ำหนักของสารละลาย}} \quad (2-9)$$

- ร้อยละโดยปริมาตร (Percent by Volume : %v/v) หมายถึง ปริมาตรของตัวละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย 100 หน่วยปริมาตร การเตรียมสารละลายหน่วยร้อยละโดยปริมาตรนี้ใช้กับตัวละลายที่เป็นของเหลว ถ้าต้องการเตรียมสารละลายในปริมาณมาก ๆ คำนวณหาปริมาตรของตัวละลายได้ดังนี้

$$\text{ปริมาตรของตัวละลาย} = \frac{\text{ร้อยละโดยปริมาตร} \times \text{ปริมาตรของสารละลาย}}{100} \quad (2-10)$$

เมื่อเราทราบปริมาตรของตัวละลายก็หาปริมาตรของตัวทำละลายซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างปริมาตรของสารละลายกับปริมาตรของตัวละลายแล้วนำไปเตรียมสารละลายต่อไป

2) เศษส่วนโมล (Mole Fraction) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างจำนวนโมลของสารใดสารหนึ่งกับจำนวนโมลทั้งหมดของสารละลายนั้น

$$N_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad (2-11)$$

$$N_B = \frac{n_B}{n_B + n_A} \quad (2-12)$$

เมื่อ N_A = เศษส่วนโมลของสาร A
 N_B = เศษส่วนโมลของสาร B
 n_A = จำนวนสาร A
 n_B = จำนวนสาร B

เศษส่วนโมลเป็นค่าที่ใช้บอกปริมาณของสารต่าง ๆ ในสารละลายนั้นได้ สารใดมีเศษส่วนโมลมาก แสดงว่าสารนั้นอยู่มากในสารละลาย เมื่อนำเศษส่วนโมลของสารทุกชนิดในสารละลายมารวมกันจะมีค่าเท่ากับ 1 (ในที่นี้คือ $(N_A + N_B) = 1$) ถ้าต้องการหาค่าโมลเปอร์เซ็นต์ ก็จะต้องคูณเศษส่วนมูลด้วย 100 [5]

2.6 ทฤษฎีรังสีแสงอาทิตย์

รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกลงพื้นโลกสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

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

2.) รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีที่ได้หลังจากที่มีการกระจาย การหักเหและการสะท้อนในชั้นบรรยากาศหรือสิ่งแวดล้อม ทำให้มีทิศทางไม่แน่นอนและไม่เป็นระเบียบ เครื่องมือที่ใช้วัดรังสีกระจาย คือ ไพราโนมิเตอร์ชนิดที่มี Shading Ring

3.) รังสีรวม (Total or Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย การหาค่ารังสีรวมบนพื้นราบสามารถหาได้จากเครื่องมือที่ใช้วัดรังสีรวมคือ ไพราโนมิเตอร์

ในการคำนวณรังสีอาทิตย์นั้นเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นเวลาสุริยะ (Solar Time) ซึ่งมีค่าแตกต่างจากเวลามาตรฐานท้องถิ่น (Standard Time) ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลหลักสองประการ ประการแรกคือ ค่าความแตกต่างลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้ในการคำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่นกับเส้นลองจิจูดเมริเดียนของตำแหน่งที่ต้องการพิจารณา ประการที่สอง เนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกันไปทั้งปี จึงทำให้เวลามาตรฐานท้องถิ่นและเวลาสุริยะแตกต่างกัน ซึ่งมีค่าชดเชยที่เรียกว่าสมการเวลา (Equation of time, E) ตำแหน่งดวงอาทิตย์กำหนดด้วยค่ามุมชั่วโมง (Hour Angle) โดยการโคจรของดวงอาทิตย์ใช้เวลา 4 นาที ในแต่ละองศา หรือ 15 องศาในแต่ละชั่วโมงโดยที่ช่วงบ่ายจะมีค่าบวก (+) ช่วงเช้ามีค่าลบ (-) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก [13]

$$\omega = 15t \quad (2-13)$$

$$\text{Solar Time} - \text{Standard Time} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (2-14)$$

$$E = (9.87 \sin 2B) - (7.53 \cos B) - (1.5 \sin B) \quad (2-15)$$

$$B = \frac{360(n - 81)}{365} \quad (2-16)$$

เมื่อ L_{st} คือ เส้นลองจิจูด (Longitude) มาตราฐานสำหรับประเทศไทยอยู่ที่กรุงเทพฯ ซึ่งมีค่าประมาณ 105 องศาตะวันออก (องศา)

L_{loc} คือ เส้นลองจิจูด (Longitude) ของตำแหน่งที่ตั้งที่พิจารณา (องศา)

ω คือ มุมชั่วโมง (องศา)

t คือ จำนวนชั่วโมง

E คือ สมการเวลา

ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนพื้นราบเมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศโลกในแต่ละวัน จากพระอาทิตย์ขึ้นจนพระอาทิตย์ตกสามารถคำนวณได้จาก [13]

$$H_o = \frac{24}{\pi} (3600) I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} + \sin \phi \sin \delta \right) \quad (2-15)$$

เมื่อ H_o คือ รังสีนอกชั้นบรรยากาศรายวัน ($MJ / m^2 \cdot day$)

I_{sc} คือ ค่าคงที่สุริยะมีค่า $1353 (W / m^2)$

มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) เป็นมุมที่ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันทำมุมกับระนาบเส้นศูนย์สูตรของโลก ซึ่งมุมนี้จะมีค่าเปลี่ยนทุกวันระหว่าง 23.45 และ -23.45 และค่า Sunrise hour angle สามารถคำนวณได้จาก

$$\omega_s = \cos^{-1}(\tan \varphi \tan \delta) \quad (2-16)$$

$$\delta = 23.45 \sin 360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \quad (2-17)$$

- เมื่อ δ คือ มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) (องศา)
 ω_s คือ Sunrise Hour Angle (องศา)
 n คือ วันที่ของปี
 φ คือ มุมละจิจูดที่ตำแหน่งพิจารณา (องศา)

ตารางที่ 2-1 วันที่ที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือน

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

รังสีอาทิตย์รวมที่ตกลงมาบนโลกจะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจาย ค่ารังสีกระจายเฉลี่ยสำหรับประเทศไทยจะพิจารณาค่ารังสีอาทิตย์รายวันที่เฉลี่ยในแต่ละเดือน จากข้อมูลทางสถิติของประเทศไทย ซึ่งค่ารังสีกระจายเฉลี่ยจะคำนวณได้จาก [13]

$$\frac{H_d}{H_o} = -4.6408 + 26.5495 \left[\frac{H}{H_o} \right] - 28.3422 \left[\frac{H}{H_o} \right]^2 - 31.4546 \left[\frac{H}{H_o} \right]^3 + 46.4421 \left[\frac{H}{H_o} \right]^4 \quad (2-18)$$

เมื่อ H_d คือ ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายวัน ($MJ / m^2 \cdot day$)

H_o คือ ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวันที่นอกชั้นบรรยากาศ ($MJ / m^2 \cdot day$)

H คือ ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวัน ($MJ / m^2 \cdot day$)

ตารางที่ 2-2 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

ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงสามารถคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนรังสีรวมรายชั่วโมงต่อรังสีรวมรายวัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (2-19)$$

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \left[\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360} \right) \cos \omega_s} \right] \quad (2-20)$$

เมื่อ a คือ $a_1 + a_2 \sin(\omega_s - 60)$

b คือ $b_1 + b_2 \sin(\omega_s - 60)$

I คือ ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง ($MJ / m^2 \cdot hr$)

H คือ ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวัน ($MJ / m^2 \cdot day$)

a_1, a_2, b_1, b_2 คือ ค่าคงที่ที่สถานีวัดต่างๆของประเทศไทยแสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1 และ b_2 ที่สถานีวัดต่างๆของประเทศไทย

สถานี	a_1	a_2	b_1	b_2
กรุงเทพ	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

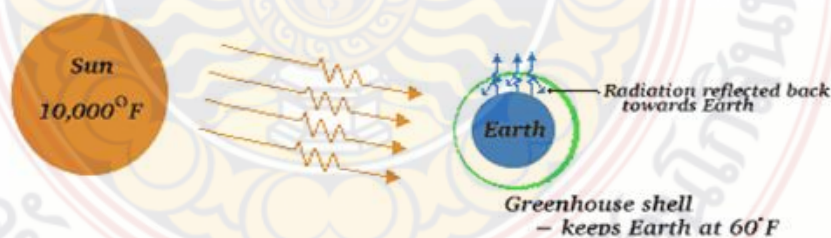
ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมงคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนของรังสีกระจายรายชั่วโมงต่อค่ารังสีกระจายรายวันดังนี้

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} = \frac{\pi}{24} \left[\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{2\pi \omega_s \cos \omega_s}{360}} \right] \quad (2-21)$$

$$I_b = I - I_d \quad (2-22)$$

เมื่อ I_b คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตรงรายชั่วโมงบนระนาบในแนวระดับ ($MJ / m^2 \cdot hr$)

I_d คือ ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมงบนระนาบในแนวระดับ ($MJ / m^2 \cdot hr$)



ภาพที่ 2-3 การส่งผ่านรังสีอาทิตย์มายังพื้นผิวโลก [13]

ในกรณีแผงรับรังสีอาทิตย์ที่วางเอียงเพื่อรับรังสีอาทิตย์ จะต้องคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนพื้นเรียบในแนวเอียง จากแนวระดับที่มุมต่างๆ จะมีแนวทางในการคำนวณดังนี้

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_p \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2-23)$$

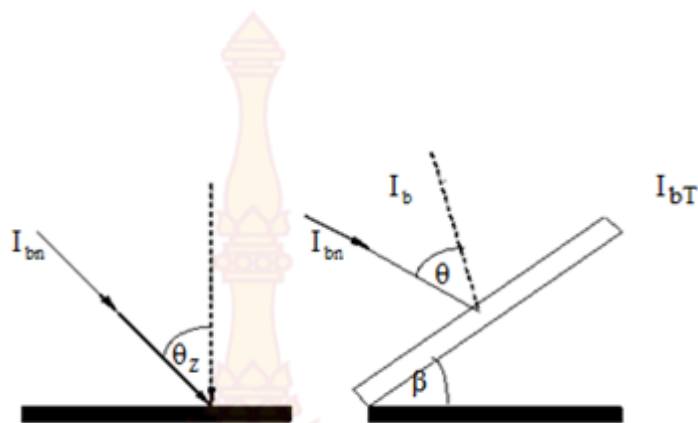
$$R_b = \left(\frac{I_{bT}}{I_b} \right) = \left(\frac{I_{bn} \cos \theta}{I_{bn} \cos \theta_z} \right) = \left(\frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \right) \quad (2-24)$$

$$\cos \theta_z = (\cos \varphi \cos \delta \cos \omega) + (\sin \varphi \sin \delta) \quad (2-25)$$

$$\begin{aligned} \cos \theta = & (\sin \delta \sin \varphi \cos \beta) - (\sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma) + (\cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega) + \\ & (\cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega) + (\cos \delta \sin \beta \sin \varphi \sin \gamma \sin \omega) \end{aligned} \quad (2-26)$$

- เมื่อ I_T คือ ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงบนระนาบในแนวเอียง ($MJ / m^2 \cdot hr$)
 I_b คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตรงรายชั่วโมงบนระนาบในแนวระดับ ($MJ / m^2 \cdot hr$)
 I_d คือ ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมงบนระนาบในแนวระดับ ($MJ / m^2 \cdot hr$)
 I_{bT} คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตรงรายชั่วโมงบนระนาบในแนวเอียง ($MJ / m^2 \cdot hr$)
 β คือ มุมที่แผงรับแสงเอียงทำมุมกับแนวระดับ (องศา)
 θ คือ มุมตกกระทบบังสีตรงบนระนาบในแนวเอียง (องศา)
 θ_z คือ มุมตกกระทบบังสีตรงบนระนาบในแนวระดับ (องศา)
 ρ คือ แฟกเตอร์ของรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อม
 γ คือ มุมอะซิมุท (Azimuth Anglc)

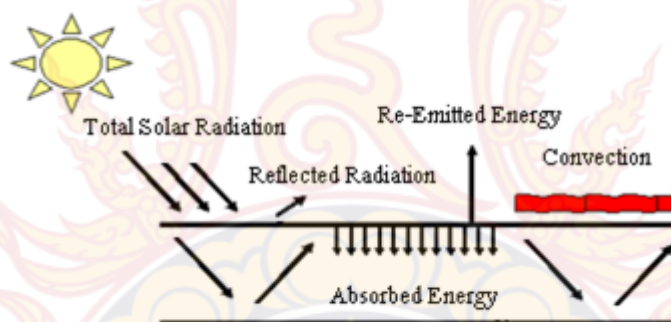
มุมอะซิมุท คือ มุมระหว่างทิศใต้กับทิศทางการหันหน้าของตัวเก็บรังสี (γ) มีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อหันหน้าไปทิศใต้ มีค่าเป็นบวก (+) เมื่อหันหน้าไปทางทิศตะวันตก และมีค่าเป็นลบ (-) เมื่อหันหน้าไปทางทิศตะวันออก ($-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$) [13]



ภาพที่ 2-4 มุมตกกระทบของรังสีตรงบนพื้นราบและบนพื้นเอียง [13]

2.7 การส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นปิดโปร่งแสง ค่ารังสีอาทิตย์บางส่วนจะทะลุผ่านแผ่นปิดโปร่งแสงซึ่งมีค่าดูดรังสี (α) และเมื่อกระทบกับผิววัตถุด้านล่างบางส่วนจะถูกดูดกลืน ($\tau\alpha$) และบางส่วนจะสะท้อนกลับไปที่แผ่นปิดโปร่งแสงอีก ซึ่งจะมีการสะท้อนกลับไปมา ดังภาพที่ 2-5 [7]



ภาพที่ 2-5 ลักษณะการส่งผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ [7]

ในทางปฏิบัติค่ารังสีอาทิตย์ที่ดูดกลืนที่ผิวดูดรังสีเมื่อมีแผ่นปิดโปร่งแสงสามารถคำนวณได้จาก

$$0.85(\tau\alpha)_e \approx 1.01(\tau\alpha) \quad (2-27)$$

- เมื่อ τ คือ ค่าสภาพส่งผ่าน (Transmissivity) ของกระจกมีค่าประมาณ 0.85
 α คือ ค่าสภาพการดูดกลืน (Adsorptivity) ของผิวสีดำด้านมีค่าประมาณ 0.96
 ρ_c คือ ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์

2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับแผงรับรังสีอาทิตย์

แผงรับรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับของไหล

ทำงานที่ไหลผ่าน ทำให้ของไหลดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น แผงรับรังสีอาทิตย์แบ่งออกเป็นสองชนิดใหญ่ ๆ ชนิดแรกคือแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดไม่รวมแสง (Non – Concentrating Collectors) เช่น แผงรับรังสีแบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collectors) และแผงรับรังสีแบบท่อสุญญากาศ (Evacuated Tubular Solar Collectors) ชนิดที่สองคือแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสง (Concentrating Collectors) ซึ่งสามารถทำงานในช่วงอุณหภูมิสูง ๆ ได้ สำหรับในกรณีที่ไม่ต้องการอุณหภูมิ สูงมาก นักมักจะใช้แผงรับรังสีแบบแผ่นเรียบ ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นดูดรังสี (Absorber Plate) ทาสีดำ มีลักษณะเป็นท่อและครีป ภายในท่อจะมีของไหลทำงานบรรจุอยู่ตัวถังมีการบุฉนวนความร้อนอย่างดี และมีฝาปิดโปร่งแสง (Transparent Cover) ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนจากแผ่นดูดรังสี โดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนไปยังสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ แสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านฝาปิดโปร่งแสงซึ่งเป็นกระจกหรือพลาสติกใสจะถูกดูดกลืนโดยแผ่นดูดรังสี และจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ถ่ายเทให้กับของไหลในท่อ ซึ่งอาจจะเป็นของเหลวเช่น น้ำ น้ำมัน หรือแก๊ส เช่น อากาศ ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและนำไปใช้งานต่อไป

หากพิจารณาแผงรับรังสีอาทิตย์ที่สภาวะคงตัว (Steady State) ที่ขณะใดๆ ค่ารังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนจะเท่ากับค่าอัตราการความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์บวกด้วยอัตราการสูญเสียจากผิวดูดรังสี ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้ [5]

$$(Q_e)I_T A_c = Q_c + U_L A_c (T_{pm} - T_a) \quad (2-28)$$

โดยที่

$$Q_c = mc_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (2-29)$$

ดังนั้นค่าอัตราการความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ เขียนได้เป็น

$$Q_c = A_c [I_T (\tau\alpha)_e - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (2-30)$$

เมื่อ Q_c คือ อัตราความร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีอาทิตย์ (W)

(Q_e) คือ ผลคูณประสิทธิภาพของสภาพส่องผ่าน

A_c คือ พื้นที่รับแสงอาทิตย์ของแผงรับรังสีอาทิตย์ (m^2)

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับรังสีอาทิตย์
($W / m^2 \cdot ^\circ C$)

T_{pm} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)

T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^\circ C$)

I_T คือ รังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงรับรังสีอาทิตย์ (W/m^2)

$(\tau\alpha)_e$ คือ ผลคูณสัมประสิทธิ์ผลรวมค่าส่งผ่านและค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์

m คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)

T_{fo} คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)

T_{fi} คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)

η_c คือ ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ (Collector Efficiency)

F_R คือ ค่าแฟคเตอร์การดูดความร้อน (Heat Removal Factor)

ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ จะเป็นดัชนีที่ใช้บอกความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\eta_c = \frac{Q_c}{I_T A_c} = (\tau\alpha)_e - U_L \frac{(T_{pm} - T_a)}{I_T} \quad (2-31)$$

ในทางปฏิบัติอุณหภูมิผิวดูดกลืนรังสีเฉลี่ย (T_{pm}) วัดให้ถูกต้องได้ยาก จึงมีการปรับค่าสมการดังกล่าว โดยกำหนดค่า Heat removal factor, F_R ดังนี้

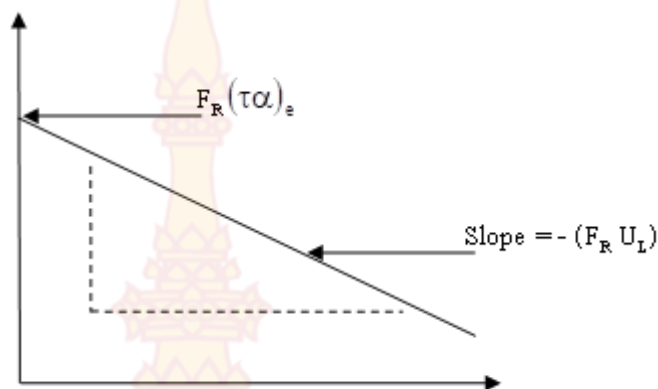
$$F_R = \frac{Q_c}{Q_c|_{T_{pm}=T_{fi}}} \quad (2-32)$$

ดังนั้นจะได้ว่า $Q_c = A_c F_R [I_T (\tau\alpha)_e - U_L (T_{fi} - T_a)]$ (2-33)

และประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์จะอยู่ในรูป

$$\eta_c = F_R (\tau\alpha)_e - F_R U_L \frac{(T_{fi} - T_a)}{I_T} \quad (2-34)$$

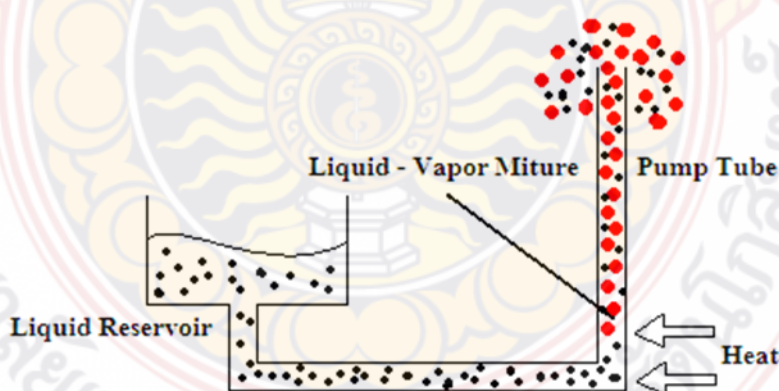
เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่าง η_c และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$ มาพล็อตกราฟจะได้เป็นสมการเส้นตรง โดยค่าความชันของเส้นกราฟ คือ $-F_R U_L$ และค่าจุดตัดบนแกนประสิทธิภาพ η_c คือค่า $F_R (\tau\alpha)_e$ ซึ่งค่า $F_R (\tau\alpha)_e$ และค่า $-F_R U_L$ นี้สามารถหาได้จากสมการทดลอง โดยที่ค่า $F_R (\tau\alpha)_e$ คือ ค่าสมรรถนะเชิงแสง ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของแผงรับรังสีอาทิตย์มีค่าสูง ส่วนเทอม $-F_R U_L$ จะแสดงค่าการสูญเสียความร้อนถ้ามีค่าสูงแสดงว่าแผงรับรังสีอาทิตย์ดังกล่าวป้องกันการสูญเสียความร้อนไม่ดีพอ ทั้งสองค่านี้จะเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการเปรียบเทียบสมรรถนะแผงรับรังสีอาทิตย์ [5]



ภาพที่ 2-6 เส้นแสดงสมรรถนะของแผงรับรังสีอาทิตย์ [5]

2.9 ทฤษฎีเทคนิคปั๊มฟอง

เทคนิคปั๊มฟองเป็นเทคนิคที่ใช้ความร้อนในการขับเคลื่อนของไหลภายในท่อให้ไหลสูงขึ้น ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลจะไม่มีการไหลเข้ามาเกี่ยวข้อง ภาพที่ 2-7 แสดงลักษณะการทำงานของระบบเทคนิคปั๊มฟองเมื่อของไหลทำงานภายในท่อได้รับความร้อนจะค่อย ๆ เดือดและเกิดฟอง ฟองและของเหลวมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะถูกดันขึ้นไป โดยสมรรถนะของปั๊มฟอง (Bubble Pump Performance) จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความยาวท่อ เส้นผ่าศูนย์กลาง ความร้อนที่ได้รับและคุณสมบัติของของไหลที่อยู่ในท่อ เป็นต้น ข้อดีของการกลั่นด้วยเทคนิคปั๊มฟอง เวลาในการอุ่นสารจะสั้นลงมาก เนื่องจากการให้ความร้อนจากท่อเล็ก ๆ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 1 นิ้ว เนื่องจากท่อยิ่งเล็กยิ่งเกิดฟองที่มีส่วนผสมของน้ำและสารละลายขึ้นมา ซึ่งมีมวลของสารละลายน้อยกว่ามาก ทำให้การควบคุมความร้อนสูญเสียได้ง่าย ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงและพลังงานที่ใช้ความร้อนในแบบต่าง ๆ [3]



ภาพที่ 2-7 หลักการทำงานของปั๊มฟอง [3]

2.10 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ในทางวิศวกรรมมีความสำคัญมาก ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จะต้องใช้ประกอบการตัดสินใจว่ามีความคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ สำหรับการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการศึกษาคั้งนี้จะเป็นการประเมินค่าต้นทุนต่อหน่วยเอาทานอลที่ผลิตได้โดยใช้วิธีการประเมินค่ารายปี (Annual Cost) ตลอดอายุโครงการ ซึ่งค่าใช้จ่ายรายปีที่พิจารณาจะประกอบไปด้วย [12]

- 1) เงินลงทุนรายปี(Investment Cost, C_I)
- 2) ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา(Operating and Maintenance Cost, $C_{O\&M}$)
- 3) และค่าพลังงาน(Energy Cost, C_E)

ดังนั้นผลรวมของค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นจะหาได้จาก

$$\text{ผลรวมค่าใช้จ่ายรายปี} = C_I + C_{O\&M} + C_E \quad (2-35)$$

สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะต้องคำนึงถึงมูลค่าเงินในแต่ละช่วงเวลาด้วย เนื่องจากจะมีค่าไม่เท่ากันตลอดเวลาซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนลด (Interest Rate, i) หรืออัตราดอกเบี้ย (Discount Rate)

ดังนั้นในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะต้องทำการปรับมูลค่าของเงินต่างเวลาให้เป็นมูลค่าที่เวลาเดียวกันก่อน สำหรับในการศึกษานี้จะทำการปรับมูลค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาให้เป็นมูลค่าของเงินในปัจจุบัน ดังนั้นมูลค่าของเงินลงทุนรายปีจะหาได้จาก [12]

$$C_I = P \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] \quad (2-36)$$

เมื่อ P คือ เงินลงทุนเบื้องต้น (Capital Cost): บาท
 N คือ อายุของโครงการ: ปี
 i คือ อัตราดอกเบี้ย (Discount Rate): ร้อยละ

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษา ระบบการกลั่นด้วยเทคนิคแบบปั๊มฟองสำหรับในการการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการกลั่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านมา ได้มีนักวิจัยหลายท่านที่ทำการการศึกษาโดยการใช้วิธีการและเทคนิคการกลั่นที่แตกต่างกันออกไปตัวอย่างเช่น

วีระชัย (2523) [2] ได้ทำการทดลองกลั่นสารละลายเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบกระจกสองชั้นที่เอียงทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ โดยแผ่นรับรังสีใช้แผ่นอะลูมิเนียมทาสีดำมีพื้นที่รับรังสี 1.44 m² ชูรับรังสีต่อเข้ากับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและต่อกับระบบการพาความร้อนแบบบังคับ ได้ทำการกลั่นสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นตั้งต้น 10 %v/v สามารถกลั่นได้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 48 %v/v ในอัตราการกลั่นเท่ากับ 0.5 ลิตร/ตาราง เมตร-วัน

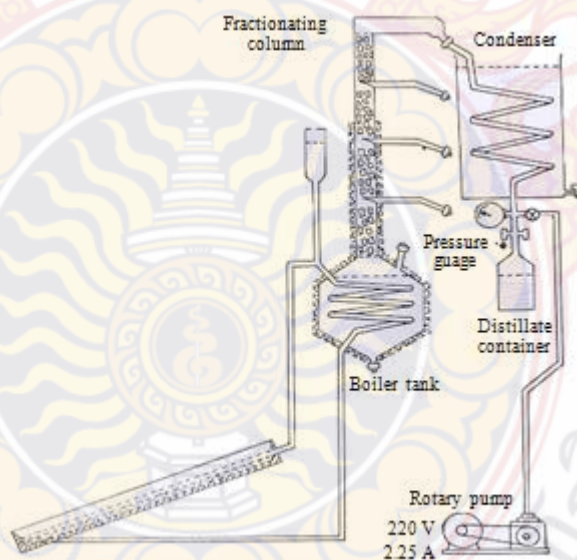
จำปา สอนเผือก (2547) [3] ได้ศึกษาการกลั่นเอทานอลโดยใช้เทคนิคบับเบิลปั๊มซึ่งพลังงานที่ใช้ในการกลั่นมีสองกรณีคือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับรังสีขนาด 2 m² โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเข้มข้นและอัตราการกลั่นเอทานอล ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความสูงของท่อบับเบิลปั๊ม และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ผลจากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นและอัตราการกลั่นเอทานอลมากที่สุดคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ รองลงมาคือความสูงท่อ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ตามลำดับ เมื่อทำการกลั่นสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นตั้งต้น 10 % โดยใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm สูง 0.5 m และกำลังไฟฟ้า 1.0 kW ให้ผลการกลั่นดีที่สุดโดยผู้วิจัยได้รายงานว่ สารละลายเอทานอลที่กลั่นได้มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 41% ในอัตราการกลั่นเท่ากับ 2.889 ลิตร/ตารางเมตร-วัน มีต้นทุนการกลั่นเท่ากับ 5.23 บาท/ลิตร

นายชัยยงค์ ปิงธนาพิทักษ์และคณะ (2550) [4] ได้ศึกษาเชิงทดลองและแบบจำลองของการกลั่นเอทานอลแบบแบ่งครั้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โครงการนี้ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองและแบบจำลองของการกลั่นเอทานอลแบบแบ่งครั้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผงรับรังสีอาทิตย์ที่มีขนาด 4.4 ตารางเมตร เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่สารละลาย ใช้เอทานอลความเข้มข้น 10 % โดยปริมาตร และทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการกลั่นเอทานอล การจำลองสถานการณ์แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการจำลองค่ารังสีอาทิตย์ โดยผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มไปทางเดียวกันกับข้อมูลที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ส่วนที่สองเป็นการทดลองและจำลองการกลั่น จากการทดลองพบว่าที่ปริมาณเอทานอลจำนวน 30 ลิตรจะได้ปริมาณการกลั่น 7.8 ลิตร ความเข้มข้น 38 % และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองพบว่า แบบจำลองให้ค่าความผิดพลาดจากการทดลองไม่เกิน 4.98 % และแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณการกลั่นตลอดปี ที่ ปริมาณสารตั้งต้น 30 ลิตร ได้ปริมาณการกลั่น 1,304.75 ลิตร ความเข้มข้น 49.55 %

ต่อมา นายตรีพัฒน์ แซ่พู่ และคณะ (2552) [5] ได้ศึกษาและทดลองการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง ซึ่งจากการทดลองได้สร้างเครื่องกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง ขนาดของแผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.2 ตารางเมตร ถึงบรรจุสารละลายเอทานอลปริมาตร 40 ลิตร อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาดของเปลือก 2.54 เซนติเมตร ยาว 1 เมตร ได้ทดสอบการกลั่นที่ระดับสารละลาย 50% , 60% , 70% , 80% , 90% และ 100% ของระดับความสูงของตัวเก็บรังสี พบว่า ที่ระดับสารละลาย 100% ของแผงจะได้ความ

เข้มข้นมากที่สุดซึ่งมีค่าความเข้มข้นอยู่ที่ 58 %v/v อัตราการกลั่นเท่ากับ 1.172 ลิตร/วัน หรือ 391.28 ลิตร/ปี ซึ่งเมื่อระดับสารละลายภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงขึ้นปริมาตรสารละลายที่กลั่นได้จะมีค่าน้อยลงตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่ในการที่จะทำการเดือดแบบ Film Boiling ลดลงแต่ความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าสูงขึ้นและได้ศึกษาถึงต้นทุนการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง พบว่า การกลั่นที่ระดับสารละลาย 80 % ของแผง ได้ปริมาตรการกลั่นเท่ากับ 423.77 ลิตร/ปีและความเข้มข้นที่กลั่นได้ เฉลี่ยที่ 55 %v/v เหมาะสมต่อการลงทุนมากที่สุดจะมีต้นทุนการกลั่นอยู่ที่ 12.84 บาท/ลิตร

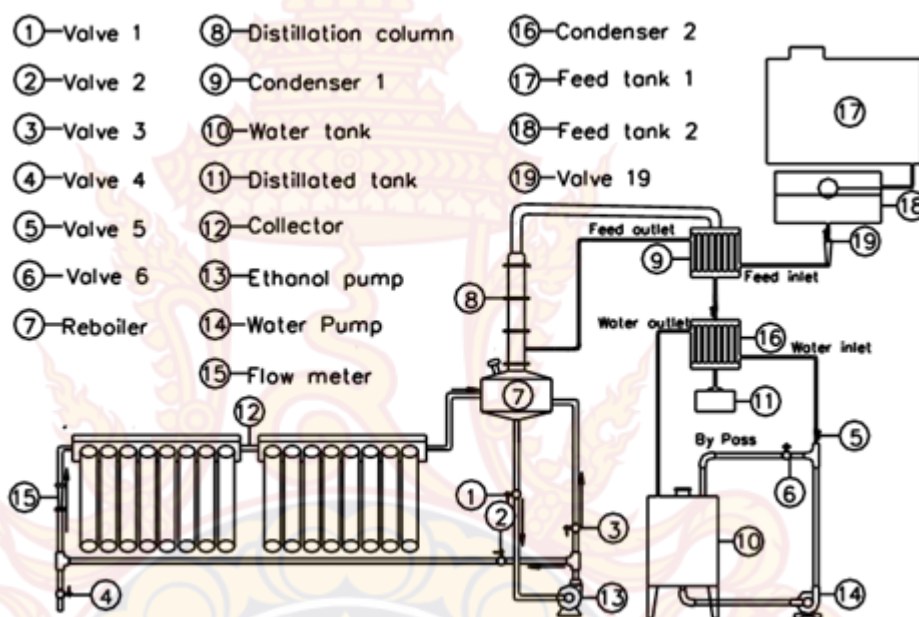
นิกร มังกรทอง และคณะ (2528) [7] ได้ทำการทดลองการผลิตก๊าซโซฮอลล์จากเอทานอลที่ได้จากการกลั่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ในกระบวนการกลั่นจะเป็นการกลั่นแบบลำดับส่วนที่ทำงานภายใต้ความดันต่ำ โดยใช้ความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบตั้งภาพที่ 2-8 จากผลการทดลองกลั่นจากสาเหล้มที่มีเอทานอลอยู่ 8-10 % โดยการกลั่นเพียงครั้งเดียวทำให้เอทานอลที่กลั่นได้มีความเข้มข้นสูงถึง 60-70 % เมื่อทำการกลั่นซ้ำอีก 2-3 ครั้ง จะได้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 85-95 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องกลั่น ในการทดลองผสมสารละลายเอทานอลที่กลั่นได้กับน้ำมันเบนซินจะได้สารละลายเนื้อเดียวของก๊าซโซฮอลล์ต้องใช้เอทานอลที่ใช้มีความเข้มข้นมากกว่า 94 % ขึ้นไป เมื่อผสมที่อัตราส่วนต่างๆ ไปทดสอบกับเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ พบว่า เชื้อเพลิงที่มีเอทานอลผสมอยู่ในอัตราส่วนที่ไม่เกิน 40 % สามารถนำมาใช้งานได้



ภาพที่ 2-8 ระบบกลั่นเอทานอลที่มี fractionating column [7]

พรประสิทธิ์ คงบุญ (2546) [11] ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายผลการกลั่นเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อความร้อนขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 3.6 m² เทียบกับผลการทดลอง โดยทำการศึกษากลั่นทั้งสองระบบ คือ ระบบกลั่นแบบเติมสารครึ่ง

เดี่ยวและเติมสารอย่างต่อเนื่องโดยมีหลักการทำงานดังภาพที่ 2-9 จากการวิจัยพบว่า ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างจากการทดลองไม่เกิน 15 % และจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายผลการกลั่นเอทานอลที่มีความเข้มข้นตั้งต้น 10 % ภายใต้สภาวะอากาศของจังหวัดเชียงใหม่พบว่า ระบบการกลั่นแบบเติมสารครั้งเดียวสามารถกลั่นเอทานอลได้สูงสุดเท่ากับ 1.18 ลิตร/ตารางเมตรวัน มีความเข้มข้น 42.37 % ต้นทุนการกลั่นอยู่ที่ 6.63 บาท/ลิตร และระบบกลั่นแบบเติมสารอย่างต่อเนื่องสามารถกลั่นเอทานอลได้สูงสุดเท่ากับ 1.4 ลิตร/ตารางเมตรวัน ความเข้มข้น 39.53 % และ ต้นทุนการกลั่นอยู่ที่ 5.69 บาท/ลิตร

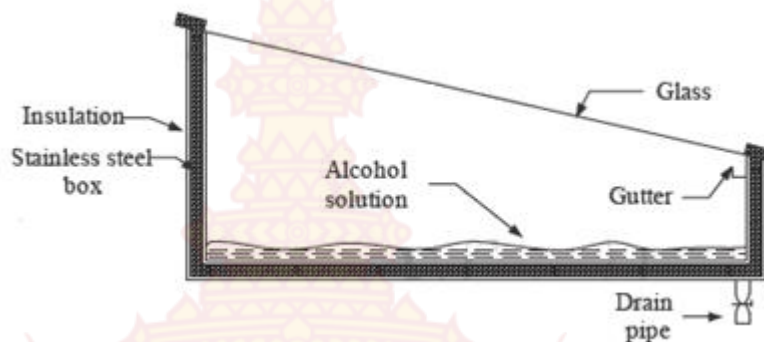


ภาพที่ 2-9 การกลั่นเอทานอลแบบเติมสารอย่างต่อเนื่อง [11]

มานะ คงดีจันทร์ (2534) [12] ได้ทำการศึกษาการกลั่นเอทานอลพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดพื้นที่รับรังสีเท่ากับ 0.9108 m^2 จากการกลั่นเอทานอลที่ได้จากกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 7-8 %v/v สามารถทำการกลั่น เอทานอลได้เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 3.24 ลิตร/ตารางเมตร-วัน โดยมี ต้นทุนการผลิตเท่ากับ 2.48 บาท/ลิตร และในส่วนของารกลั่นเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลังกลั่นได้เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1.67 ลิตร/ตารางเมตร-วัน ที่ต้นทุนการผลิตเท่ากับ 3.36 บาท/ลิตร โดยที่ทั้งสองแบบมีความเข้มข้นเฉลี่ยประมาณ 14.3 %

วิชาญ ก่องดาวงษ์ (2526) [13] ทำการศึกษาโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีขนาดพื้นที่รับรังสี 1.4 m^2 โดยใช้น้ำเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อนในการทดลองใช้ส่าหมักเป็นสารละลายตั้งต้นที่มีความเข้มข้น 10 %v/v ด้วยหอกลั่นแยกส่วนภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศสามารถกลั่นเอทานอลให้มีความเข้มข้นประมาณ 45-70 % ด้วยอัตราการกลั่นสูงสุดเท่ากับ 1.78 ลิตร/ตารางเมตร-วัน ซึ่งในลักษณะเดียวกันกับ

Arambage (2531) [15] ซึ่งได้ทำการทดสอบการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์จากสารละลายประมาณ 8 %v/v สามารถกลั่นได้สารละลายที่มีความเข้มข้นเพียง 14 %v/v ในอัตราการกลั่นเท่ากับ 3.5 ลิตร/ตารางเมตร ต่อวัน และต้นทุนการกลั่นที่ 1.3 บาท/ลิตร ดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 เครื่องกลั่นเอทานอลแบบอ่าง [15]

ผลการวิจัยที่ได้พอสรุปได้ว่า เป็นการวิจัยการกลั่นที่อาศัยตัวเก็บรังสีอาทิตย์นั้นมากลั่นเอทานอลที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูงเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังคงมีไม่มีผู้ใดนำเทคนิคการกลั่นแบบปัมฟองมากลั่นน้ำมันหอมระเหย ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะใช้ระบบกลั่นที่อาศัยตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพียงอย่างเดียว โดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบปัมฟองกลั่นน้ำมันตะไคร้หอมโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งเป็นการพัฒนาระบบการกลั่นน้ำมันหอมระเหยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้มีสมรรถนะสูงขึ้น เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับพืชผลทางการเกษตรอีกแนวทางหนึ่ง และสามารถลดภาวะโลกร้อน เนื่องจากการใช้พลังงานอื่นๆได้อีกด้วย

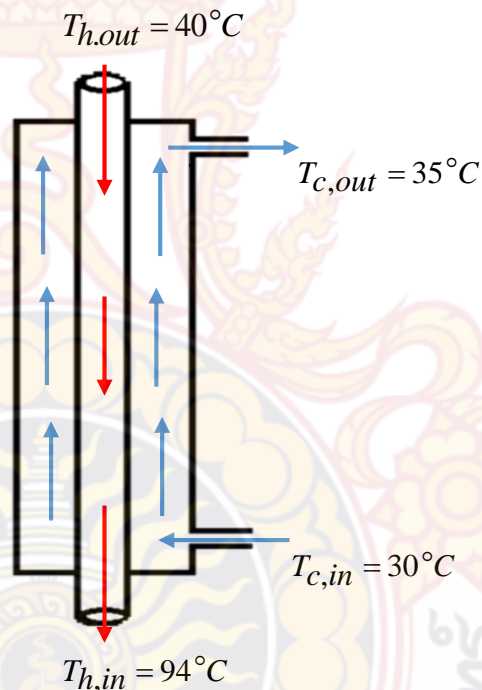
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบระบบกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง

3.1.1 การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบสวนทางกัน (Condenser)

การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่นี้ หมายถึง การหาความสูงของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมในการควบแน่นของไอสารระเหยเอทานอลเพื่อให้ได้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูง โดยการคำนวณได้จากสมการ (Robert W. Fox. 2010) เมื่อกำหนดให้



เมื่อ $T_{h,in}$ = อุณหภูมิน้ำมันหอมระเหยเข้าคอนเดนเซอร์ (K)

$T_{h,out}$ = อุณหภูมิน้ำมันหอมระเหยออกคอนเดนเซอร์ (K)

$T_{c,in}$ = อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (K)

$T_{c,out}$ = อุณหภูมิน้ำออกคอนเดนเซอร์ (K)

จากนั้นนำมาหาเอนทาลปีที่เกิดขึ้น

$$\Delta q = \Delta h = C_p \Delta T$$

$$\Delta h_e = C_p (T_{h,out} - T_{h,in}) \quad (3-1)$$

$$\Delta h_e = (2.428 \text{ kJ / kgK}) [(94 + 273 \text{ K}) - (40 + 273 \text{ K})]$$

$$= 131.112 \text{ kJ / kg}$$

สามารถหาอัตราการไหลของน้ำมันหอมระเหยที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้จาก

$$(\dot{m}_e) = \rho \dot{V}_{eth} \quad (3-2)$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \rho &= \frac{\rho_{eth} + \rho_{water}}{2} \\ &= \frac{(789 \text{ kg/m}^3 + 997 \text{ kg/m}^3)}{2} = 893 \text{ kg / m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{กำหนดค่า } \dot{V}_e = 5.11 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้นจะได้ } (\dot{m}_e) &= \rho \dot{V} \\ &= (893 \text{ kg / m}^3) \times (5.11 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}) \\ &= 0.0046 \text{ kg / s} \end{aligned}$$

เนื่องจากในการออกแบบเป็นการออกแบบที่คิดในสถานะไม่สูญเสียพลังงาน หรือเป็นแบบในอุดมคติ (Ideal Type)

$$\begin{aligned} \Sigma E &= 0 \\ E_{in} &= E_{out} \\ \dot{m}_w h_{w,in} + \dot{m}_e h_{e,in} &= \dot{m}_w h_{w,out} + \dot{m}_e h_{e,out} \\ \dot{m}_w &= \frac{\dot{m}_e (h_{e,out} - h_{e,in})}{(h_{w,in} - h_{w,out})} \quad (3-3) \\ \dot{m}_w &= \frac{(0.0046 \text{ kg / s})(131.112 \text{ kJ / kg})}{(125.74 - 146.64) \text{ kJ / kg}} \end{aligned}$$

$$= 0.03 \text{ kg / s}$$

หาอัตราการไหลของน้ำที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ เมื่อให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ (η) 70 %

$$\begin{aligned} \text{ทำให้} \quad \dot{m}_w &= \frac{0.03 \text{ kg / s}}{0.7} \\ &= 0.043 \text{ kg / s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad \dot{m}_w &= \rho A \dot{V}_w \\ \therefore \dot{V}_w &= \frac{\dot{m}_w}{\rho A} \\ &= \frac{0.043 \text{ kg / s}}{\left(997 \text{ kg / m}^3\right) \left(\frac{\pi (0.025)^2}{4}\right) \text{ m}^2} \\ &= 0.0878 \text{ m / s} \end{aligned}$$

$$\text{การไหลของน้ำในท่อ } Re = \frac{V_w d}{\nu} \quad (3-4)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(0.0878 \text{ m / s})(0.025 \text{ m})}{1.1 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}} \\ &= 19,954.54 \text{ (การไหลแบบปั่นป่วน)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } C_{max} = C_c &= \dot{m}_w c_{p,w} \quad (3-5) \\ &= (0.043 \text{ kg / s}) \times (4.187 \text{ kJ / kg} \cdot \text{K}) \\ &= 180.041 \text{ W / K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{min} = C_h &= \dot{m}_e c_{p,eth} \quad (3-6) \\ &= (0.0046 \text{ kg / s}) \times (2.84 \text{ kJ / kg} \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

$$= 13.064W / K$$

ความร้อนที่ระบายออกได้สูงสุด

$$\begin{aligned} q_{max} &= C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in}) \\ &= (13.064W / K) [(94 + 273)K - (30 + 273)K] \\ &= 836.096W \end{aligned} \quad (3-7)$$

ความร้อนที่ต้องการระบายออกจากสารละลาย

$$\begin{aligned} q &= \dot{m}_e(h_f @ 94^{\circ}C - h_f @ 40^{\circ}C) \\ &= (0.0046kg / s) \times (314.03 - 167.53) kJ / kg \\ &= 0.6739kJ / s \\ &= 673.9W \end{aligned} \quad (3-8)$$

จะได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{q}{q_{max}} \\ &= \frac{673.9W}{836.096W} \\ &= 0.806 \end{aligned} \quad (3-9)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } C &= \frac{C_{min}}{C_{max}} \\ &= \frac{13.064W / K}{180.041W / K} \\ &= 0.073 \end{aligned} \quad (3-10)$$

การไหลน้ำมันหอมระเหยในท่อ $Re = \frac{V_e \rho d}{\mu}$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{\dot{m}_e}{\rho A} \\ &= \frac{0.0046kg / s}{(789kg / m^3) \left(\frac{\pi (0.0254)^2}{4} m^2 \right)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \dot{V}_e &= 0.012 \text{ m/s} \\ Re &= \frac{V_e d}{\nu} \\ &= \frac{(0.012 \text{ m/s})(0.025 \text{ m})}{1.1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 2,727.27 \text{ (การไหลแบบราบเรียบ)} \end{aligned}$$

เมื่อกำหนดให้ $Pr_e^{1/3} = 5.12$ และ $Pr_w^{0.4} = 3.91$ จาก (Yunus A.Cengel. 2015)

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } Nu_e &= 0.664 Re^{0.5} Pr_e^{1/3} & (3-11) \\ &= 0.664 (2,727.27)^{0.5} (5.12)^{1/3} \\ &= 59.766 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu_w &= 0.023 Re^{0.8} Pr_w^{0.4} & (3-12) \\ &= 0.023 (19,954.54)^{0.8} (3.91)^{0.4} \\ &= 109.303 \end{aligned}$$

เมื่อผนังท่อกำหนดเป็นผนังบาง

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \quad (3-13)$$

เมื่อ h_i = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อของน้ำมันหอมระเหย ($W/m^2 \cdot K$)

h_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อของน้ำ ($W/m^2 \cdot K$)

$$\begin{aligned} h_i &= \frac{Nu_e k_e}{D_i} & (3-14) \\ &= \frac{59.744 (0.151 \text{ W/m} \cdot \text{K})}{0.025 \text{ m}} \\ &= 360.854 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

$$h_o = \frac{Nu_w k_w}{D_o - D_i} \quad (3-15)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{109.303(0.619W / m \cdot K)}{(0.05m - 0.025m)} \\
 &= 2,706.342W / m^2 \cdot K \\
 \therefore U &= \frac{1}{\frac{1}{(360.854W / m^2 \cdot K)} + \frac{1}{(2,706.342W / m^2 \cdot K)}} \\
 &= 318.40W / m^2 \cdot K
 \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ } NTU = \frac{1}{c-1} \ln \left[\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon c-1} \right] \quad (3-16)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{0.073-1} \ln \left[\frac{0.806-1}{(0.806 \times 0.073)-1} \right] \\
 &= \frac{UA}{C_{min}} = 1.704
 \end{aligned}$$

$$\text{จาก } NTU = \frac{UA}{C_{min}} = 1.704$$

$$A = \frac{(1.704)(13.064W / K)}{318.40W / m^2 \cdot K}$$

$$= 0.071m^2$$

$$\text{ให้ } 2\pi rL = A$$

$$\therefore L = \frac{0.071m^2}{\pi(2 \times 0.0125m)}$$

$$= 0.904m \approx 1m$$

ดังนั้นจะได้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหรือคอนเดนเซอร์ ทำจากท่อทองแดงยาว 1 เมตร หุ้มด้วยเปลือกที่ทำขึ้นจากสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร ยาว 70 เซนติเมตรแล้ว ด้านข้างของ คอนเดนเซอร์เจาะรู 2 จุดขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว โดยห่างจากผิวเปลือกด้านบนและด้านล่าง 2 เซนติเมตร เพื่อให้เกิดการไหลเวียนน้ำในระบบหล่อเย็น ให้น้ำมันหอมระเหยเกิดการควบแน่นเร็วขึ้น โดยที่น้ำจะ ไหลเข้าด้านล่างและไหลออกด้านบนทำให้เกิดการควบแน่นเป็นสารละลายที่เข้มข้นมากขึ้น ซึ่งเป็น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบสวนทางกัน และหุ้มด้านนอกทั้งหมดด้วยฉนวนกันความร้อนอย่าง ดีตลอดทางเดินดังภาพที่ 3-1



ฉนวนกันความร้อน

ภาพที่ 3-1 หุ้มฉนวนกันความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Condenser)

- การคำนวณหาความหนาของฉนวนกันความร้อน

อุณหภูมิบรรยากาศเท่ากับ $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิภายในแผงรับรังสีเท่ากับ $92\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำจากวัสดุเป็น แสตนเลสที่มีความหนา 1 mm มีค่า $k = 15\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนที่มีค่า $k = 0.035\text{ W/m}\cdot\text{K}$ สามารถคำนวณหาค่าการนำความร้อนที่เกิดขึ้นบนแผ่นแสตนเลสได้จากสมการของ (Yunus A.Cengel. 2015)

$$\text{จะได้ } \dot{Q}_{cond} = -kA \left(\frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \right) \quad (3-17)$$

เมื่อ k = ค่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อน ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$)

A = พื้นที่การนำความร้อนทั้งหมด (m^2)

T_1 = อุณหภูมิบรรยากาศ (K)

T_2 = อุณหภูมิภายในแผงรับรังสี (K)

$$\dot{Q}_{cond} = (-0.035\text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K})(1\text{ m}^2) \left[\frac{(365\text{ K} - 308\text{ K})}{1 \times 10^{-3}\text{ m}} \right]$$

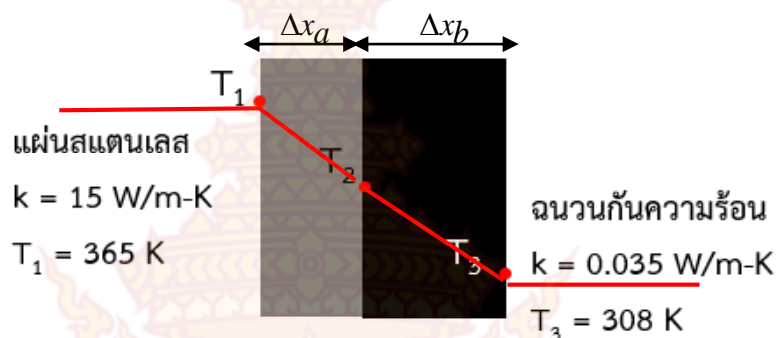
$$\therefore \dot{Q}_{cond} = 1,995\text{ W} / \text{m}^2$$

เมื่อให้ค่าการนำความร้อน $\dot{Q}_{cond} = 1,995\text{ W} / \text{m}^2$ เท่ากันหมดทุกพื้นที่รับความร้อนบนแผ่นแสตนเลสจะสามารถหาความหนาของฉนวนกันความร้อนได้จากสมการของ (Yunus A.Cengel. 2015)

$$\dot{Q}_{cond} = -k_a \frac{A(T_2 - T_1)}{\Delta x_a} = -k_b \frac{A(T_3 - T_2)}{\Delta x_b} \quad (3-18)$$

เมื่อ Δx_a = ความหนาของแผ่นสแตนเลส (m)

Δx_b = ความหนาของฉนวนกันความร้อน (m)



$$\dot{Q}_{cond} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{\Delta x_a}{k_a A} + \frac{\Delta x_b}{k_b A}}$$

$$\frac{\dot{Q}_{cond}}{A} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{\Delta x_a}{k_a} + \frac{\Delta x_b}{k_b}} \quad (3-19)$$

$$1995 \text{ W/m}^2 = \frac{(365 - 308 \text{ K})}{\left(\frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}}{15 \text{ W/m} \cdot \text{K}} \right) + \left(\frac{\Delta x_b}{0.035 \text{ W/m} \cdot \text{K}} \right)}$$

$$\therefore \Delta x_b = 9.97 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.997 \text{ mm}$$

จากการคำนวณหาความหนาของฉนวนที่ใช้หุ้มแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และถังบรรจุสารละลาย เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ต้องใช้ความหนาของฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาน้อยกว่า 0.997 mm เป็นอย่างต่ำ แต่ทางกลุ่มผู้วิจัยได้เลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 5 mm เนื่องจากเป็นความหนาที่หาซื้อได้ในท้องตลาดใกล้บริเวณที่ทำการทดลอง

3.1.2 ถังบรรจุสารละลายน้ำมันหอมระเหย

ถังบรรจุสารละลายน้ำมันหอมระเหยเป็นถังรูปทรงกระบอกที่ทำจากสแตนเลส เกรด 304 หนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 40 ลิตรหุ้มฉนวนอย่างดี ดังภาพที่ 3-3 สำหรับบรรจุสารละลายน้ำมันหอมระเหย ในการออกแบบถังบรรจุสารละลายเอทานอลคำนวณได้จากสมการ

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 h \quad (3-20)$$

เมื่อให้ h เป็นความสูงของถัง เท่ากับ 40 เซนติเมตร

V เป็นปริมาตรของถัง เท่ากับ 40 ลิตร

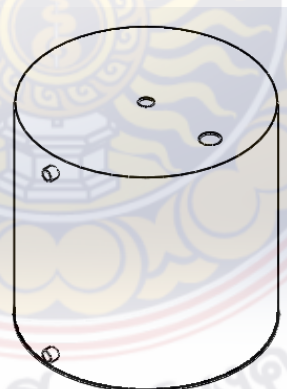
ต้องการหาเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (d)

$$d^2 = \frac{4(40,000\text{ml})}{\pi(40\text{cm})}$$

$$d = \sqrt{1273.24} \text{ cm}$$

$$d = 35.68 \approx 36 \text{ cm}$$

จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของถังบรรจุสารละลายน้ำมันหอมระเหยเท่ากับ 36 เซนติเมตร โดยด้านข้างของถังบรรจุสารละลายน้ำมันหอมระเหยทำที่บอกระดับสารละลาย โดยเจาะรูขนาด 1.905 เซนติเมตร 2 จุดโดยห่างจากผิวด้านบนและผิวด้านล่างของถัง 1 เซนติเมตร ด้านบนของถังทำรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร เพื่อเป็นทางที่สารละลายจะควบแน่นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ไหลกลับเข้าสู่ถังและทำรูเท ไว้สำหรับเติมสารละลายน้ำมันหอมระเหยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 เซนติเมตร และด้านล่างทำรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร 1 จุด ดังภาพที่ 3-2 เพื่อเป็นทางที่สารละลายไหลเข้าสู่ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์



ภาพที่ 3-2 ถังบรรจุสารละลายน้ำมันหอมระเหย

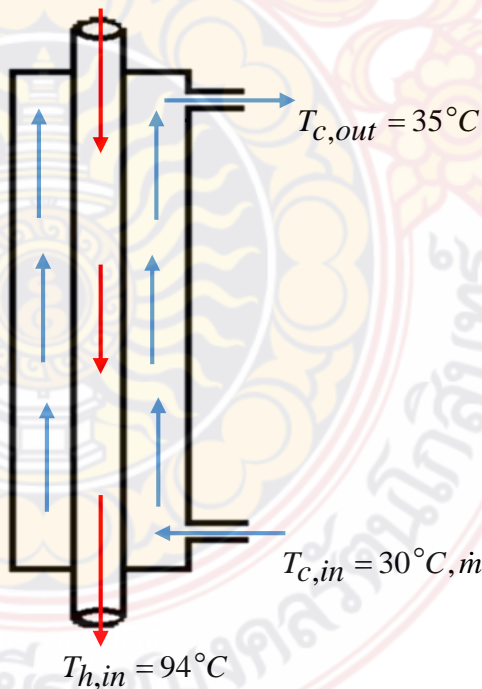


ภาพที่ 3-3 หุ้มฉนวนกันความร้อนที่ถังบรรจุสารละลายน้ำมันหอมระเหย

3.1.3 การออกแบบปั้มน้ำหล่อเย็น

การออกแบบปั้มน้ำหล่อเย็นในที่นี้ หมายถึง การหาค่ากำลังของปั้มน้ำหล่อเย็นที่นำมาใช้หล่อเย็นในระบบหล่อเย็นบนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบสวนทางกันที่ได้ออกแบบไว้ก่อนหน้านี้ที่มีความสูง 1 เมตร เมื่อกำหนดให้ ซึ่งหาได้จากสมการ (Robert W. Fox. 2010)

$$T_{h,out} = 40^{\circ}\text{C}, \dot{m}_{eth} = 0.0046\text{kg/s}$$



$$T_{c,in} = 30^{\circ}\text{C}, \dot{m}_w = 0.043\text{kg/s}$$

$$T_{h,in} = 94^{\circ}\text{C}$$

$$T_{c,out} = 35^{\circ}\text{C}$$

เมื่อ \dot{m}_e = อัตราการไหลของน้ำมันหอมระเหย (kg/s)
 \dot{m}_w = อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_2^2}{2} + gZ_2 \right) = h_{lT} = \Sigma h_l + \Sigma h_{lm} \quad (3-21)$$

สามารถหาการสูญเสียภายในท่อที่เกิดขึ้นได้จาก การหาการสูญเสียพลังงานหลัก และการสูญเสียพลังงานรอง

- การสูญเสียหลัก (Major loss) ที่ความยาวของท่อ 2.5 เมตร

ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใช้ของสายใยถักมี $\varepsilon = 0.7 \times 10^{-6}$ ท่อขนาดภายในขนาด 2.54 เซนติเมตร จะได้ $\frac{\varepsilon}{D} = 2.8 \times 10^{-4}$

นำไป plot ใน moody chart ในบทที่ 2 จะได้ค่า $f = 0.031$ (friction factor)

$$h_l = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3-22)$$

$$h_l = (0.031) \left(\frac{2.5m}{0.025m} \right) \left(\frac{(0.0878m/s)^2}{2(9.81m/s^2)} \right)$$

$$\therefore h_l = 0.012 m$$

- การสูญเสียรอง (Minor Loss) ที่เกิดจาก Ball Valve Wide Open 2 ตัว และท่อลดขนาด

- Ball Valve Wide Open , $K = 0.2$ (Robert W. Fox. 2010)



ภาพที่ 3-4 Ball Valve

$$h_{lm} = K \frac{V^2}{2g} \quad (3-23)$$

เมื่อ h_{m1} = ความสูญเสียรองที่เกิดขึ้นในท่อใน

$$= (0.2) \left[\frac{(0.0878 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \right] \times 2$$

$$\therefore h_{m1} = 0.000157 \text{ m}$$

- ท่อลดขนาด (Expansion-Conical)

จากตารางสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานรอง (Minor loss coefficient : K)



ภาพที่ 3-5 ท่อลดขนาด

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{20 \text{ cm}}{25.4 \text{ cm}} = 0.78 \approx 0.8 ; K = 0.03$$

$$h_{m2} = K \frac{V^2}{2g}$$

$$= (0.03) \left[\frac{(0.0878 \text{ m/s})^2}{2(9.81)} \right]$$

$$\therefore h_{m2} = 0.0118 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Total head loss} = \text{Major loss} + \text{Minor loss}$$

(3-24)

$$\begin{aligned}
 &= h_l + h_{l_{m1}} + h_{l_{m2}} \\
 &= 0.012m + 0.000157m + (0.0118 \times 10^{-3}m) \\
 &= 0.01217m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{Total head lost} &= (0.01217)(2.5)m \\
 &= 0.030425m
 \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}
 h_{l_T} &= \left(\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + z_2 \right) \\
 h_{l_T} &= \frac{V^2}{2g} + (\Sigma h_l + \Sigma h_{l_m}) \\
 h_{l_T} &= \left[\frac{(0.0878m/s)^2}{2(9.81m/s^2)} \right] + 0.030425m
 \end{aligned}$$

$$\therefore h_{l_T} = 0.03082m$$

อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นได้

$$\begin{aligned}
 Q &= AV & (3-25) \\
 &= \left[\frac{\pi(0.025m)^2}{4} \right] (0.0878m/s) \\
 &= 4.301 \times 10^{-5} m^3/s
 \end{aligned}$$

เมื่อกำหนดให้ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มเต็มที่ 80%

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4.301 \times 10^{-5} m^3/s}{0.8} \\
 \therefore Q &= 5.38 \times 10^{-5} m^3/s
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น} \quad P_w &= \gamma \times Q \times h_{IT} & (3-26) \\
 &= (9.81 \text{ kN/m}^3)(5.38 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s})(0.03082 \text{ m}) \\
 &= 1.6266 \times 10^{-5} \text{ kW} \\
 \therefore P_w &= \frac{1.6266 \times 10^{-5} \text{ kW}}{0.8} \\
 &= 2.03325 \times 10^{-5} \text{ kW} \\
 &= 0.0203325 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณการออกแบบปั๊มน้ำหล่อเย็นพบว่ากำลังของปั๊มที่ต้องการอย่างน้อยคือ 0.0203325 Watt เพื่อให้มีกำลังเพียงพอในการส่งน้ำหล่อเย็นขึ้นไปหล่อเย็นตลอดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แต่ในการทดลองจริงนั้นทางกลุ่มผู้วิจัยได้เลือกใช้ปั๊มน้ำที่มีกำลัง 370 Watt แทน เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่ายใกล้พื้นที่ทดลองและมีกำลังเพียงพอต่อความต้องการใช้ควบคู่ไปกับวาล์วปรับความดันเมื่อมีอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นเกินความต้องการ

3.1.4 ถังพักน้ำหล่อเย็น

ใช้ขนาด 200 ลิตรเจาะรู 1 รูขนาด 2.54 เซนติเมตร เพื่อต่อท่อดูดน้ำจากปั๊มมาเข้าที่ถัง ดังภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 ถังพักน้ำหล่อเย็น

3.1.5 ขาตั้งปรับระดับ

ขาตั้งปรับระดับ ทำจากเหล็กฉากสำเร็จรูปประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้นอต ซึ่งสามารถปรับระดับความสูงได้ สาเหตุที่เลือกเหล็กฉากสำเร็จรูป เนื่องจากมีระยะของรูที่เท่ากันสะดวกต่อการปรับระดับความสูงของขาตั้ง โดยฐานที่วางถั่งมีขนาด กว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูงของขาถั่งมีขนาด 1.50 เมตร ดังภาพที่ 3-7 โดยเผื่อขนาดไว้ปรับระดับความสูงของถั่ง



ภาพที่ 3-7 ขาตั้งปรับระดับ

3.1.6 ระบบการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง

ดังแสดงในภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 ระบบการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)

คือเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมโพลได้ รับรังสีอาทิตย์โดยตรง สามารถตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่ในช่วง $0.3-3.0 \mu\text{m}$ ได้ และอ่านค่าโดยการทำให้เกิดขั้ว ศักย์ไฟฟ้าที่เทอร์โมโพล และค่าของศักย์ไฟฟ้างกล่าวสามารถนำมาคำนวณให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้ โดยทำการอ่านค่ารังสีรวมเป็น W/m^2 ซึ่งมีความละเอียดที่ $\pm 0.01 \text{ W}/\text{m}^2$ ดังภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)

3.2.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)

คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดลงในเครื่อง ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ เช่น อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์, ความดัน เป็นต้น ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้ นำออกมาแสดงผลในรูปของกราฟ หรือตารางที่ได้ ที่ใช้ในการเก็บหรือบันทึกข้อมูลยี่ห้อ Yokogawa FX 1000 ดังภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)

3.2.3 เทอร์โมมิเตอร์

Thermometer ที่ใช้วัดอุณหภูมิทั่วไป สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 100 °C ซึ่งมีค่าความละเอียดที่ ± 1 °C ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 เทอร์โมมิเตอร์

3.2.4 สายวัดอุณหภูมิ

ใช้วัดอุณหภูมิตามจุดวัดอุณหภูมิต่างๆ มีช่วงการวัดอยู่ที่ 0 – 350 °C ซึ่งมีค่าความละเอียดที่ ± 0.01 °C ดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K (Thermocouple Type K)

3.2.5 ตาชั่งดิจิตอล

ใช้ชั่งน้ำหนักของตะไคร้ สามารถชั่งได้ 0-10 กิโลกรัม ค่าละเอียดที่ 10 กรัม ดังภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 ตาชั่งดิจิตอล

3.3 กระบวนการเตรียมตะไคร้หอม



ภาพที่ 3-14 ตะไคร้หอม



ภาพที่ 3-15 กระบวนการเตรียมตะไคร้หอม

จากภาพที่ 3-15 สามารถอธิบายรายละเอียดของกระบวนการเตรียมตะไคร้หอมได้ดังนี้

1) เตรียมตะไคร้หอมที่จะนำมากลั่นโดยเลือกตะไคร้หอมที่แก่เต็มที่ นำมาล้างซี้ดินออก ตัดใบช้ำออกเหลือแต่ต้นตะไคร้อย่างเดียว

2) นำต้นตะไคร้มาสับให้ละเอียด จากนั้นนำมาคั้นเอาน้ำตะไคร้ออกมาให้ได้มากที่สุด โดยการเติมน้ำสะอาด 1 ลิตร ต่อตะไคร้ 1 กิโลกรัม ในที่นี้ต้องการการนํ้าตะไคร้ทั้งหมด 40 ลิตร ฉะนั้นจึงให้ตะไคร้ 40 กิโลกรัม และเติมนํ้าสะอาด 40 ลิตร

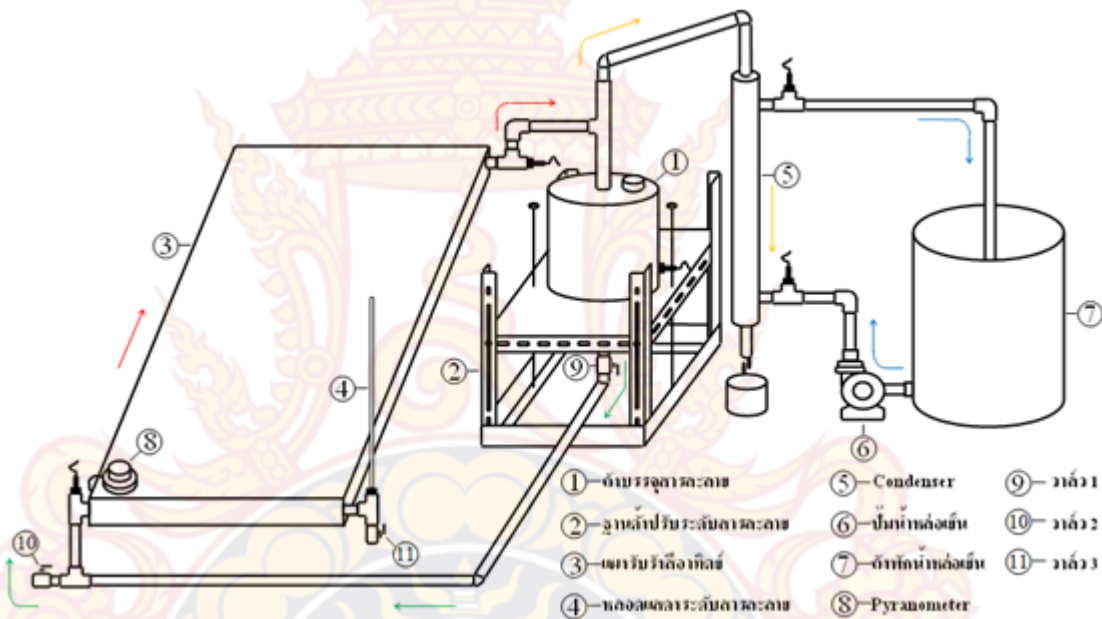
3) นำไปศึกษาสมรรถนะการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง



บทที่ 4

การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง ได้ทำการทดสอบการกลั่นน้ำมันหอมระเหยโดยรักษาระดับน้ำตะไคร้หอมไว้ที่ 80 % ของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ โดยแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ทำมุมเอียงกับแนวระดับ 14 องศา



ภาพที่ 4-1 ขั้นตอนการทดลองและตำแหน่งของในการวัดอุณหภูมิ

4.1 ขั้นตอนการทดลอง

จากภาพที่ 4-1 มีขั้นตอนการทดลองและตำแหน่งของในการวัดอุณหภูมิ ดังนี้

- 1) เตรียมน้ำตะไคร้หอม ที่ปริมาณอย่างละ 40 ลิตร โดยจะทำการกลั่น 10 ครั้ง
- 2) การทดลองจะต้องทดลองในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆบัง
- 3) เวลาทำการทดลองตั้งแต่เวลา 08:30-16:00 น.
- 4) วัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ด้วยไพราโนมิเตอร์ บนพื้นระดับ โดยทำการบันทึกค่าทุกๆ 30 นาที

ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร (W / m^2)

- 5) ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ณ จุดที่กำหนดไว้เพื่อวัดอุณหภูมิ
- 6) เปิดปั๊มน้ำหล่อเย็น (6) เพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับไอสารละลาย
- 7) ทำการเติมน้ำตะไคร้หอมลงถังบรรจุสารละลาย (1) ปริมาตร 40 ลิตร
- 8) เปิดวาล์วด้านใต้ถังบรรจุสารละลาย (ตะไคร้หอม) (9) เข้าสู่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (3)

9) ปรับระดับน้ำตะไคร้หอมที่ 80% ของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ โดยปรับระดับความสูงของฐานตั้งถังบรรจุสารละลาย (2) โดยสังเกตได้จากหลอดแสดงระดับสารละลาย (4)

10) เมื่อแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (3) มีอุณหภูมิจนถึงจุดเดือดของสารละลาย สารละลายก็จะเดือดเป็นไอลอยเข้าสู่ด้านบนของแผงรับรังสีอาทิตย์เพื่อไปควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ (5) ระหว่างนั้นถ้าไอสารละลายเกิดการควบแน่นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ สารละลายที่ควบแน่นก็จะไหลกลับเข้าสู่ถังบรรจุสารละลายเพื่อกลับเข้าสู่กระบวนการกลั่นอีกครั้งหนึ่ง

11) บันทึกค่าอุณหภูมิ 8 ตำแหน่งดังต่อไปนี้ในหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) โดยทำการบันทึกค่าทุกๆ 30 นาที

T1-T4 อุณหภูมิท่อทางเดินสารภายในแผงรับรังสี

T5 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้า

T6 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออก

T7 อุณหภูมิภายในแผงรับรังสี

T8 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

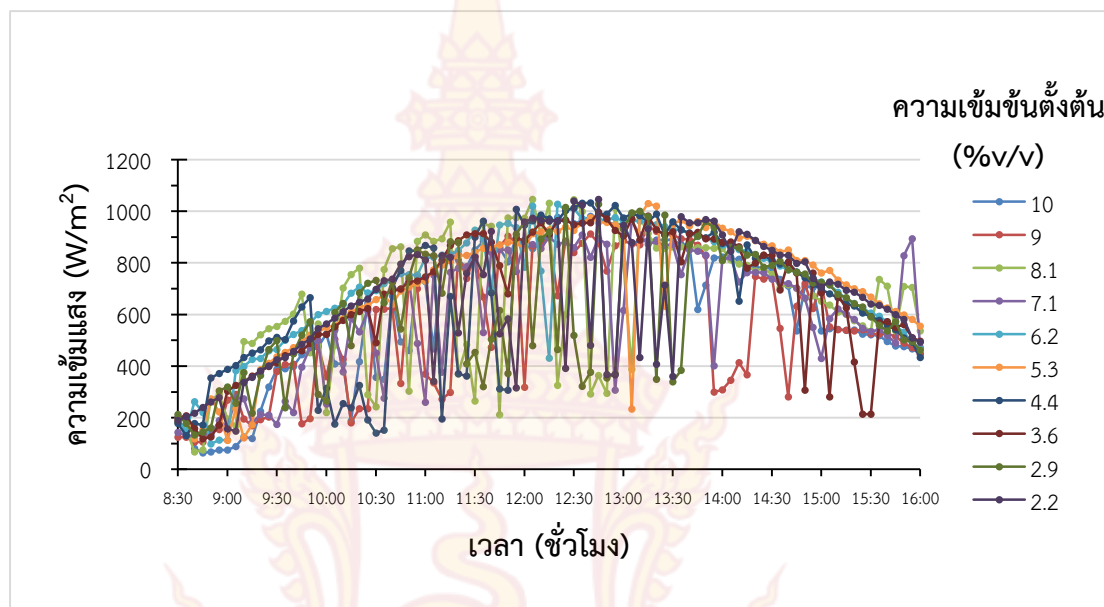
12) ทำการวัดปริมาตรของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมที่กลั่นได้ในหน่วยมิลลิลิตร (ml) หลังจากเริ่มกลั่นทุกๆ 1 ชั่วโมง

13) หลังทำการทดลองเสร็จในวันทำการวัดปริมาณรวม นำผลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงผลเพื่อเปรียบเทียบหาสมรรถนะในการกลั่นของวิธีการทดลองแต่ละวิธีได้ดังนี้

- กราฟแสดงค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแผงรับรังสีในแต่ละช่วงเวลา
- กราฟแสดงความหนาแน่น
- กราฟแสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากตะไคร้หอม
- กราฟเปรียบเทียบผลรวมของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบเดิมและแบบพลังงานแสงอาทิตย์
- การแสดงผลของความหนาแน่นและปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากตะไคร้หอม

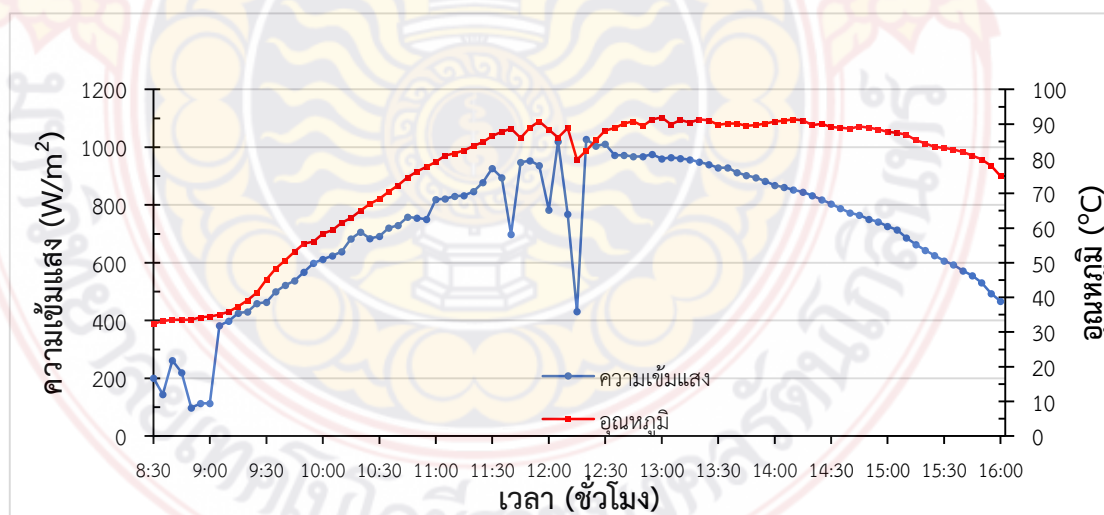
4.2 ผลการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม

จากการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ที่ทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่สามารถบันทึกได้ดังแสดงในภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-2 ค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์แต่ละช่วงเวลาของการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม

4.2.1 ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (วันที่ 1)



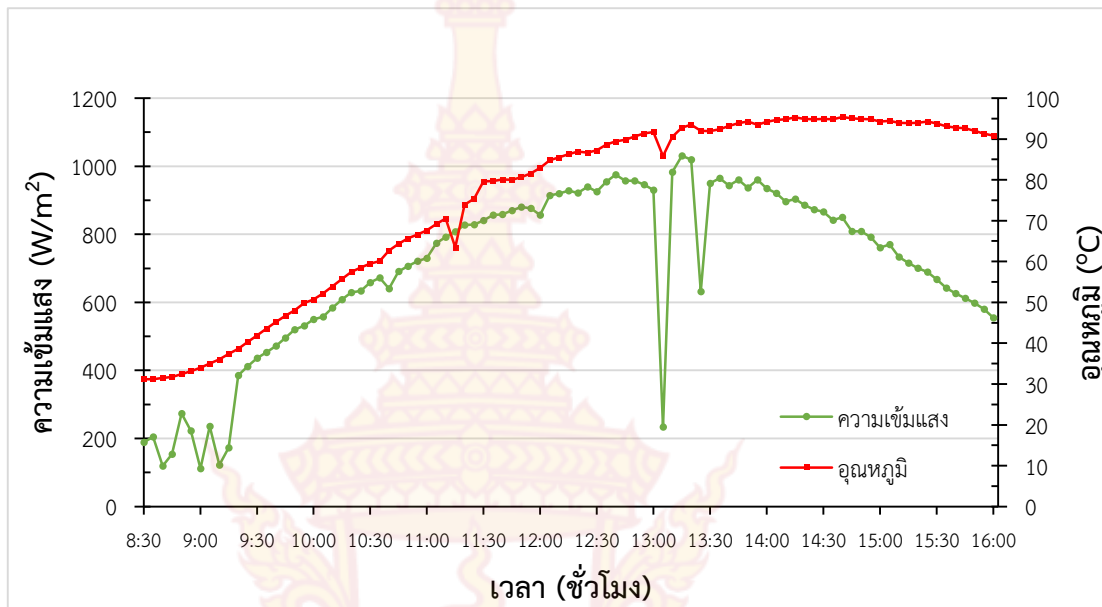
ภาพที่ 4-3 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 14 เมษายน พ.ศ.

จากภาพที่ 4-3 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ทำการเก็บข้อมูล วันที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2561 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. – 12.00 น. มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 200.46 W/m^2 จนถึง 937.06 W/m^2 พบว่าอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ $32.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น $88.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากข้อมูลพบว่าช่วงเวลา 13.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ปริมาณความเข้มแสงอยู่ที่ 960.37 W/m^2 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีสูงที่สุด $91.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และเริ่มมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงถึงช่วงเวลา 16.00 น. มีปริมาณความเข้มแสง 467.36 W/m^2 ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $75 \text{ }^{\circ}\text{C}$

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการทดลองได้อยู่ที่เวลา 12.20 น. สามารถวัดปริมาณความเข้มแสงได้ 1027.97 W/m^2 และมีปริมาณความเข้มแสงคงที่ จากนั้นตั้งแต่เวลา 12.25 น. – 16.00 น. ปริมาณความเข้มแสงลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 1004.66 W/m^2 – 467.36 W/m^2 เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่ในบางช่วงเวลาที่ทำการทดลองจะมีปริมาณความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นมาใหม่อย่างรวดเร็วโดยเห็นได้ชัด เช่น เวลา 12.15 น. มีปริมาณความเข้มแสง 431.23 W/m^2

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยอยู่ที่ 884.98 W/m^2 อุณหภูมิ $81.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

4.2.2 ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (วันที่ 2)



ภาพที่ 4-4 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 16 เมษายน พ.ศ.

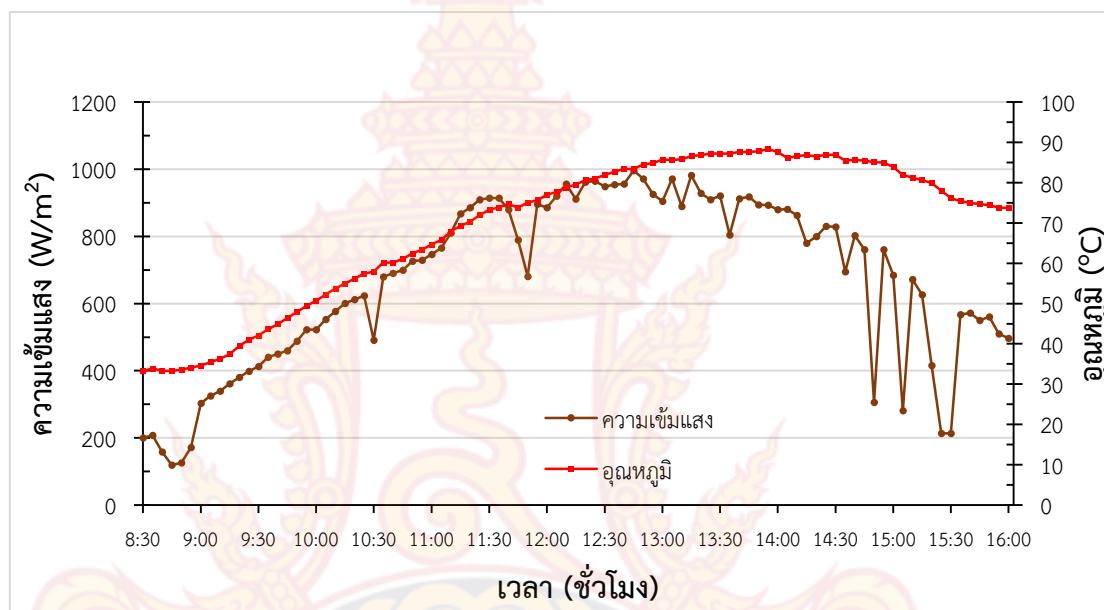
2561

จากภาพที่ 4-4 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ทำการเก็บข้อมูล วันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2561 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. – 13.00 น. มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 188.81 W/m² จนถึง 930.06 W/m² พบว่าอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 31.2 °C เป็น 91.7 °C จากข้อมูลพบว่าช่วงเวลา 14.40 น. เป็นช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์ความเข้มแสงอยู่ที่ 849.65 W/m² เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีสูงที่สุด 95.4 °C และเริ่มมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงถึงช่วงเวลา 16.00 น. มีปริมาณความเข้มแสง 554.77 W/m² ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 90.8 °C

จากกราฟจะเห็นว่าค่าปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการทดลองได้อยู่ที่เวลา 13.15 น. สามารถวัดปริมาณความเข้มแสงได้ 1030.30 W/m² และมีปริมาณความเข้มแสงคงที่ จากนั้นตั้งแต่เวลา 13.20 น. – 16.00 น. ปริมาณความเข้มแสงลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 1019.81 W/m² – 554.77 W/m² เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่ในบางช่วงเวลาที่ทำการทดลองจะมีปริมาณความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นมาใหม่อย่างรวดเร็วโดยเห็นได้ชัด เช่น เวลา 13.05 น. มีปริมาณความเข้มแสง 234.26 W/m² จากนั้นเมื่อเวลา 13.10 น. มีปริมาณความเข้มแสง 982.51 W/m²

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยอยู่ที่ 865.96 W/m^2 อุณหภูมิ $90.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

4.2.3 ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (วันที่ 3)



ภาพที่ 4-5 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2561

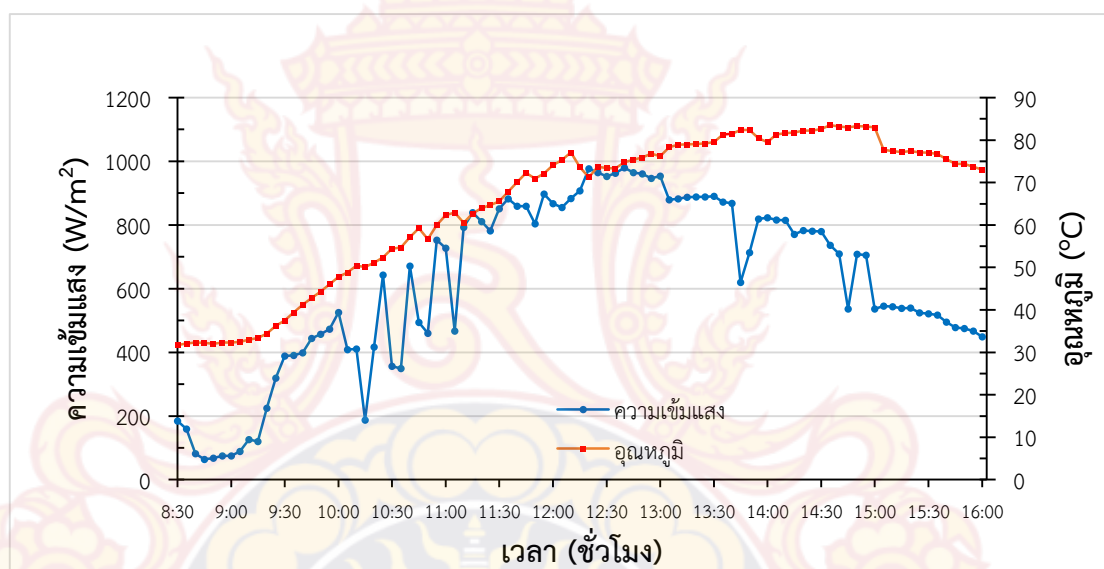
จากภาพที่ 4-5 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ทำการเก็บข้อมูล วันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2561 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. – 11.40 น. มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 200.46 W/m^2 จนถึง 879.95 W/m^2 พบว่าอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ $33.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น $74.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากข้อมูลพบว่าช่วงเวลา 14.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ปริมาณความเข้มแสงอยู่ที่ 879.95 W/m^2 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีสูงที่สุด $87.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และเริ่มมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงถึงช่วงเวลา 16.00 น. มีปริมาณความเข้มแสง 496.50 W/m^2 ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $73.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการทดลองได้อยู่ที่เวลา 13.05 น. สามารถวัดปริมาณความเข้มแสงได้ 970.86 W/m^2 และมีปริมาณความเข้มแสงคงที่ จากนั้นตั้งแต่วเวลา 13.10 น. – 16.00 น. ปริมาณความเข้มแสงลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 889.27 W/m^2 – 496.50 W/m^2 เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามการ

เคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่ในบางช่วงเวลาที่ทำการทดลองจะมีปริมาณความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วโดยเห็นได้ชัด เช่น เวลา 14.50 น. มีปริมาณความเข้มแสง 280.88 W/m^2 จากนั้นเมื่อเวลา 14.55 น. มีปริมาณความเข้มแสง 761.07 W/m^2

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยอยู่ที่ 962.29 W/m^2 อุณหภูมิ $84.3 \text{ }^\circ\text{C}$

4.2.4 ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (วันที่ 4)



ภาพที่ 4-6 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 18 เมษายนพ.ศ.

2561

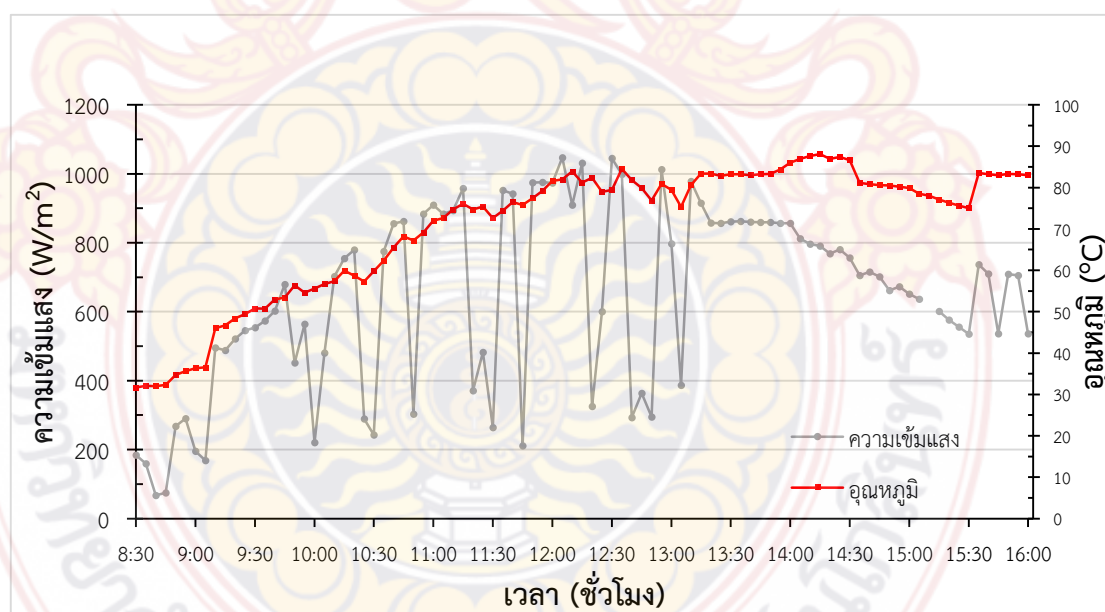
จากภาพที่ 4-6 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ทำการเก็บข้อมูล วันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2561 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. – 11.00 น. มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 184.14 W/m^2 จนถึง 525.61 W/m^2 พบว่าอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ $31.7 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็น $51.4 \text{ }^\circ\text{C}$ จากข้อมูลพบว่าช่วงเวลา 14.35 น. เป็นช่วงเวลาที่มียุทธปริมาณความเข้มแสงอยู่ที่ 736.59 W/m^2 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีสูงที่สุด $83.5 \text{ }^\circ\text{C}$ และเริ่มมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงถึงช่วงเวลา 16.00 น. มีปริมาณความเข้มแสง 448.71 W/m^2 ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $73 \text{ }^\circ\text{C}$

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการทดลองได้อยู่ที่เวลา 12.40 น. สามารถวัดปริมาณความเข้มแสงได้ 980.18 W/m^2 และมีปริมาณความเข้มแสงคงที่ จากนั้นตั้งแต่

เวลา 15.10 น. – 16.00 น. ปริมาณความเข้มแสงลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 543.12 W/m^2 – 448.71 W/m^2 เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่ในบางช่วงเวลาที่ทำการทดลองจะมีปริมาณความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วโดยเห็นได้ชัด เช่น เวลา 10.15 น. มีปริมาณความเข้มแสง 187.64 W/m^2 จากนั้นเมื่อเวลา 10.20 น. มีปริมาณความเข้มแสง 643.35 W/m^2 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพท้องฟ้า ณ จุดที่เก็บข้อมูล คือมีเมฆมาบดบังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบตรงจุดที่ปฏิบัติงาน ทำให้ความเข้มแสง ในช่วงเวลานั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเวลาผ่านไปเมฆค่อยเคลื่อนผ่านจุดที่ปฏิบัติงานไป ทำให้ปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยอยู่ที่ 776.98 W/m^2 อุณหภูมิ $81.3 \text{ }^\circ\text{C}$ จะเห็นได้ว่าปริมาณความเข้มแสงที่เกิดขึ้นไม่ส่งผลกระทบบต่ออุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เนื่องจากมีการลดการพาความร้อน (Convective) ของลม โดยการเพิ่มกล่องหุ้มฉนวนกันความร้อนไม่ให้มีการพาความร้อนของลม ทำให้ยังสามารถเก็บอุณหภูมิให้คงที่ได้

4.2.5 ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (วันที่ 5)



ภาพที่ 4-7 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 19 เมษายน พ.ศ.

2561

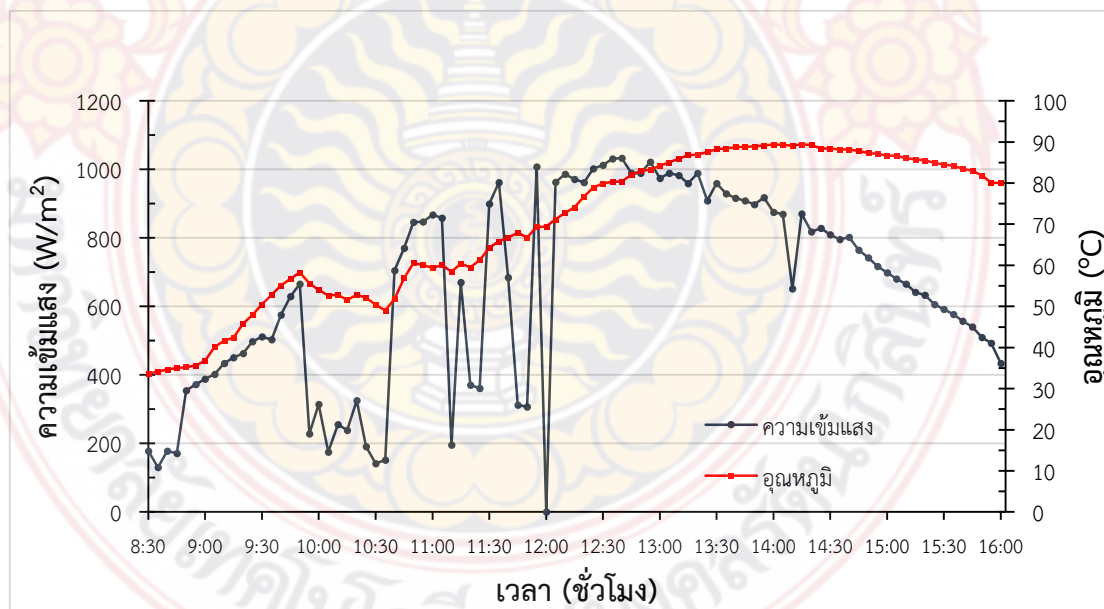
จากภาพที่ 4-7 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ทำการเก็บข้อมูล

วันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2561 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. – 9.15 น. มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 184.14 W/m^2 จนถึง 488.34 W/m^2 พบว่าอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ $31.7 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็น $46 \text{ }^\circ\text{C}$ จากข้อมูลพบว่าช่วงเวลา 14.15 น. เป็นช่วงเวลาที่มียุณหภูมิความเข้มแสงอยู่ที่ 790.20 W/m^2 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงสุด $86.9 \text{ }^\circ\text{C}$ และเริ่มมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงถึงช่วงเวลา 16.00 น. มีปริมาณความเข้มแสง 536.13 W/m^2 ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $83 \text{ }^\circ\text{C}$

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการทดลองได้อยู่ที่เวลา 12.05 น. สามารถวัดปริมาณความเข้มแสงได้ 1046.62 W/m^2 และมีปริมาณความเข้มแสงคงที่ จากนั้นตั้งแต่วเวลา 15.05 น. – 16.00 น. ปริมาณความเข้มแสงลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 636.36 W/m^2 – 536.13 W/m^2 เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่ในบางช่วงเวลาที่ทำการทดลองจะมีปริมาณความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วโดยเห็นได้ชัด เช่น เวลา 12.50 น. มีปริมาณความเข้มแสง 294.87 W/m^2 จากนั้นเมื่อเวลา 12.55 น. มีปริมาณความเข้มแสง 1012.82 W/m^2

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยอยู่ที่ 858.97 W/m^2 อุณหภูมิ $80.1 \text{ }^\circ\text{C}$

4.2.6 ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (วันที่ 6)



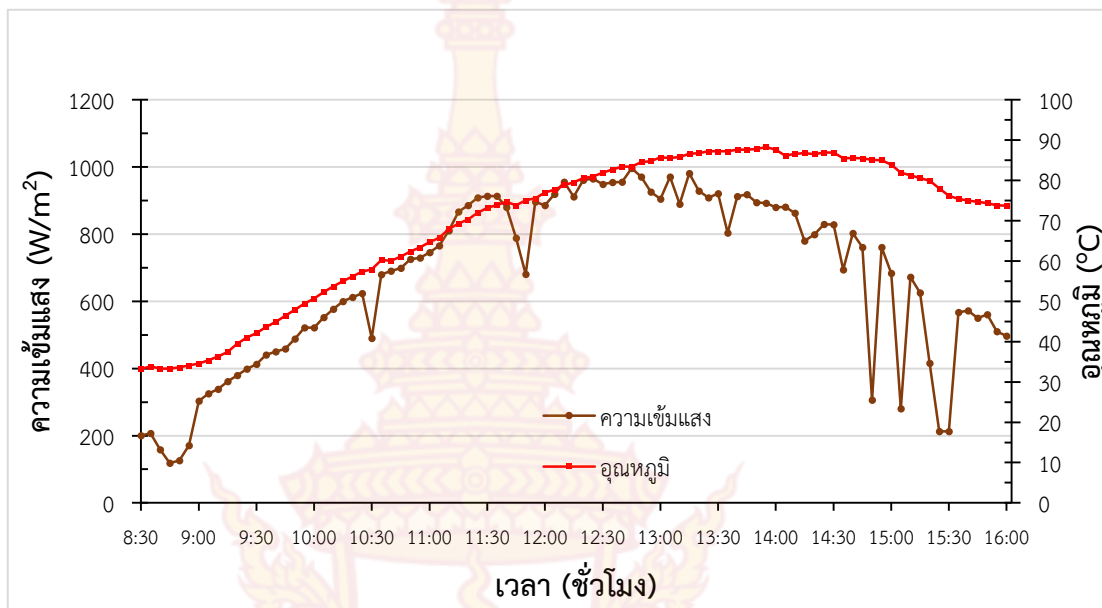
ภาพที่ 4-8 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ.

จากภาพที่ 4-8 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ทำการเก็บข้อมูล วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. – 9.50 น. มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 178.32 W/m^2 จนถึง 665.50 W/m^2 พบว่าอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ $33.7 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็น $58.3 \text{ }^\circ\text{C}$ จากข้อมูลพบว่าช่วงเวลา 14.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ มีปริมาณความเข้มแสงอยู่ที่ 875.29 W/m^2 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีสูงที่สุด $89.4 \text{ }^\circ\text{C}$ และเริ่มมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงถึงช่วงเวลา 16.00 น. มีปริมาณความเข้มแสง 433.56 W/m^2 ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $80 \text{ }^\circ\text{C}$

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการทดลองได้อยู่ที่เวลา 12.40 น. สามารถวัดปริมาณความเข้มแสงได้ 1032.63 W/m^2 และมีปริมาณความเข้มแสงคงที่ จากนั้นตั้งแต่เวลา 12.45 น. – 16.00 น. ปริมาณความเข้มแสงลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 989.51 W/m^2 – 433.56 W/m^2 เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่ในบางช่วงเวลาที่ทำการทดลองจะมีปริมาณความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วโดยเห็นได้ชัด เช่น เวลา 11.10 น. มีปริมาณความเข้มแสง 195.80 W/m^2 จากนั้นเมื่อเวลา 11.15 น. มีปริมาณความเข้มแสง 670.16 W/m^2

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยอยู่ที่ 926.80 W/m^2 อุณหภูมิ $82.9 \text{ }^\circ\text{C}$

4.2.7 ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (วันที่ 7)



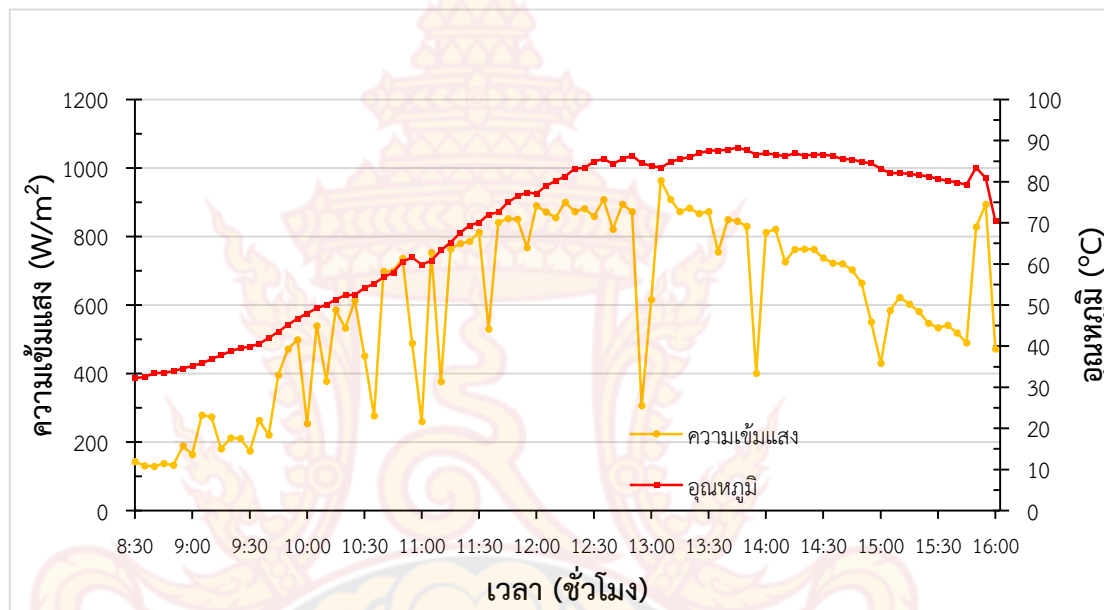
ภาพที่ 4-9 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2561

จากภาพที่ 4-9 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ทำการเก็บข้อมูล วันที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. – 11.40 น. มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 200.46 W/m² จนถึง 879.95 W/m² พบว่าอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 33.2 °C เป็น 74.7 °C จากข้อมูลพบว่าช่วงเวลา 14.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ปริมาณความเข้มแสงอยู่ที่ 879.95 W/m² เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงสุด 87.6 °C และเริ่มมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงถึงช่วงเวลา 16.00 น. มีปริมาณความเข้มแสง 496.50 W/m² ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 73.7 °C

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการทดลองได้อยู่ที่เวลา 13.05 น. สามารถวัดปริมาณความเข้มแสงได้ 970.86 W/m² และมีปริมาณความเข้มแสงคงที่ จากนั้นตั้งแต่วเวลา 13.10 น. – 16.00 น. ปริมาณความเข้มแสงลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 889.27 W/m² – 496.50 W/m² เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่ในบางช่วงเวลาที่ทำการทดลองจะมีปริมาณความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วโดยเห็นได้ชัด เช่น เวลา 14.50 น. มีปริมาณความเข้มแสง 280.88 W/m² จากนั้นเมื่อเวลา 14.55 น. มีปริมาณความเข้มแสง 761.07 W/m²

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยอยู่ที่ 962.29 W/m^2 อุณหภูมิ $84.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

4.2.8 ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (วันที่ 8)



ภาพที่ 4-10 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2562

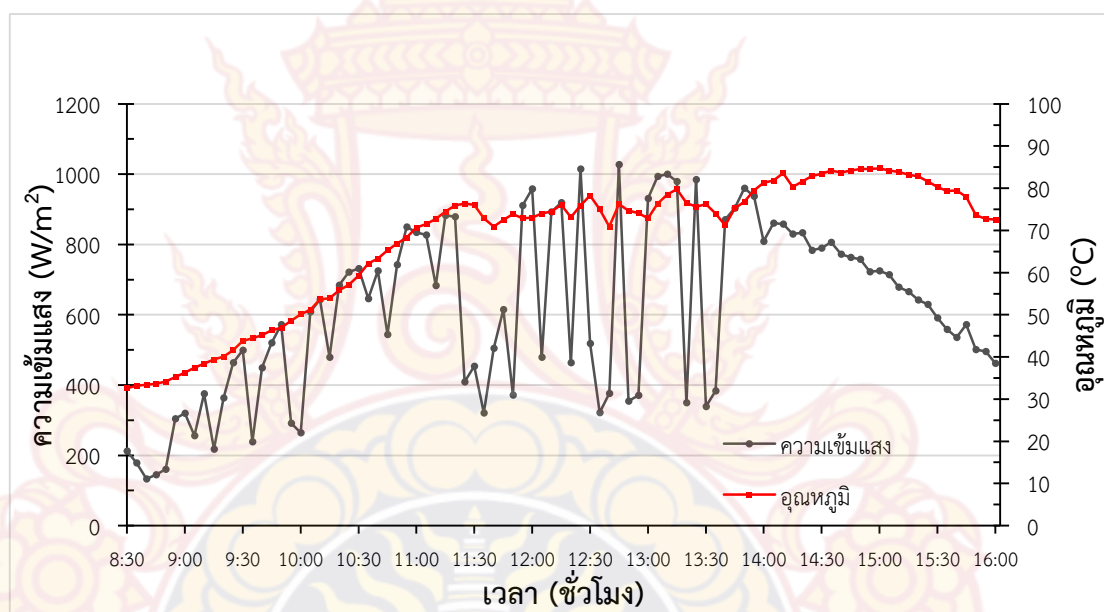
จากภาพที่ 4-10 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ทำการเก็บข้อมูล วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. – 11.30 น. มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 143.35 W/m^2 จนถึง 812.35 W/m^2 น. พบว่าอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ $32.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น $70.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากข้อมูลพบว่าช่วงเวลา 13.45 น. เป็นช่วงเวลาที่ปริมาณความเข้มแสงอยู่ที่ 849.65 W/m^2 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงสุด $87.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และเริ่มมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงถึงช่วงเวลา 16.00 น. มีปริมาณความเข้มแสง 472.02 W/m^2 ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $70.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการทดลองได้อยู่ที่เวลา 13.05 น. สามารถวัดปริมาณความเข้มแสงได้ 963.86 W/m^2 และมีปริมาณความเข้มแสงคงที่ จากนั้นตั้งแต่วเวลา 15.10 น. – 16.00 น. ปริมาณความเข้มแสงลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 622.37 W/m^2 – 472.02

W/m^2 เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่ในบางช่วงเวลาที่ทำการศึกษาทดลองจะมีปริมาณความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วโดยเห็นได้ชัด เช่น เวลา 12.55 น. มีปริมาณความเข้มแสง $306.52 W/m^2$

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยอยู่ที่ $867.13 W/m^2$ อุณหภูมิ $83.4 ^\circ C$

4.2.9 ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (วันที่ 9)



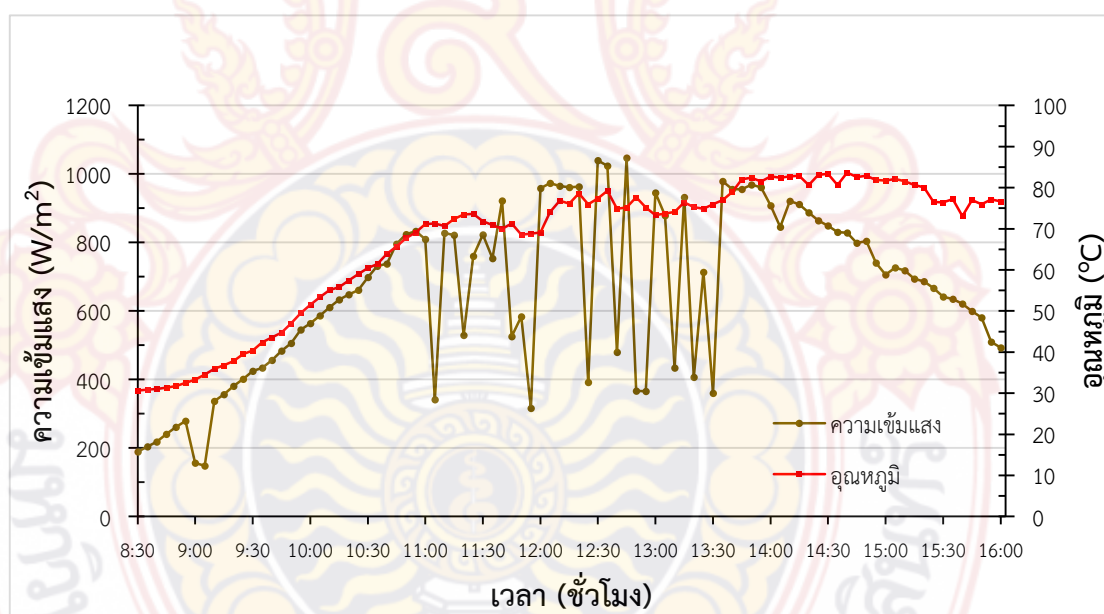
ภาพที่ 4-11 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2561

จากภาพที่ 4- 11 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ทำการเก็บข้อมูล วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. –11.00 น. มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก $212.12 W/m^2$ จนถึง $834.49 W/m^2$ พบว่าอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ $32.6 ^\circ C$ เป็น $70.7 ^\circ C$ จากข้อมูลพบว่าช่วงเวลา 15.00 น. เป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอยู่ที่ $724.94 W/m^2$ เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีสูงที่สุด $84.7 ^\circ C$ และเริ่มมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงถึงช่วงเวลา 16.00 น. มีปริมาณความเข้มแสง $461.53 W/m^2$ ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $72.6 ^\circ C$

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการทดลองได้อยู่ที่เวลา 12.45 น. สามารถวัดปริมาณความเข้มแสงได้ 1027.97 W/m^2 และมีปริมาณความเข้มแสงคงที่ จากนั้นตั้งแต่เวลา 13.00 น. – 16.00 น. ปริมาณความเข้มแสงลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 931.23 W/m^2 – 461.53 W/m^2 เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่ในบางช่วงเวลาที่ทำการทดลองจะมีปริมาณความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วโดยเห็นได้ชัด เช่น เวลา 12.50 น. มีปริมาณความเข้มแสง 349.65 W/m^2 จากนั้นเมื่อเวลา 12.55 น. มีปริมาณความเข้มแสง 984.84 W/m^2

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยอยู่ที่ 725.59 W/m^2 อุณหภูมิ $75.6 \text{ }^\circ\text{C}$

4.2.10 ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (วันที่ 10)



ภาพที่ 4-12 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ.

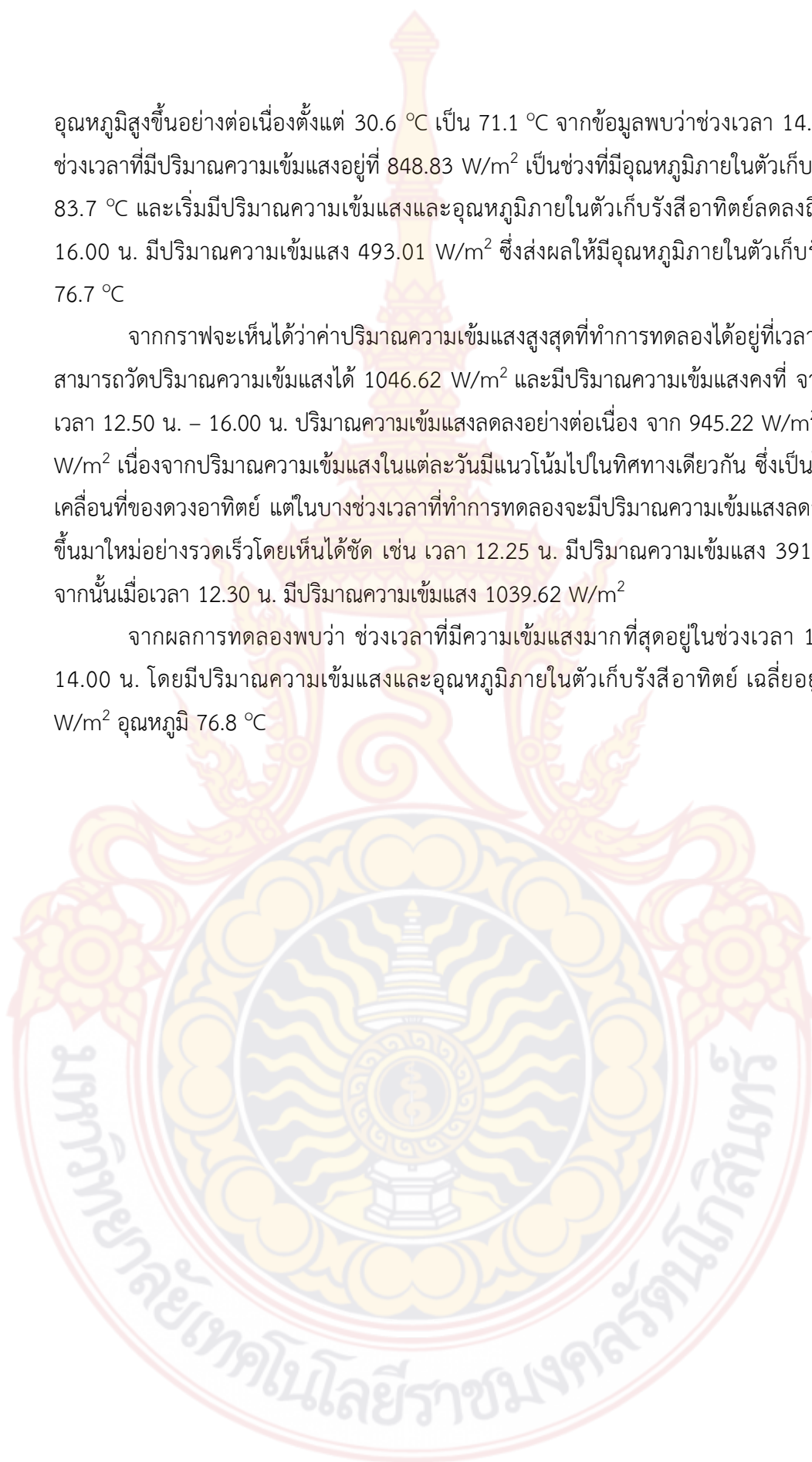
2561

จากภาพที่ 4- 12 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ทำการเก็บข้อมูล วันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. – 11.00 น. มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 188.81 W/m^2 จนถึง 822.84 W/m^2 พบว่าอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มี

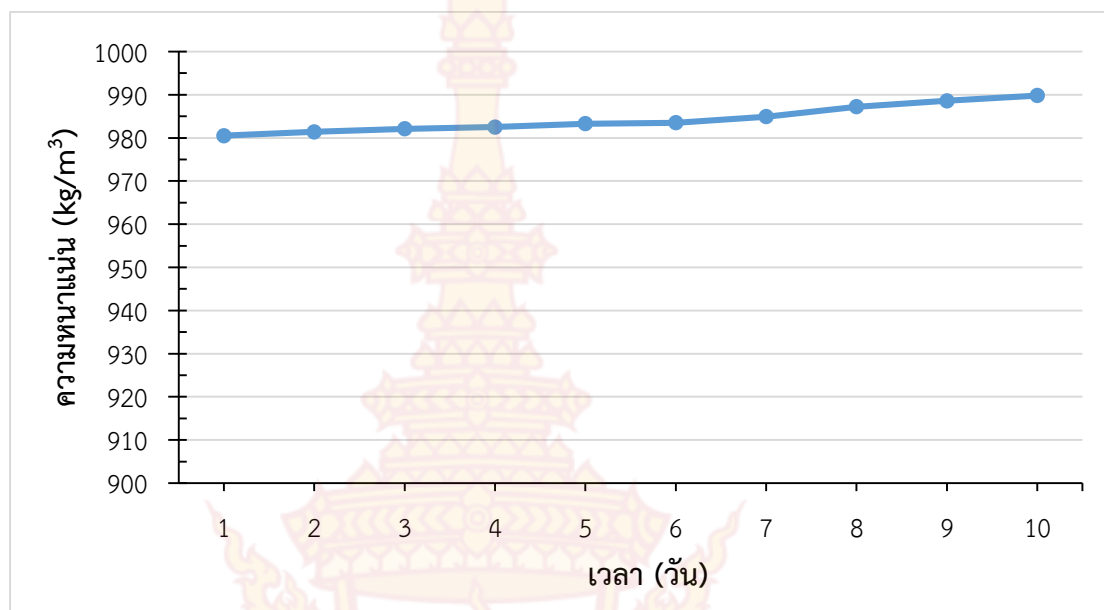
อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 30.6 °C เป็น 71.1 °C จากข้อมูลพบว่าช่วงเวลา 14.30 น. เป็นช่วงเวลาที่มียุณหภูมิความเข้มแสงอยู่ที่ 848.83 W/m² เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีสูงที่สุด 83.7 °C และเริ่มมียุณหภูมิความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงถึงช่วงเวลา 16.00 น. มียุณหภูมิความเข้มแสง 493.01 W/m² ซึ่งส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 76.7 °C

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการทดลองได้อยู่ที่เวลา 12.45 น. สามารถวัดปริมาณความเข้มแสงได้ 1046.62 W/m² และมีปริมาณความเข้มแสงคงที่ จากนั้นตั้งแต่เวลา 12.50 น. – 16.00 น. ปริมาณความเข้มแสงลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 945.22 W/m² – 493.07 W/m² เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่ในบางช่วงเวลาที่ทำการทดลองจะมีปริมาณความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วโดยเห็นได้ชัด เช่น เวลา 12.25 น. มียุณหภูมิความเข้มแสง 391.60 W/m² จากนั้นเมื่อเวลา 12.30 น. มียุณหภูมิความเข้มแสง 1039.62 W/m²

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยอยู่ที่ 797.34 W/m² อุณหภูมิ 76.8 °C



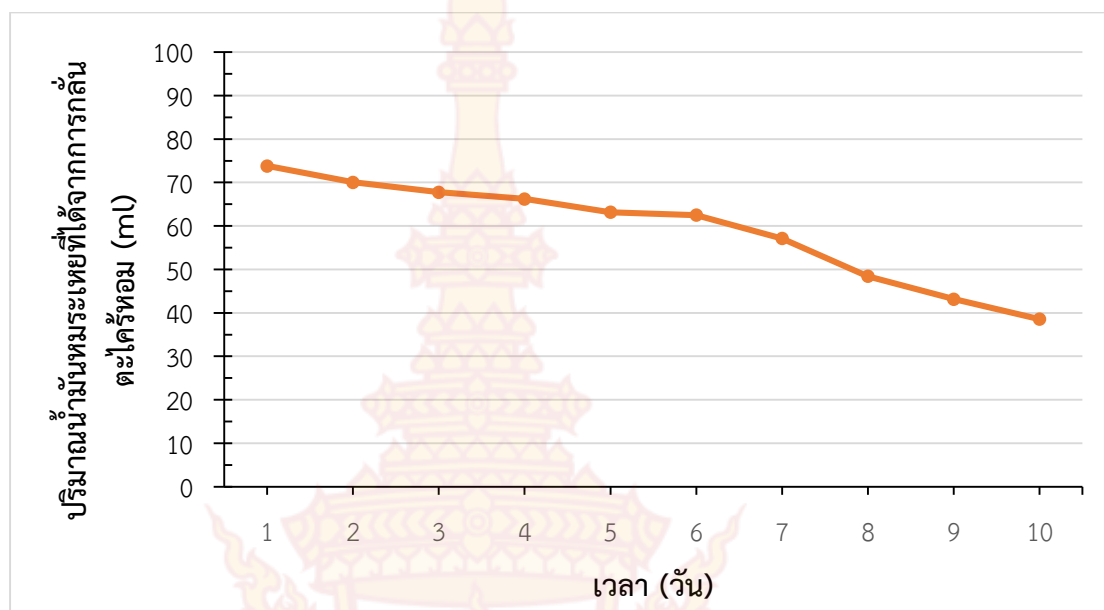
4.3 ผลของความหนาแน่นที่ได้จากการกลั่นน้ำตะไคร้



ภาพที่ 4-13 แสดงความหนาแน่นที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอม

จากภาพที่ 4-13 เป็นกราฟแสดงความหนาแน่นที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง ที่ทำการทดลองทั้งสิ้น 10 วัน จากกราฟพบว่ามีค่าความหนาแน่นของน้ำมันตะไคร้หอมเริ่มต้นที่ 980.5 kg/m³ จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดจะอยู่ที่ 989.8 kg/m³

4.4 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอม

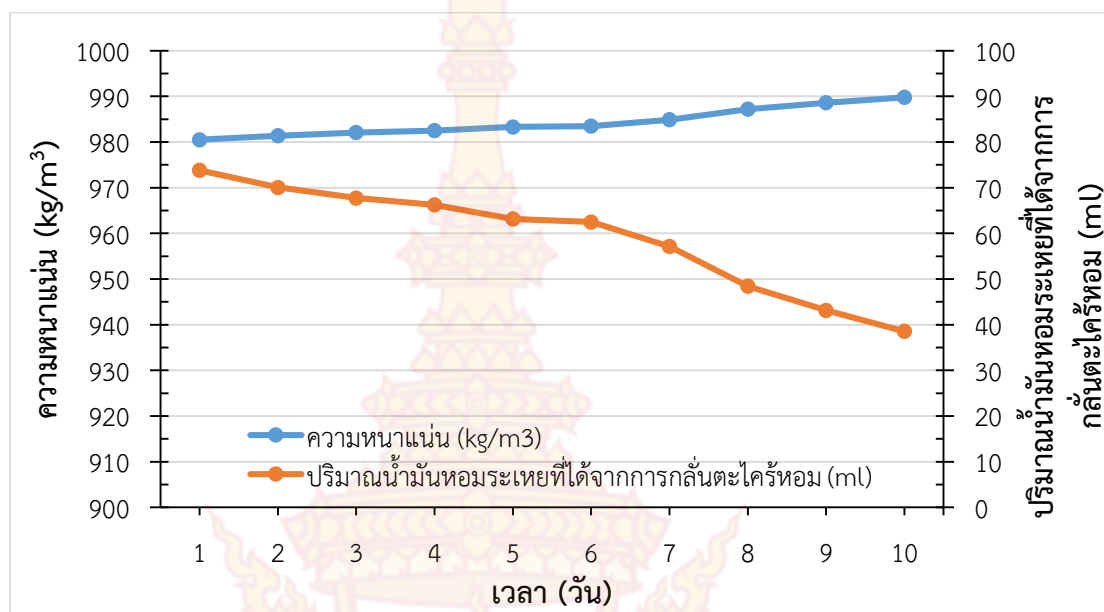


ภาพที่ 4-14 แสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอม

จากภาพที่ 4-14 เป็นกราฟแสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอม พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันเมื่อมีสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันหอมระเหย 40 ลิตร โดยวันแรกจะสามารถกลั่นได้สูงที่สุดที่ 73.80 ml และวันสุดท้ายจะกลั่นได้ปริมาณน้อยที่สุดที่ 38.57 ml

จากการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จะมีแนวโน้มไปทางเดียวกันกับ ปริมาณความเข้มข้นและอุณหภูมิภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่น ได้ลดลงตามลำดับ และส่งผลให้ปริมาณที่กลั่นได้ในวันถัดไปลดลงตามลำดับด้วยเช่นกัน

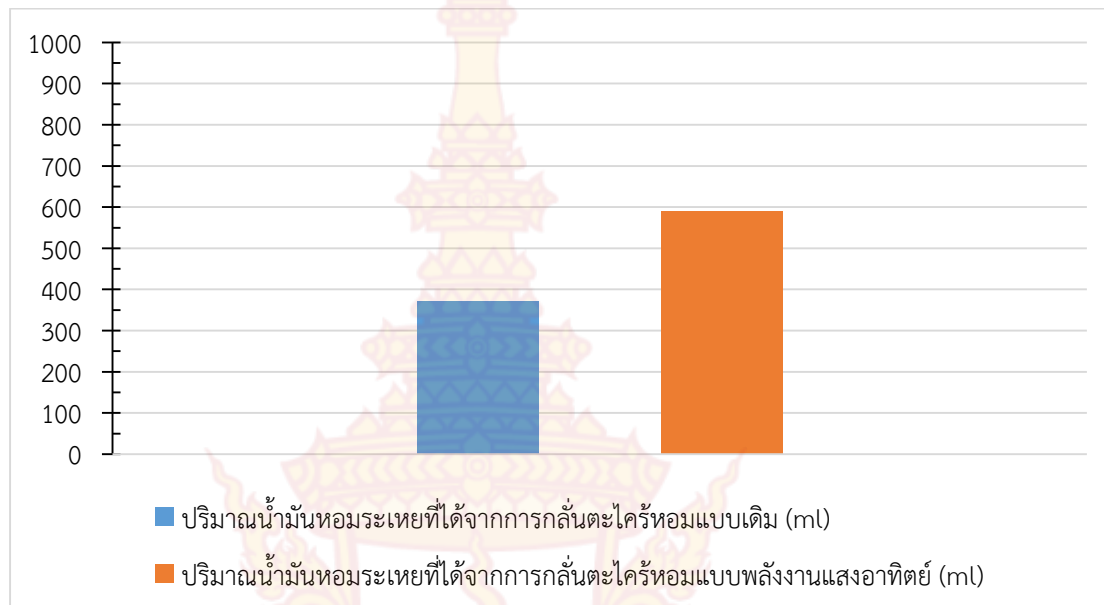
4.5 ผลของความหนาแน่นและปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากตะไคร้หอม



ภาพที่ 4-15 แสดงความหนาแน่นและปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากตะไคร้หอม

จากภาพที่ 4-15 เป็นกราฟแสดงความหนาแน่นและปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากตะไคร้หอมพบว่าที่ความหนาแน่น 980.5 kg/m³ สามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยได้ 73.80 ml ซึ่งเป็นวันแรกของการทดลอง (วันที่ 1) หลังจากนั้นความหนาแน่นของน้ำตะไคร้จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงความหนาแน่นของน้ำ ที่วันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 10) มีความหนาแน่น 989.8 kg/m³ ส่วนปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จะลดลง เหลือ 38.57 ml เนื่องจากความหนาแน่นที่เข้าไกล้น้ำที่แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมได้ลดลง

4.6 ผลรวมของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบเดิมและแบบพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 4-16 ผลรวมของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบเดิมและแบบพลังงานแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 4-16 เป็นกราฟแสดงผลรวมของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบเดิมและแบบพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบเดิมมีปริมาณอยู่ที่ 372.52 ml และปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณอยู่ที่ 590.84 ml

จากการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ปริมาณการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมมากหรือน้อยนั้นคือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่แตกต่างกัน เนื่องจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยแบบเดิมใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่แยกส่วนของระบบน้ำหล่อเย็นและน้ำมันหอมระเหย ทำให้การกลั่นมีการผสมกันระหว่างน้ำและน้ำมันหอมระเหย หลังจากนั้นจึงนำมาผ่านกระบวนการแยกน้ำกับน้ำมันหอมระเหยอีกครั้ง ซึ่งในกระบวนการนี้อาจจะทำให้แยกน้ำและน้ำมันหอมระเหยออกมาไม่หมด ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเขยน้อยลง ส่วนการกลั่นน้ำมันหอมระเหยแบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟองนั้น มีการแยกส่วนระหว่างน้ำหล่อเย็นและน้ำมันหอมระเหยออกจากกันอย่างชัดเจน ทำให้ได้รับส่วนของน้ำมันหอมระเหยมากขึ้นโดยไม่ต้องไม่ผ่านกระบวนการแยกอีก

โดยจากการศึกษาสมรรถนะการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟองมีสมรรถนะในการกลั่นเพิ่มขึ้น 36.95 %

4.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในทางวิศวกรรมมีความสำคัญมาก เนื่องจากผลในการวิเคราะห์จะเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าจะคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่ โดยจะประเมินค่าต้นทุนต่อหน่วย การกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้โดยวิธีการประเมินค่าใช้จ่ายรายปี (Annual Cost) ซึ่งค่าใช้จ่ายรายปีที่พิจารณาจะประกอบไปด้วย เงินลงทุนรายปี (Investment Cost, C_I) ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance, $C_{O\&M}$) และค่าพลังงาน (Energy Cost, C_E) ดังนั้นผลรวมของค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นจะหาได้จาก

$$\text{ผลรวมค่าใช้จ่ายรายปี} = C_I + C_{O\&M} + C_E$$

รายละเอียดที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

- 1) เงินลงทุนเบื้องต้น (Capital Cost) มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4-1 ต้นทุนเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย

รายการ	ราคา (บาท)
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 2.2 m ²	16,000
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	4,000
ปั้มน้ำหล่อเย็น	400
ถังบรรจุน้ำตะไคร้หอม	3,000
ขาตั้งปรับระดับ ท่อสแตนเลส ข้อต่อ วาล์ว และฉนวนกันความร้อน	1,000
รวม	24,400

- 2) ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance, $C_{O\&M}$) กำหนดให้เป็นปีละ 10 % ของเงินลงทุนเบื้องต้น

- 3) กำหนดให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์เท่ากับ 10 ปี

- 4) ใช้อัตราดอกเบี้ย (Discount Rate) เท่ากับดอกเบี้ยเงินกู้ขั้นดี (MLR) ของธนาคารกรุงไทย (ตั้งแต่วันที่ 23 พฤษภาคม 2560 เป็นต้นไป) เฉลี่ยร้อยละ 7.125 ต่อปี

- 5) ค่าพลังงานไฟฟ้า คิดตามอัตราค่าไฟฟ้าประเภท 2.1 กิจการขนาดเล็ก

- 6) สมมติให้ทำงานปีละ 300 วัน วันละ 7.30 ชั่วโมง

4.7.1 เงินลงทุนรายปี (Investment Cost, C_I)

เนื่องจากเงินลงทุนรายปีของระบบกลั่นเท่ากับ 24,400 บาท อัตราดอกเบี้ย (i) 7.125 ต่อปี และอายุการใช้งานของอุปกรณ์ (N) 10 ปี ดังนั้นเงินลงทุนรายปีของระบบกลั่นน้ำมันหอมระเหยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั้มฟองจะคำนวณได้ดังนี้

$$C_I = P \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right]$$

เมื่อ P	= เงินลงทุนเบื้องต้น	= 24,400 บาท
N	= อายุของโครงการ	= 10 ปี
i	= อัตราดอกเบี้ย	= 0.07125
จะได้เงินลงทุนรายปี		= 3,494.11 บาท/ปี

4.7.2 ค่าพลังงาน (Energy Cost, C_E)

สำหรับค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานไฟฟ้านั้น ได้ใช้ปั๊มน้ำ Mirano กำลังไฟฟ้า 370 วัตต์ ซึ่งในการคิดราคาพลังงานไฟฟ้านั้นจะคิดตาม อัตราค่าไฟฟ้า ประเภท 2.1 กิจการขนาดเล็ก โดยมีการทำงานของเครื่อง 7.30 ชม. ในแต่ละวัน และใน 1 ปี ทำงานทั้งหมด 300 วัน สามารถคิดได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือน} &= (7.30 \text{ ชม./วัน})(30 \text{ วัน/เดือน})(370 \text{ วัตต์/ชม.}) \\ &= 81.03 \text{ กิโลวัตต์/เดือน} \end{aligned}$$

ดังนั้นเมื่อคิดค่าพลังงานไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าประเภท 2.1 กิจการขนาดเล็ก จะคำนวณหามูลค่าของพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายในแต่ละปีได้ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า } 81.03 \text{ หน่วย (หน่วยที่ 0 - 150)}$$

$$= 81.03 \times 2.7268$$

$$= 233.87 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าบริการ} = 46.16 \text{ บาท}$$

$$\text{รวมค่าไฟฟ้าฐาน} = 233.87 + 46.16$$

$$= 280.03 \text{ บาท}$$

- ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (F_v)

$$\text{อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร } 0.9581 \text{ บาท/หน่วย}$$

$$\text{พลังงานค่าไฟฟ้าที่ใช้} = 81.03 \times 0.9581$$

$$= 77.63 \text{ บาท}$$

- ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

$$(\text{ค่าไฟฟ้าฐาน} + \text{ค่าไฟฟ้าผันแปร})(0.07) = (280.03 + 77.63)(0.07)$$

$$= 25.0362$$

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน = ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร + ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม

$$= 208.03 + 77.63 + 25.0362$$

$$= 382.70 \text{ บาท}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ค่าไฟฟ้าต่อปี (ใน 1 ปีทำงาน 300 วัน คิดเป็น 9.87 เดือน)} &= 382.70 \times 9.87 \\ &= 3,777.25 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

4.7.3 ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance, C_{o&m})

สำหรับค่าบำรุงรักษาและการบำรุงรักษาของระบบกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟองในการศึกษานี้กำหนดให้เป็นปีละ 10 % เงินลงทุนเบื้องต้นจะได้

$$\text{ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา} = (0.1)(24,400) = 2,440 \text{ บาท/ปี}$$

4.7.4 ต้นทุนการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม

ต้นทุนการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง คำนวณได้จากผลรวมของค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นรวมกับต้นทุนการหมัก ทารด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ตลอดทั้งปี

$$\text{ผลรวมของค่าใช้จ่ายรายปี} = 3,494.11 + 3,777.25 + 2,440 = 9,711.36 \text{ บาท/ปี}$$

ตารางที่ 4-2 ต้นทุนตะไคร้หอม

รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย (บาท)	ราคา/ปี (บาท)
ตะไคร้หอม	20 กิโลกรัม	50	1,000

ต้นทุนการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม

$$\begin{aligned} &\text{ผลรวมของค่าใช้จ่ายรายปี} + \text{ต้นทุนตะไคร้หอมต่อปี} \\ &= \frac{\quad}{\text{ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ต่อปี}} \\ &= \left(\frac{9,711.36 + 1,000}{177.252} \right) \\ &= 60.43 \text{ บาท/ลิตร} \end{aligned}$$

4.7.5 ระยะคืนทุนของการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม

ต้นทุนทั้งหมด = เงินลงทุนรายปี + ค่าพลังงานไฟฟ้ารายปี + ต้นทุนการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมต่อปี

$$\begin{aligned} &= 3,494.11 + 3,777.225 + 1,000 \text{ บาท} \\ &= 8,271.335 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

- ราคาขายน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม 60.43 บาท/ลิตร

- โดยเฉลี่ยใน 1 ปี (300วัน) สามารถผลิตน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมได้ 177.252 ลิตร/ปี

จึงได้ผลผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

= (ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ต่อปี/จำนวนครั้งในการกลั่นต่อปี) X จำนวนครั้งในการเตรียมตะไคร้ต่อปี

∴ ผลผลิตน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม = $(177.252/30) \times 30 = 177.252$ ลิตร/ปี

- รายได้จากการขายน้ำมันตะไคร้หอม = $177.252 \times 60.43 = 10,711.34$ บาท/ปี

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน = ต้นทุนทั้งหมด/กำไรจากการขายน้ำมันหอมระเหย
 = $8,271.335/(10,711.34-8,271.335)$
 = 3.40 ปี

จากการคำนวณจุดคุ้มทุนการศึกษาสมรรถนะการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอม ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟองพบว่าต้นทุนในการผลิตน้ำมันหอมระเหยอยู่ที่ 60.43 บาทต่อลิตร และเมื่อนำมาหาระยะคืนทุนของโครงการโดยใช้ต้นทุนการผลิตเป็นตัวตั้งพบว่ามีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3.40 ปี



บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลของการศึกษาสรรณะการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมพบว่าปริมาณการกลั่นที่ดีที่สุดอยู่ในช่วงวันแรกของการกลั่นเป็นผลเนื่องมาจากความหนาแน่นต่ำทำให้จุดเดือดต่ำ มีปริมาณการกลั่นที่ 73.80 ml และมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากความหนาแน่นที่สูงขึ้นและจุดเดือดที่เพิ่มขึ้นมีปริมาณการกลั่นที่ 38.57 ml

5.1.2 ผลของการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบเดิมและแบบพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบเดิมมีปริมาณอยู่ที่ 372.52 ml และปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นตะไคร้หอมแบบพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณอยู่ที่ 590.84 ml มีอัตราเพิ่มขึ้น 36.95 %

5.1.3 จากการศึกษาการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เทคนิคปั๊มฟองพบว่าต้นทุนในการผลิตน้ำมันหอมระเหยอยู่ที่ 60.43 บาทต่อลิตร และเมื่อนำมาหาระยะคืนทุนของโครงการโดยใช้ต้นทุนการผลิตเป็นตัวตั้งพบว่ามีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3.40 ปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง ภูมิอากาศอาจมีเมฆมากในบางเวลา ซึ่งส่งผลให้มาบดบังแสงจากดวงอาทิตย์ ดังนั้นจึงควรเลือกทดลองในวันที่มีอากาศปลอดโปร่ง ท้องฟ้าเปิด เพื่อที่จะได้ผลการทดลองที่แม่นยำมากขึ้น

5.2.2 ตัวแ่งรับรังสีอาทิตย์ควรมีการปรับองศาให้เหมาะสมกับภูมิภาคที่จะทำการทดลอง

5.2.3 ควรมีการออกแบบถังบรรจุสารละลายใหม่เพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาดหลังการทดลอง

บรรณานุกรม

1. จุไรรัตน์ แสงสวัสดิ์. 2545. คู่มือพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ ชุดที่ 3 พืชสมุนไพรน้ำมันหอมระเหย. กรมส่งเสริมการเกษตร.
2. วีระชัย แก่นทรัพย์. 2523. เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
3. จำปา สอนเฟือก. 2547. การกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.
4. ชัยยงค์ ปิงธนาพิทักษ์ และคณะ. 2550. การศึกษาเชิงทดลองและแบบจำลองของการกลั่นเอทานอลแบบแบ่งครั้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
5. ตริพัฒน์ แซ่ฟู่ และคณะ. 2552. การกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคปั๊มฟอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
6. นรินทร์ มาละวรรณโน. 2551. การวิเคราะห์สมรรถนะการกลั่นเอทานอลแสงอาทิตย์แบบการเดือดโดยตรง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
7. นิกร มังกรทอง, ผ่องศรี มังกรทอง และ วินัย เลิศสุรวัดน์. 2528. แก๊สโซฮอลล์จากเอทานอลพลังงานแสงแดด. การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 5 เรื่อง “พลังงานนอกแบบและการประยุกต์” อนุสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ.
8. ประพจน์ เจริญผล และคณะ. 2553. การศึกษาสมรรถนะการกลั่นเอทานอลจากพืชเกษตรด้วยเทคนิคปั๊มฟอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
9. ประเทืองศรี สิ้นชัยศรี . 2545 การผลิตสมุนไพรและเครื่องเทศ. กรมส่งเสริมการเกษตร.
10. พลศิษฐ์ จิตตะยโสธร. 2551. การวิเคราะห์สมรรถนะการกลั่นเอทานอลในเครื่องกลั่นแบบปั๊มฟอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.
11. พรประสิทธิ์ คงบุญ. 2546. การกลั่นเอทานอลด้วยแผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.

บรรณานุกรม (ต่อ)

12. มานะ คงดีจันทร์. 2534. การกลั่นเอทานอลจากวัตถุดิบทางการเกษตรโดยพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
13. วิชาญ ก่องตาวงษ์. 2526. การกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการสอนฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
14. Jack P.holman. การถ่ายเทความร้อน. แปลจาก Heat Transfer Edition 9. โดย รศ.ดร. ษณาคม สุนทรชัยนาคแสง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด
15. Arambage, Cyril Peti. 2531. Solar Distillation of Ethanol. Thesis for the degree of Master of Engineer. Asian Institute fo Technology Bangkok Thailand.
16. Yunus A.Cengel & Afshin J.Ghajar, 2015. Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications. New York:MaGraw-Hill Education.
17. Robert W. Fox, Alan T. McDonald, Philip J. Pritchard, 2010. Introduction to Fluid Mechanics. John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.





ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก ก.
ข้อมูลผลการทดลอง



ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 1 ปริมาณสารเริ่มต้น 40 ลิตร วันที่ 14 เมษายน 2561

Time	I_t (W/m ²)	T_{p_1} (°C)	T_{p_2} (°C)	T_{p_3} (°C)	T_{p_4} (°C)	T_{f_i} (°C)	T_{f_o} (°C)	T_a (°C)	m_d (ml)
8:30น.	250.12	27.5	26.8	27.8	28.5	28.5	29.1	28.1	
8:45น.	268.06	32.1	30.7	29.7	29.7	28.4	28.9	28.8	
9:00น.	314.68	33.7	33.9	32.9	33	28.6	29.1	30.8	
9:15น.	430.06	34.9	34.7	34.9	37.1	28.7	29.3	32.3	
9:30น.	483.68	38.4	38.3	35	37.3	29.1	29.5	33.4	
9:45น.	532.63	45.8	42.6	41.7	41.2	29.2	29.9	35.4	
10:00น.	606.06	57.4	53.7	51.6	52	29.5	30.1	36.6	
10:15น.	675.99	62.6	58.9	56.7	57.7	29.7	30.4	38.3	
10:30น.	667.83	66.4	63.1	59.6	62.2	29.9	30.5	37.5	
10:45น.	624.70	68.8	66.4	62.5	66.2	30.2	30.7	37.3	
11:00น.	666.66	71.9	69.2	64.8	69.1	30.4	30.8	37.5	
11:15น.	642.19	73.9	71.8	66.9	72	30.8	31.4	38.2	
11:30น.	687.64	75.9	73.6	68.3	73.9	31	31.5	39.4	
11:45น.	721.44	77.5	75.3	70.1	76.2	31.3	31.8	40	
12:00น.	699.30	79.5	77.7	72.3	78.8	31.6	32.2	39.6	
12:15น.	653.84	80.3	78.8	73	79.9	31.7	32.5	39.9	
12:30น.	699.30	81.3	79.8	73.8	81.2	32.1	32.7	40.3	
12:45น.	815.85	83.2	81.1	74.7	82.5	32.6	32.9	40.2	
13:00น.	769.23	84.8	83.1	77.1	84.8	32.9	33.5	41	
13:15น.	790.20	85.6	83.9	77.5	85.7	33.3	33.8	41.4	
13:30น.	793.70	87.5	86	79.6	88.1	33.6	34.1	42	
13:45น.	708.62	88.6	87.9	81.5	90.4	33.8	34.6	42.4	
14:00น.	592.07	87.8	87.6	80.6	90.2	34.1	34.6	40.6	
14:15น.	439.39	85.7	85.8	78	87.7	34.3	34.7	38.6	
14:30น.	430.06	83.6	83.3	75.5	84.5	34.5	34.7	38.4	
14:45น.	375.29	81.2	81.1	73.5	82.3	34.8	35	37.4	
15:00น.	390.44	79.2	78.8	71.6	80	34.9	35.2	37.1	
15:15น.	361.30	77.6	77.4	70.9	78.8	35.1	35.4	36.9	
15:30น.	241.25	74	74.3	67.1	75.1	35.2	35.5	35.4	73.80
15:45น.	175.99	69.7	70.1	63.2	70.5	35.3	35.5	34.3	
16:00น.	157.34	65.9	66.2	59.7	66.2	35.4	35.6	33.9	
								Total	73.80
								เหลือ	39926.2

ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 2 ปริมาณสารเริ่มต้น 39.9262 ลิตร วันที่ 16 เมษายน 2561

Time	I_t (W/m ²)	T_{p_1} (°C)	T_{p_2} (°C)	T_{p_3} (°C)	T_{p_4} (°C)	T_{f_i} (°C)	T_{f_o} (°C)	T_a (°C)	m_d (ml)
8:30น.	282.05	34.6	34.4	34.6	34.6	29.3	29.4	30.3	
8:45น.	341.49	35.9	36.8	37.8	38.9	29.9	30.1	32.3	
9:00น.	405.59	39.7	37.8	38	40.8	30.5	30.7	33.7	
9:15น.	458.04	43	40.7	42	41.5	31	31.3	34.5	
9:30น.	420.74	48.3	46.1	45.8	46.5	31.6	31.8	34.3	
9:45น.	508.15	52.8	50.2	49.7	50.6	31.6	31.8	35.2	
10:00น.	501.16	56.4	54	53	54.6	31.8	32	35.9	
10:15น.	582.75	60.6	58.2	56.7	58.9	32.2	32.3	36.5	
10:30น.	673.65	65.2	62.5	61	63.4	31.8	32	38.6	
10:45น.	695.80	69.5	66.9	65.1	68.4	32	32.2	38.5	
11:00น.	712.12	73.3	70.9	68.5	72.7	32.3	32.3	39.3	
11:15น.	655.01	75.4	73.7	70.8	75.6	32.7	32.7	39.1	
11:30น.	706.29	77.7	76.2	72.9	78.5	33.2	33.2	39.4	
11:45น.	740.09	80.3	78.7	75.8	81.3	33.1	33.1	41.2	
12:00น.	720.27	82.4	81.1	77.4	83.7	32.9	32.9	41.8	
12:15น.	728.43	84.2	83.2	79	85.7	33.6	33.5	41.7	
12:30น.	689.97	85.1	84.5	79.5	87.2	34.2	34.3	41.1	
12:45น.	684.14	85.8	85.4	80.7	87.9	33.9	34.1	42.2	
13:00น.	671.32	86.7	86.4	80.9	89.3	34.8	35	40.8	
13:15น.	696.96	87.5	87.1	81.7	89.5	35.1	35	42.2	
13:30น.	694.63	87.8	87.7	82	89.3	35.2	35.2	42.4	
13:45น.	672.49	87.2	87.4	80.9	88.1	34.1	34.1	41.4	
14:00น.	623.54	88.1	88.1	81.2	88.7	35.4	35.3	41.7	
14:15น.	573.42	88.2	88.5	81.7	89.6	36.6	36.9	41.1	
14:30น.	470.86	86.6	87.2	80.3	88.1	36.6	36.8	40.5	
14:45น.	470.86	85.2	85.7	79.1	86.6	36.9	37	40.2	
15:00น.	425.40	83.6	84.2	77.7	85.4	37.1	37.1	39.5	
15:15น.	395.10	82.1	82.7	76.1	83.7	37.3	37.5	39.7	
15:30น.	363.63	79.9	80.8	74.4	81.9	37.7	37.8	38.7	70.06
15:45น.	304.19	77.6	78.6	72.6	79.5	37.7	38	38.4	
16:00น.	264.56	75	76.2	70.7	77.2	38	38.2	38.4	
								Total	70.06
								เหลือ	39856.14

ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 3 ปริมาณสารเริ่มต้น 39856.14 ลิตร วันที่ 17 เมษายน 2561

Time	I_t (W/m ²)	T_{p_1} (°C)	T_{p_2} (°C)	T_{p_3} (°C)	T_{p_4} (°C)	T_{f_i} (°C)	T_{f_o} (°C)	T_a (°C)	m_d (ml)
8:30น.	311.18	28.3	27.9	28.1	29.2	31	34.2	30.6	
8:45น.	364.80	32.1	33.4	31.5	30.8	29.1	28.8	32.7	
9:00น.	421.91	35.6	37.2	36.9	38.1	30.1	29.5	33.2	
9:15น.	466.20	39.1	38.4	35.6	41.0	30.2	29.9	35.1	
9:30น.	520.97	48.6	45.4	44.2	42.5	30.7	30.3	35.2	
9:45น.	559.44	54.2	49.9	48.9	47.6	31.1	30.9	35.7	
10:00น.	603.72	58.2	54.7	53.6	52.5	31.4	31	36.8	
10:15น.	635.19	60.4	59.7	58.1	57.5	31.7	31.5	37.2	
10:30น.	666.66	62.1	64.3	62.4	62.5	31.7	31.6	38.1	
10:45น.	700.46	63.2	68.8	66.6	67.4	32	32	38.4	
11:00น.	699.30	64.3	72.9	69.3	71.5	32.7	32.8	38.4	
11:15น.	729.60	65.6	76.3	72.9	75.3	32.9	33.1	38.9	
11:30น.	755.24	66.4	79.5	75.5	79.1	33.2	33.5	39.5	
11:45น.	734.26	67.1	81.9	77.2	82	33.6	33.9	39.8	
12:00น.	719.11	69.5	83.7	79.1	84.1	34	34.8	39.3	
12:15น.	749.41	72.3	84.2	79	85	34.2	35	39.1	
12:30น.	730.76	73.3	85.8	80.7	86.7	34.6	35.8	39.4	
12:45น.	699.30	75.8	87	82.1	88.3	34.6	36.4	39.2	
13:00น.	720.27	77	88.6	83.4	89.6	34.7	36.8	37.9	
13:15น.	696.96	79	89.6	82.7	89.5	35.5	37.4	38.6	
13:30น.	667.83	80.4	90.1	83.5	89.7	35.9	37.5	38.7	
13:45น.	682.98	82.1	90.1	83.1	89.9	36.1	37.6	38.9	
14:00น.	670.16	84.7	90.2	82.6	89.8	36.4	38.5	37.8	
14:15น.	595.57	88.2	90	81.9	89.6	37.3	39.1	36.7	
14:30น.	620.04	89.1	89.7	81.9	89.6	37.4	39.5	36.2	
14:45น.	588.57	90.5	89.6	82.6	89.7	37.8	39.5	36.6	
15:00น.	540.77	87.3	89.1	81.6	89.2	37.7	39.7	36.3	
15:15น.	435.89	86.5	87.5	80.1	88.1	38.3	40	36.8	67.77
15:30น.	405.59	84.2	85.6	78.5	86.1	39	40.4	35.6	
15:45น.	363.63	80.1	83.5	76.6	84.1	39	39.3	34.6	
16:00น.	315.85	78.8	81.2	74.2	81.2	38.5	39.1	34.1	
Total									67.77
เหลือ									39788.37

ตารางที่ ก-6 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 6 ปริมาณสารเริ่มต้น 39658.97 ลิตร วันที่ 20 พฤษภาคม 2561

Time	I_t (W/m ²)	T_{p_1} (°C)	T_{p_2} (°C)	T_{p_3} (°C)	T_{p_4} (°C)	T_{f_i} (°C)	T_{f_o} (°C)	T_a (°C)	m_d (ml)
8:30น.	200.4662	32.6	32.1	31.2	31.6	27.8	27.5	31.4	
8:45น.	171.3287	35.9	34.7	32.9	32.2	27.7	27.4	29.5	
9:00น.	115.3846	39.6	37.5	35.2	33.6	27.7	27.5	28.7	
9:15น.	398.6014	43.3	40.4	37.3	35.2	27.5	27.5	33.1	
9:30น.	466.2005	47.9	44.2	41.1	38.3	27.5	27.7	32.4	
9:45น.	526.8065	52.6	48.7	46.2	43.4	27.9	27.8	36.8	
10:00น.	569.9301	56.7	52.6	50.4	48.1	28.3	28.2	36.8	
10:15น.	650.3497	61.2	56.6	52.9	53.4	28.6	28.5	40.9	
10:30น.	703.9627	65.7	60.9	57.5	59	29.1	29.1	38.1	
10:45น.	745.9207	69.9	65.1	61.5	64.3	29.5	29.5	40.8	
11:00น.	787.8788	73.4	68.8	65.5	68.9	29.7	29.7	42.4	
11:15น.	822.8438	77	72.3	77	73.3	30.1	30.2	39.6	
11:30น.	856.6434	80.1	75.6	80.1	77	30.6	30.7	42.4	
11:45น.	884.6154	83.3	78.9	83.3	80.4	31.1	31.2	41.7	
12:00น.	968.5315	85.4	80.8	85.4	82.4	31.4	31.4	44.2	
12:15น.	977.8555	85.9	81.8	85.9	83.4	31.9	31.8	41.7	
12:30น.	233.1002	79.3	79.2	79.3	80.8	32.1	32	34.3	
12:45น.	991.8415	85.9	81.2	85.9	82.7	32.1	32.4	36.2	
13:00น.	976.69	88.1	83.7	88.1	85.5	32.6	32.8	38.3	
13:15น.	981.352	90	85.6	90	87.4	32.8	33	37.1	
13:30น.	960.373	91.4	87.2	91.4	88.8	33.1	33.3	37.1	
13:45น.	930.0699	92.3	89.1	92.3	91.4	33.9	33.8	39.2	
14:00น.	898.6014	92.1	89.1	89.1	91.7	34	34.1	37.2	
14:15น.	867.1329	91.9	89.2	89.2	91.9	34.3	34.4	39.9	
14:30น.	808.8578	91.5	88.4	88.4	91.4	34.4	34.6	36.4	
14:45น.	716.7832	89.7	87.6	87.6	90.2	34.6	34.7	39.3	
15:00น.	715.6177	89.8	87.6	87.6	90.2	34.6	34.7	39.3	
15:15น.	601.3986	87.6	85.9	85.9	87.5	35.1	35.2	39.1	
15:30น.	551.2821	85.8	84.5	84.5	86.2	35.3	35.2	37.9	62.50
15:45น.	300.6993	77.7	80.1	80.1	81.5	37.8	37.5	37.8	
16:00น.	346.1538	76.1	76.8	76.8	77.7	36.8	36.7	38	
								Total	62.50
								เหลือ	39596.47

ตารางที่ ก-7 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 7 ปริมาณสารเริ่มต้น 39596.47 ลิตร วันที่ 21 พฤษภาคม 2561

Time	I_t (W/m ²)	T_{p_1} (°C)	T_{p_2} (°C)	T_{p_3} (°C)	T_{p_4} (°C)	T_{f_i} (°C)	T_{f_o} (°C)	T_a (°C)	m_d (ml)
8:30น.	124.7086	32	31.7	31.6	31	28.1	28.4	29	
8:45น.	116.5501	32.9	32.3	32.7	31.7	28.1	28.4	29.1	
9:00น.	270.3963	36.1	35.1	34.7	33.6	28.1	28.5	30.6	
9:15น.	164.3357	37.7	36.5	37.1	35.3	28.5	28.8	29.6	
9:30น.	393.9394	40.8	39.3	39.3	37.9	28.4	28.7	32.8	
9:45น.	206.2937	42.6	41.5	43.2	40.2	28.7	29.1	31	
10:00น.	490.676	45.9	43.6	44.5	42.1	29	29.2	31.4	
10:15น.	551.2821	48.8	46	48.1	45	28.9	29.1	31	
10:30น.	235.4312	47.6	46.3	47.3	45.3	29.3	29.6	31.4	
10:45น.	251.7483	50.7	49.5	53.6	49.1	29.3	29.6	32.3	
11:00น.	730.7692	55	51.5	51.9	50.5	29.7	29.9	35.4	
11:15น.	335.6643	54.4	52.8	56.4	52.4	29.5	29.8	33.8	
11:30น.	831.0023	59.8	55.8	58.7	54.9	29.5	29.8	39.5	
11:45น.	667.8322	60.5	57.4	60.9	57.1	29.9	30.1	37.6	
12:00น.	860.1399	64	59.9	64.9	59.5	29.8	30.1	40	
12:15น.	311.1888	62.6	61.6	66.3	61.9	30.3	30.6	34.3	
12:30น.	899.7669	71	67	74.4	67.3	30.2	30.5	36.4	
12:45น.	875.2914	73.7	69.9	76	70.4	30.4	30.6	33.8	
13:00น.	306.5268	71.6	70.9	73.6	71.7	30.9	31.3	34.3	
13:15น.	466.2005	73.9	72.6	75.5	73.2	31.5	31.7	33.7	
13:30น.	942.8904	79.5	75.5	80.4	76.4	31	31	39.6	
13:45น.	851.9814	81.6	78.2	83	79.1	31.3	31.5	38.4	
14:00น.	874.1259	84.3	80.9	86.5	82	31.7	31.9	39.5	
14:15น.	824.0093	84.5	81.6	82.8	82	32.4	32.7	42.3	
14:30น.	771.5618	83.7	80.8	83.1	80.7	32.8	33.1	40.9	
14:45น.	257.5758	78.5	79.1	78.1	78.6	33.2	33.6	37	
15:00น.	650.3497	82.7	80.3	82.4	80.2	32.9	33.3	40	
15:15น.	618.8811	82.4	80.2	81.7	80.3	33.3	33.7	34.5	57.14
15:30น.	538.4615	80.8	79.2	80	79.4	33.3	33.8	37.1	
15:45น.	482.5175	79.4	78.3	78.5	78.5	33.6	33.9	39.5	
16:00น.	434.7319	77	76.5	75.8	76.5	33.6	34.1	37.7	
								Total	57.14
								เหลือ	39539.33

ตารางที่ ก-8 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 8 ปริมาณสารเริ่มต้น 39539.33 ลิตร วันที่ 23 พฤษภาคม 2561

Time	I_t (W/m ²)	T_{p_1} (°C)	T_{p_2} (°C)	T_{p_3} (°C)	T_{p_4} (°C)	T_{f_i} (°C)	T_{f_o} (°C)	T_a (°C)	m_d (ml)
8:30น.	188.8112	33.4	33.2	32.7	32.3	28	28.5	29.2	
8:45น.	181.8182	35.9	34.9	34.3	32.4	27.9	28.4	29.6	
9:00น.	111.8881	38.9	37.1	36.2	33.9	28	28.4	28.7	
9:15น.	229.6037	42.6	40.2	38.5	36.1	28.1	28.6	30.4	
9:30น.	440.5594	46.7	44.2	41.8	39.2	28.4	28.8	29.3	
9:45น.	497.669	51.1	48.3	45.9	43	28.6	29.1	31.1	
10:00น.	544.289	55.3	52.3	50.1	46.9	28.9	29.2	31.9	
10:15น.	610.7226	59.8	56.3	54.4	52.3	29.2	29.5	31.9	
10:30น.	657.3427	63.7	60.3	58.2	57.7	29.5	29.9	32.9	
10:45น.	685.3147	67.5	63.7	61.6	62.4	29.8	30.2	33.7	
11:00น.	731.9347	70.7	67	64.7	66.6	30.1	30.4	34.9	
11:15น.	806.5268	74.9	70.8	68.5	70.9	30.5	30.8	35.6	
11:30น.	841.4918	78	74.1	71.4	74.7	30.8	31.2	34.8	
11:45น.	869.4639	81.2	77.4	74.3	78.4	31.3	31.8	34.7	
12:00น.	875.2914	83.5	79.8	76.6	81.2	31.5	31.9	37.1	
12:15น.	924.2424	86.6	82.9	79.1	84.5	32	32.4	37	
12:30น.	939.3939	87.5	84.2	80.2	86	32.2	32.6	36.5	
12:45น.	954.5455	89.8	86.8	83	88.8	32.4	32.9	39.9	
13:00น.	947.5524	89.9	87.7	83.3	90	32.6	33.3	39.6	
13:15น.	777.3893	91	88.7	83.6	90.4	33.4	33.9	38.9	
13:30น.	961.5385	92.4	90.1	84.8	91.4	33.9	34.3	36.4	
13:45น.	928.9044	94.4	92	86	92.8	34.8	35.4	36.2	
14:00น.	907.9254	95.3	92.2	86.1	92.5	34.9	35.4	35.9	
14:15น.	862.4709	95	92.3	86.1	92.6	35.2	35.7	37.5	
14:30น.	769.2308	94.4	92	85.1	92.3	35.9	36	39.1	
14:45น.	606.0606	92.6	90.8	83.7	92	37	37.1	38	
15:00น.	553.6131	90.8	89.6	82.4	90.5	37.3	37.5	37	
15:15น.	496.5035	83.5	82.4	81.6	84.2	32.2	32.9	34	48.43
15:30น.	538.4615	80.8	79.2	80	79.4	33.3	33.8	37.1	
15:45น.	409.0909	78.1	74.4	74.9	75.6	31.4	31.7	38.8	
16:00น.	287.8788	77.2	79.5	72.1	80.6	37.4	37.7	37.4	
Total									48.43
เหลือ									39490.9

ตารางที่ ก-9 ผลการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม ครั้งที่ 9 ปริมาณสารเริ่มต้น 39490.9 ลิตร วันที่ 26 พฤษภาคม 2561

Time	I_t (W/m ²)	T_{p_1} (°C)	T_{p_2} (°C)	T_{p_3} (°C)	T_{p_4} (°C)	T_{f_i} (°C)	T_{f_o} (°C)	T_a (°C)	m_d (ml)
8:30น.	200.4662	33.7	33.3	33.2	32.9	28.2	28.2	28.4	
8:45น.	118.8811	35.8	34.5	33.3	32.4	28	28.1	28.4	
9:00น.	303.0303	38.7	36.4	34.8	33.9	28.1	28.2	28.4	
9:15น.	364.8019	42.1	39.3	37.6	36	28.3	28.4	28.9	
9:30น.	412.5874	45.7	42.9	42.2	38.3	28.5	28.6	30	
9:45น.	462.704	49.5	46.4	46.5	41.3	28.7	28.8	30.8	
10:00น.	520.979	53.7	50.1	50.9	45.6	28.9	29	32.4	
10:15น.	606.0606	57.9	54	55.2	50.7	29.1	29.4	30.9	
10:30น.	550.1166	60.6	57.1	58	55	29.3	29.5	31.5	
10:45น.	700.4662	65.2	61.3	63.2	60.4	29.8	29.9	31.4	
11:00น.	744.7552	69	64.8	66.7	64.6	30.1	30.1	32.4	
11:15น.	810.0233	72.4	67.9	70.2	68.3	30.4	30.4	32.1	
11:30น.	885.7809	74.7	70.3	72.4	70.8	30.3	30.4	34.3	
11:45น.	912.5874	75.4	70.6	72.6	71.1	30.2	30.4	34.9	
12:00น.	902.0979	78.8	74	76.1	75.2	30.7	31	33.9	
12:15น.	924.2424	79	74.4	76.1	75.6	31.1	31.5	37	
12:30น.	892.7739	81.2	77.1	78.8	78.2	31.4	31.6	33.8	
12:45น.	524.4755	83.8	79.5	81.5	81.2	31.6	31.7	35.4	
13:00น.	524.4755	82	80.2	81.9	82	31.8	32	34.3	
13:15น.	958.042	87.5	83.4	85.4	85.4	32.2	32.3	35.6	
13:30น.	949.8834	88.7	85	86.6	86.7	32.4	32.5	41.8	
13:45น.	925.4079	89.5	85.7	87.1	87.7	32.6	33.2	38.5	
14:00น.	911.4219	90.7	87.3	88.7	88.6	33	33.3	42.7	
14:15น.	905.5944	91.2	87.7	88.5	88.9	33.2	33.6	38.9	
14:30น.	814.6853	89.6	86.6	86.9	88.1	33.8	34.2	39.2	
14:45น.	296.0373	80.1	79.7	78.8	80.3	33.8	34.9	32	
15:00น.	580.4196	75	76	75	76.1	34.9	35.3	33.2	
15:15น.	524.4755	82.1	81.8	71.4	84.8	36	35.6	32.9	43.17
15:30น.	461.5385	79.8	80.1	70.6	83.2	36.1	35.7	35.2	
15:45น.	463.8695	72.3	71.3	71.8	71.5	34.3	34.9	37.1	
16:00น.	427.7389	71.3	70.5	71.2	70.6	34.3	34.9	34.3	
Total									43.17
เหลือ									39447.73

ตารางที่ ก-11 อุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์แต่ละช่วงเวลาในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม

Time	T_{c1}	T_{c2}	T_{c3}	T_{c4}	T_{c5}	T_{c6}	T_{c7}	T_{c8}	T_{c9}	T_{c10}
8:30น.	32.2	32.2	28.9	27.8	31.2	32.4	34.6	31.3	31.8	28.9
8:45น.	33.7	32.6	30.2	30.4	31.8	33.6	33.8	33.1	32.5	30.2
9:00น.	35.2	35.1	31.9	33.2	34.1	34.3	35.2	38	33.6	31.9
9:15น.	37.8	40.2	36.5	49.6	37.5	36.2	41.2	44	35.7	36.5
9:30น.	40.1	45	41.5	53.2	42.1	41.9	45.8	49.9	38.6	41.5
9:45น.	43.7	49.5	45.2	56.2	47	51.3	50.1	56.2	41.4	45.2
10:00น.	48	50.1	59.1	57.1	51	56.5	57.3	63	45.8	59.1
10:15น.	49.5	54.4	67.1	58.9	55.5	61.9	63.1	69.4	47.9	67.1
10:30น.	52.9	58.3	72.5	62.5	60.4	67.4	68.5	74.4	49.5	72.5
10:45น.	57	61	75.7	67	64	73	72.3	78.7	50.9	75.7
11:00น.	61.7	60.6	78	72.8	68.8	76.9	78.5	80.7	53.3	78
11:15น.	63.2	64.4	80.1	75	76	80.9	81.8	84.8	60.7	80.1
11:30น.	69.4	71.1	81.7	74.8	85.5	83.7	86.1	89	64.1	81.7
11:45น.	71.7	72.8	84	77.5	79.3	88	89.9	92.2	64.3	84
12:00น.	76.7	76.5	87.7	82.7	82.8	87.5	92.9	94.4	66.4	87.7
12:15น.	78.9	74.4	87.6	82.3	83	88.2	92.3	94.3	83	87.6
12:30น.	83.5	71.6	88.9	79.9	87	80.9	93.6	97.6	70.8	88.9
12:45น.	84.4	72.9	90.8	82.2	89	86.3	95	98.1	73.9	90.8
13:00น.	86	75.1	93.1	80.9	91	90.2	95.7	98.4	75.8	93.1
13:15น.	81.6	76.1	93.3	80.8	91.5	91.4	94.8	99.1	79.5	93.3
13:30น.	85.1	81.3	96.5	82.7	92	91.3	93.6	99.6	82.6	96.5
13:45น.	88.1	82.3	98.1	86.3	94	89.3	92.4	99	80.8	98.1
14:00น.	88.2	80.5	92.2	88	93.9	91.3	89.6	92	81.2	92.2
14:15น.	86.8	81.9	87.4	80.7	94.4	91.1	83.9	90.5	80.2	87.4
14:30น.	86.8	82	83.3	80.3	94	89.2	83.8	88.4	75.9	83.3
14:45น.	86	81.9	80.6	76.8	91.9	88.1	85	87.9	63.6	80.6
15:00น.	83.5	79.3	78	73.7	84.2	88.1	84.8	87.1	78.3	78
15:15น.	81.2	77	77.1	78.2	73.7	82.9	83.7	83.6	74.9	77.1
15:30น.	79.7	73.8	71.8	72.7	72.2	80.7	83.2	81.2	72.6	71.8
15:45น.	68.8	79.9	65.9	72.3	76.1	79.9	80.7	78.1	56.9	65.9
16:00น.	68	78.7	61.6	72.1	78.7	72.3	78.3	7	56	61.6



ภาคผนวก ข.

แบบของระบบกลั่นเอทานอลพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคปั๊มฟองร่วมกับตัวรวม
รังสีแบบพาราโบลา

