บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO) ซื้อจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ของชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ และจากบริษัท นิว ไบโอดีเซล จำกัด อำเภอท่าฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี(FFA = 4.43-8.32%)

3.1.2 น้ำมันปาล์มรีไฟน์ (Refined Palm Oil, RBD PO) จากสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน

3.1.3 น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน (Esterified Palm Oil, EPO) จากกิจกรรมที่ 2

3.1.4 เอทานอล 99.9% (Denatured with Bitrex 10 ppm) ซื้อจากผู้ขายภายในประเทศ

3.1.5 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 95% เกรดทางการค้า (ประเทศเกาหลี)

3.1.6 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 98% เกรดทางการค้า (ประเทศไทย)

3.1.7 โซเดียมเมทอกไซด์ ($NaOCH_3$) ความเข้มข้น 30 wt.% solution in methanol, Evonik Industries, เยอรมันจำหน่ายโดย บริษัท Jebsen & Jessen Chemicals (T) Ltd. (ประเทศไทย

3.1.8 โพแทสเซียมเมทอกไซด์ ($KOCH_3$) ความเข้มข้น 32 wt.% solution in methanol, Evonik Industries, Evonik Industries, เยอรมัน จำหน่ายโดย บริษัท Jebsen & Jessen Chemicals (T) Ltd. (ประเทศไทย)

3.1.9 เมทานอล เกรดทางการค้า 99.8 wt.% จากบริษัท P-General Co., Ltd. (ประเทศไทย)

3.1.10 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดทางการค้า 98 wt.% จากบริษัท AGC Chemicals Co., Ltd. (ประเทศไทย)

3.1.11 โพแทสเซียมเอทอกไซด์ (KOC_2H_5) ความเข้มข้น 30 wt.% ในเอทานอล เกรดทางการค้าจากบริษัท S.M. Chemicals (ประเทศไทย)

3.2 กิจกรรมที่ 1 วิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันปาล์มดิบ

3.2.1 อุปกรณ์ในการดำเนินการ

- อุปกรณ์เครื่องแก้วพื้นฐาน

3.2.2 **วิธีดำเนินการวิจัย**

- วิเคราะห์กรดไขมันอิสระตามกรรมวิธี AOAC method Ca 5a-40
- วิเคราะห์ปริมาณน้ำตามกรรมวิธี EN ISO 12937
- วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสตามกรรมวิธี ASTM D 4961

3.3 **กิจกรรมที่** 2 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเอทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการเอสเตอริฟิเคชันแบบแบทช์

3.3.1 **อุปกรณ์ในการดำเนินการ**

- อุปกรณ์เครื่องแก้วพื้นฐาน
- Screw cap Bottle ขนาด 500, 1,000 ml
- Hot Plate Stirrer
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

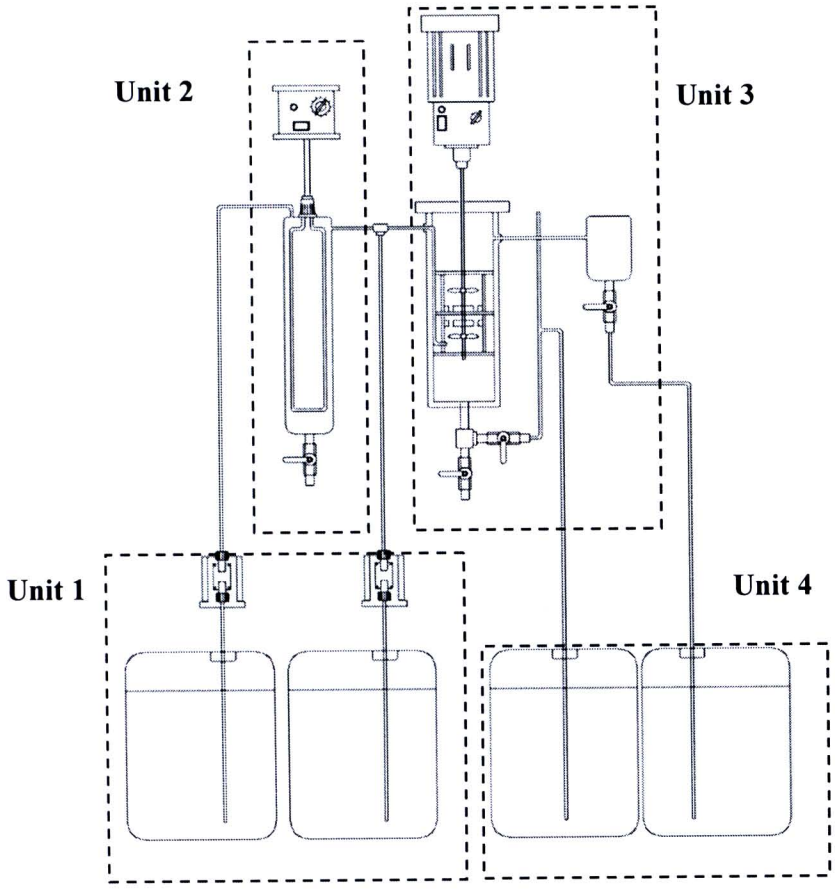
3.3.2 **วิธีดำเนินการวิจัย**

- ให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบจนมีอุณหภูมิที่ต้องการในขวด screw cap ซึ่งวางไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เติมเอทานอลซึ่งละลายตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกในปริมาณที่กำหนดไว้ปิดฝาขวด screw cap เปิดเครื่องกวนแม่เหล็ก ทำการทดลองตามเวลาที่กำหนด นำผลผลิตมาล้างด้วยน้ำหลายครั้ง ระเหยน้ำออกแล้ววิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ

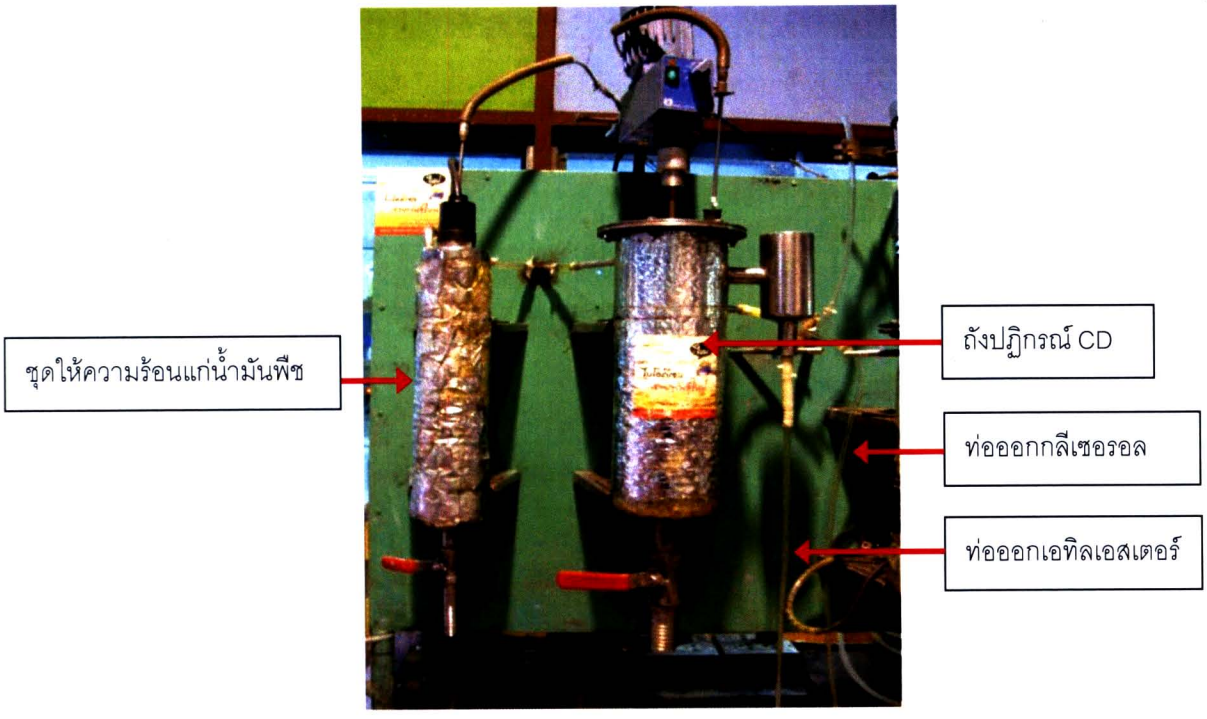
3.4 **กิจกรรมที่** 3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันที่สภาวะเหมาะสม (ตามกิจกรรมที่ 2) โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

3.4.1 **อุปกรณ์ในการดำเนินการ**

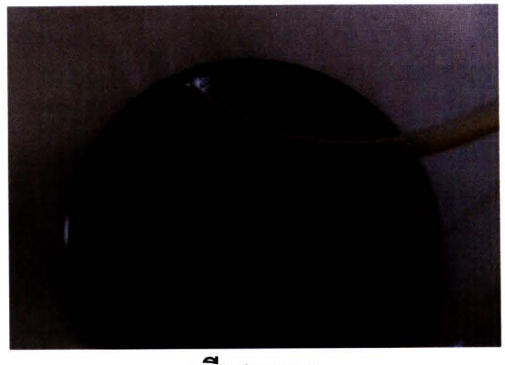
ชุดผลิตเอทิลเอสเตอร์แบบ CD (continuous deglycerolization) process ประกอบด้วยหน่วยย่อยต่างๆ ดังแสดงในภาพ 3.1 และ 3.2



ภาพ 3.1 แสดงส่วนประกอบของชุดผลิตเอทิลเอสเตอร์แบบ CD process



เอทิลเอสเตอร์



กลีเซอรอล

ภาพ 3.2 ชุดผลิตเอทิลเอสเตอร์แบบ CD process

Unit 1 หน่วยเก็บและป้อนวัตถุดิบและสารเคมี

Unit 2 ชุดให้ความร้อนแก่น้ำมันพืช

Unit 3 ถังปฏิกรณ์ทรงสูงซึ่งถูกออกแบบให้เสมือนมีหน่วยสมดุล 2 หน่วย ภายในแบ่งออกเป็นโซนกวนผสม (mixing zone) และโซนสงบ (calming zone) เพื่อให้เกิดการแยกออกของกลีเซอรอล ซึ่งจะไหลสู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์จากคุณสมบัติความหนาแน่นที่สูงกว่า การไหลออกของเอทิลเอสเตอร์และกลีเซอรอลออกแบบให้ใช้หลักการของดุลความดันของของไหล

Unit 4 หน่วยเก็บผลผลิตได้แก่ เอทิลเอสเตอร์และกลีเซอรอล

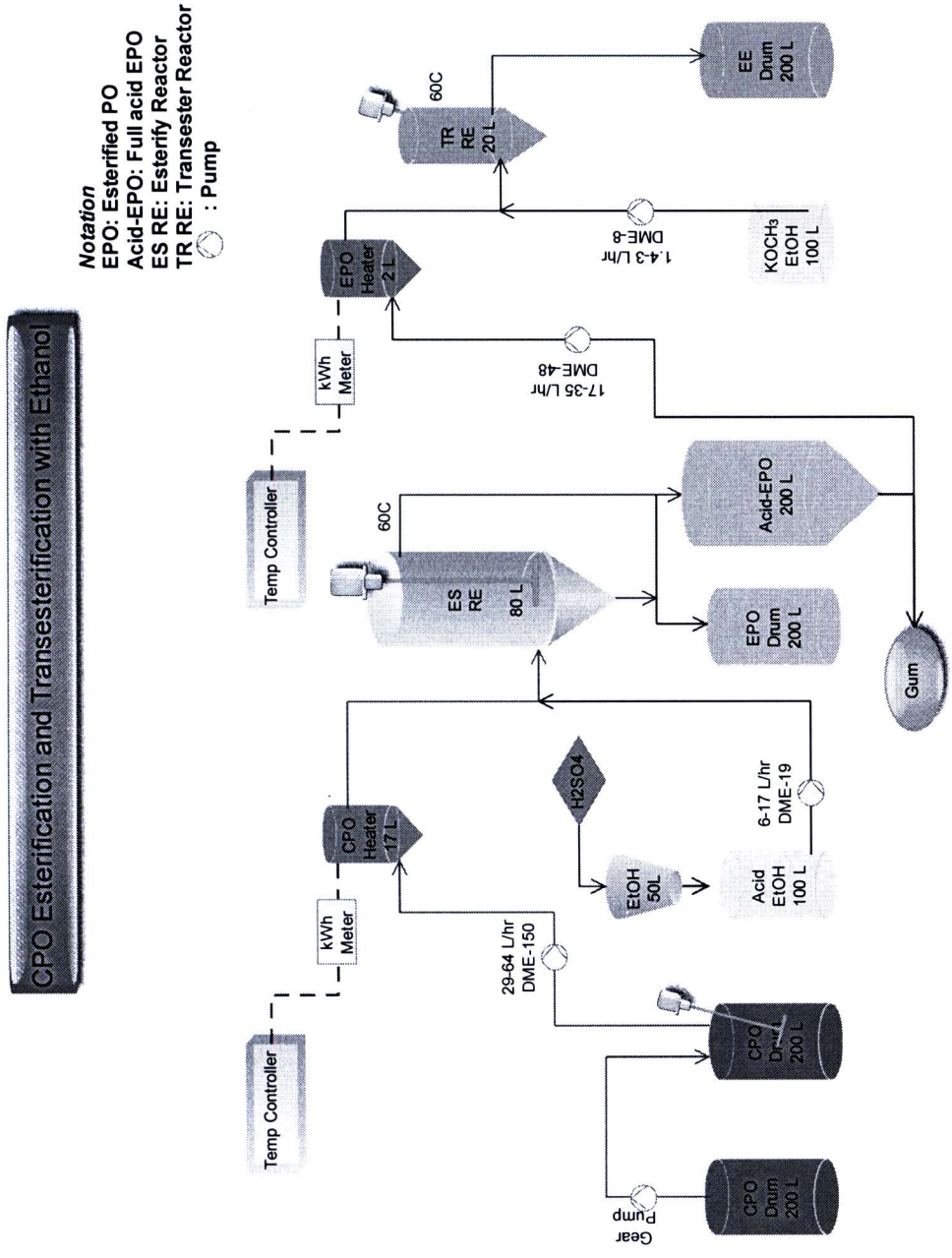
3.4.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การทำงานของชุดผลิตเอทิลเอสเตอร์แบบ CD process เริ่มจากป้อนน้ำมันวัตถุดิบ โดยใช้ปั๊มส่งเข้าสู่ชุดให้ความร้อน น้ำมันร้อนจะถูกผสมกับสารเคมีได้แก่สารละลาย $KOCH_3$ ในเอทานอล ในสัดส่วนต่างๆ ที่ต้องการศึกษา แล้วจึงป้อนเข้าถังปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เมื่อครบกำหนดเวลาที่ต้องการ กลีเซอรอลจะถูกแยกออกมาสู่ถังเก็บกลีเซอรอล และเอทิลเอสเตอร์จะไหลล้นออกจากถังปฏิกรณ์เข้าสู่ถังเก็บเอทิลเอสเตอร์ ตามหลักการของดุลความดันของของไหล เอทิลเอสเตอร์ที่ได้จากชุดผลิตนี้จะต้องเข้าสู่กระบวนการแยกคืนเอทานอล และทำความสะอาดก่อนนำไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ และสมบัติทางเชื้อเพลิงอื่นๆ

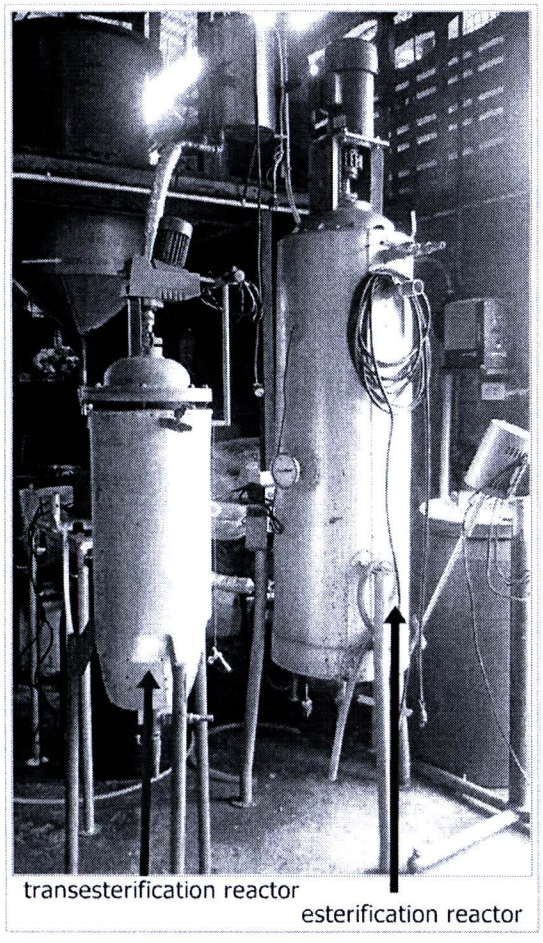
3.5 กิจกรรมที่ 4 ศึกษาการผลิตเอทิลเอสเตอร์แบบต่อเนื่องของกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันและทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

3.5.1 อุปกรณ์ดำเนินการ

ภาพ 3.3 แสดงการจัดวางเครื่องมือสำหรับกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันและทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน แบบต่อเนื่อง



ภาพ 3.3 Schematic diagram ของ กระบวนการเอสเตอริฟิเคชั่นและทรานส์เอสเตอริฟิเคชั่น ขนาด 500 ลิตรต่อวัน



ภาพ 3.4 แสดงถังปฏิกรณ์เอสเตอริฟิเคชันและทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ขนาด 500 ลิตร/วัน

รายละเอียดอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

- ถังกวนต่อเนื่อง (continuous stirred-tank reactor: CSTR) สำหรับกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันแบบต่อเนื่อง (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก) วัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 87.4 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 310 มม. ความสูง 1200 มม. พร้อม baffle และใบพัด 3 ชั้น มีมอเตอร์กวน ที่สามารถปรับรอบด้วย inverter ได้ (การกวนใช้ความเร็ว 700 รอบต่อนาที) มีมาตรวัดอุณหภูมิที่ระดับกลางถังด้วย

- ถังกวนต่อเนื่อง สำหรับกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแบบต่อเนื่อง (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก) วัสดุเป็นเหล็กกล้า ขนาด 16 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 200 มม. ความสูง 600 มม. พร้อม baffle และใบพัด 3 ชั้น มีมอเตอร์กวน ที่สามารถปรับรอบได้ (การกวนใช้ความเร็ว 500 รอบต่อนาที)

- ถังอุ่นร้อนสำหรับน้ำมันปาล์มดิบ (CPO Heater Tank) วัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 17 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 300 มม. ความสูง 400 มม. ใช้สำหรับอุ่นร้อนน้ำมันปาล์มดิบ

- ถังอุ่นร้อน สำหรับน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ (EPO Heater Tank) วัสดุเป็นเหล็กกล้า ขนาด 2 ลิตรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 120 มม. ความสูง 300 มม.ใช้สำหรับอุ่นร้อน EPO ก่อนเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

- ปั๊มเติมสารเคมีแบบดิจิตอล ได้แก่ DME-150, 150 L/hr Max. (ใช้น้ำมันปาล์มดิบเข้าสู่ถังอุ่นร้อนสำหรับน้ำมันปาล์มดิบ) DME-48, 48 L/hr Max. (ใช้ปั๊มน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ เข้าสู่ถังอุ่นร้อนสำหรับน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์) DME-19, 19 L/hr Max. (ใช้ปั๊มเอทานอลผสมกรดเข้าสู่ถังปฏิกรณ์เอสเตอร์) DME-8, 8 L/hr Max. (ใช้โพแทสเซียมเมทอกไซด์ เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทรานส์เอสเตอร์)

- เกียร์ปั๊ม ใช้สำหรับปั๊มน้ำมันปาล์มดิบจากถังน้ำมัน 200 ลิตร ไปยังถังป้อนน้ำมันปาล์มดิบ

- ถังป้อนน้ำมันปาล์มดิบ ขนาด 200 ลิตร วัสดุเป็นพอลิเอทีลีน

- ถังผสมกรดและเอทานอล และถังผสมโพแทสเซียมเมทอกไซด์กับเอทานอล ขนาด 100 ลิตร วัสดุเป็นพอลิเอทีลีน

- ถังรับน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ เป็นถังก้นกรวย ขนาด 200 ลิตร วัสดุเป็นพอลิเอทีลีน

- ถังรับเอทิลเอสเตอร์ ขนาด 100 ลิตร วัสดุเป็นโพลีเอทีลีน

- Watt Hour Meter, Type PL 10053 ใช้สำหรับวัด kWh ของ Heater ในถังอุ่นร้อน

- เทอร์โมมิเตอร์ ชนิดหลอดแก้วบรรจุปรอท ใช้วัดอุณหภูมิของกระแสออกจากถังปฏิกรณ์

3.5.2 วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการเอสเตอริฟิเคชันแบบต่อเนื่องขนาด 500 ลิตร/วัน

การทดลองสำหรับกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันแบบต่อเนื่อง ได้ออกแบบโดยใช้วิธีของ Taguchi โดยกำหนดตัวแปร (factor) 3 ตัว คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (Cat) อัตราส่วนของเอทานอลต่อกรดไขมันอิสระ (MR) และเวลาเก็บกัก (RT) ทำการทดลองเป็น 2 ระดับ (level) สรุปไว้ในตารางข้างล่างนี้

ตาราง 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองที่ออกแบบโดยใช้วิธี Taguchi

Factors	Descriptions	Level 1	Level 2
Cat	: % H_2SO_4 by wt of FFA	30	60
MR	: Molar ratio of ethanol: FFA	20	30
RT	: Retention time in hour	0.5	1

จากตัวแปรและระดับที่เลือกใช้ ก็จะได้ orthogonal array ดังตารางข้างล่าง

ตาราง 3.2 orthogonal array

	Factors		
Run No.	Cat	MR	RT
1	30	20	0.5
2	30	30	1
3	60	20	1
4	60	30	0.5

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ขั้นตอนในการทดลองกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน มีดังนี้

1. จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ตามแผนผังการทำงาน (ภาพ 3.3)
2. คำนวณปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ เอทานอลและกรดซัลฟิวริกที่ต้องใช้ตาม orthogonal array
3. เตรียมของผสมระหว่างเอทานอลและกรดซัลฟิวริก โดยกวนผสมกันในถังผสม
4. ปั๊มน้ำมันปาล์มดิบจนเต็มถังอุ่นร้อนสำหรับน้ำมันปาล์มดิบแล้วจึงหยุดปั๊ม
5. เริ่มให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบใน Heater tank จนมีอุณหภูมิ ประมาณ 75°C
6. เริ่มปั๊มน้ำมันปาล์มดิบและสารละลายกรดในเอทานอลพร้อมกัน น้ำมันปาล์มดิบจะไหลผ่านถังอุ่นร้อน เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ส่วนเอทานอลผสมกรด จะไหลเข้าสู่ถังปฏิกรณ์โดยตรง ตามอัตราการไหลที่คำนวณไว้
7. เปิดมอเตอร์กวนเมื่อของผสมในถังปฏิกรณ์ ได้ปริมาตรประมาณ หนึ่งในสามของถัง
8. บันทึกอุณหภูมิที่ถังปฏิกรณ์ที่ช่วงเวลาต่างๆ
9. เก็บตัวอย่างของผสมที่ไหลออกจากถังปฏิกรณ์ ตามช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ
10. เมื่อทดลองจนครบตามเวลาที่กำหนด หยุดปั๊มน้ำมันปาล์มดิบและเอทานอลผสมกรด หยุดให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบ และบันทึกพลังงานที่ใช้ในหน่วย kWh จาก Watt Hour Meter

ขั้นตอนในการทดลองกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน มีดังนี้

1. จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ตามแผนผังการทำงาน (ภาพ 3.3)
2. คำนวณปริมาณน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ เอทานอลและโพแทสเซียมเมทอกไซด์ที่ต้องใช้ตามเวลากักเก็บ (retention time)
3. เตรียมของผสมระหว่างเอทานอลและโพแทสเซียมเมทอกไซด์โดยกวนผสมกันในถังผสม

4. ปั๊มน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ จนเต็มถังอุ่นร้อนสำหรับน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์แล้วจึงหยุดปั๊ม

5. เริ่มให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ในถังอุ่นร้อนจนมีอุณหภูมิ ประมาณ 70°C

6. เริ่มปั๊มน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ และสารละลายโพแทสเซียมเมทอกไซด์ในเอทานอลพร้อมกัน

7. เปิดมอเตอร์กวนเมื่อของผสมในถังปฏิกรณ์ ได้ปริมาตรประมาณ หนึ่งในสามของถัง

8. บันทึกอุณหภูมิของๆ เหลวที่ไหลออกจากถังปฏิกรณ์ที่ช่วงเวลาต่างๆ

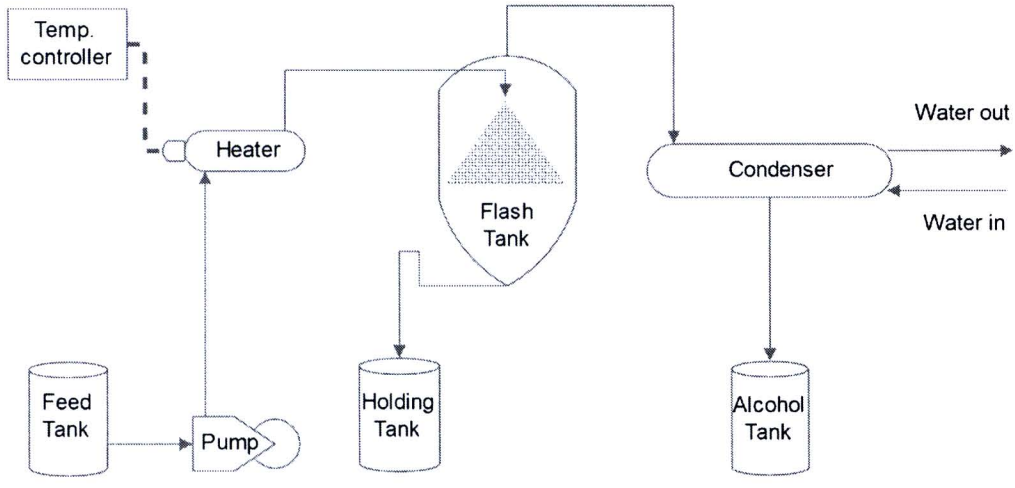
9. เก็บตัวอย่างของผสมที่ไหลออกจากถังปฏิกรณ์ ตามช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณ ด่างที่เหลือ สบู่ กรดไขมันอิสระ และเอทิลเอสเตอร์

10. เมื่อทดลองจนครบตามเวลาที่กำหนด หยุดปั๊มน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ และเอทานอลผสมโพแทสเซียมเมทอกไซด์ หยุดให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ และบันทึกพลังงานที่ใช้ในหน่วย kWh จาก Watt Hour Meter

3.6 **กิจกรรมที่** 5 การแยกคืนแอลกอฮอล์และการล้างไบโอดีเซล

3.6.1 การระเหยแอลกอฮอล์โดยใช้ระบบ flash evaporation

3.6.1.1 อุปกรณ์ในการดำเนินการ

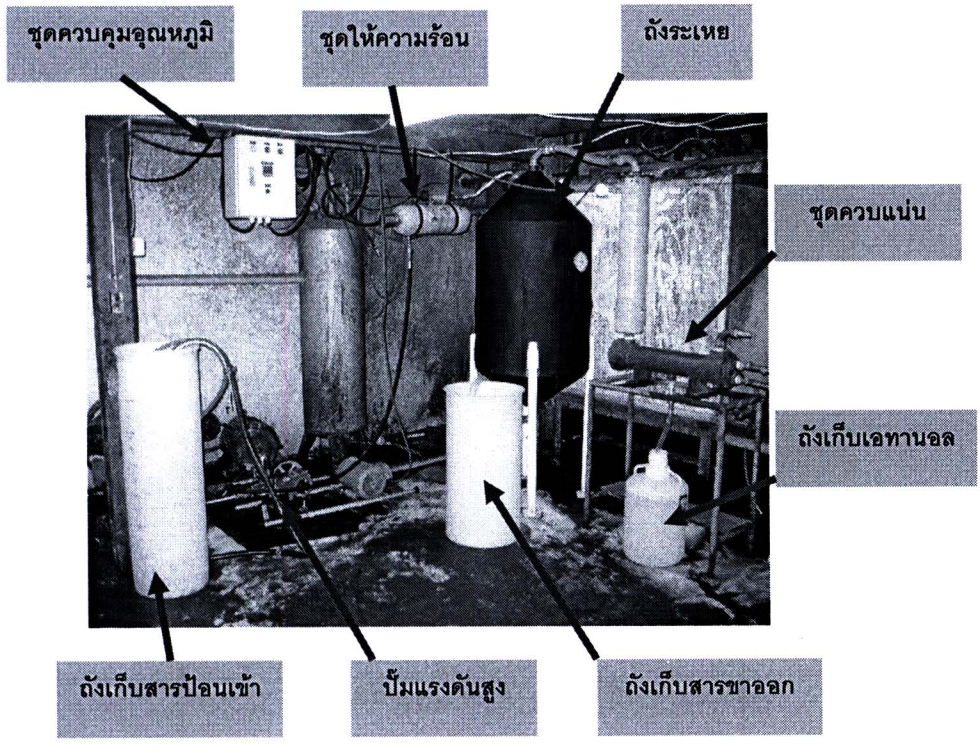


ภาพ 3.5 แผนผังการทำงานของชุดระเหยแอลกอฮอล์โดยใช้ระบบ flash evaporation

รายละเอียดอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

- ถังเก็บสารป้อนเข้าขนาด 80 ลิตร ทำด้วยวัสดุพอลิเอทิลีน

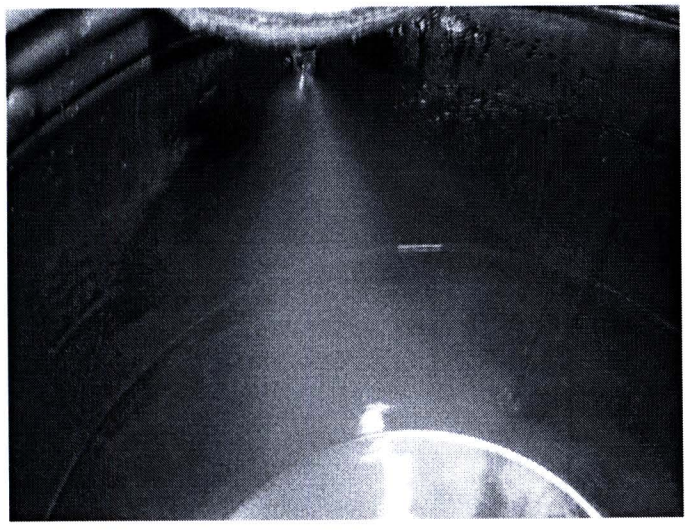
- ปั๊มแรงดันสูง และมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า (HP) ปั๊มแรงดันสูงสามารถทำความดันได้สูงสุด 35 บาร์ และมีอัตราการไหลในช่วง 10-15 ลิตรต่อนาที
- ชุดให้ความร้อนพร้อมตู้ควบคุม ทำด้วยท่อเหล็กที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร มีฮีตเตอร์ขนาด 6000 วัตต์ (W) อยู่ภายในใช้ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส และติดตั้งมาตรวัดความดัน
- ถังระเหย ทำด้วยเหล็กมีขนาด 300 ลิตร ติดตั้งหัวพ่น (nozzle) มาตรวัดอุณหภูมิและมาตรวัดความดัน ซึ่งหัวพ่นสามารถถอดเปลี่ยนได้เพื่อให้ได้ขนาดของละอองที่ต้องการ สำหรับการทดลองระเหยเอทานอลใช้หัวพ่นที่มีช่องเปิด 0.4 มิลลิลิตร และให้ละอองฝอยมีขนาด 65 ไมครอน
- ชุดควบแน่นประกอบด้วยเครื่องควบแน่น (คอนเดนเซอร์) ทำด้วยวัสดุเหล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ส่วนท่อควบแน่นทำด้วยทองแดง หนา 1.2 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 36 ท่อ ความยาวท่อควบแน่นเท่ากับ 120 เซนติเมตร คิดเป็นพื้นที่ผิวเท่ากับ 0.81 ตารางเมตร



ภาพ 3.6 ชุดระเหยแอลกอฮอล์โดยใช้ระบบ flash evaporation

3.6.1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

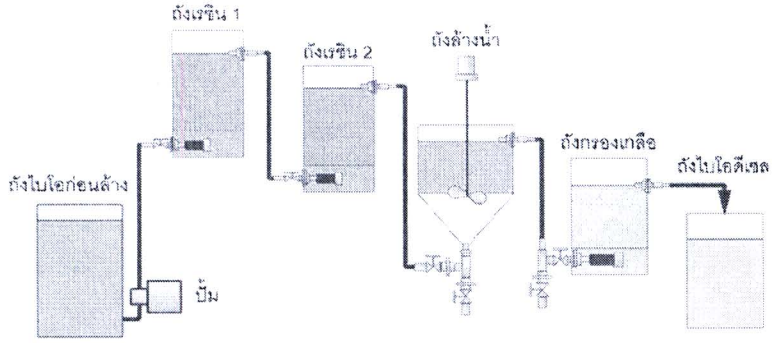
ทำการทดลองโดยใช้ไบโอดีเซลหลังทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน(ไบโอดีเซลดิบ) หรือกลีเซอรอลที่แยกได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน(กลีเซอรอลดิบ) โดยที่ไบโอดีเซลดิบและกลีเซอรอลดิบมีปริมาณเอทานอลผสมอยู่เท่ากับ 34.00% และ 16.22% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ นำไบโอดีเซลดิบและกลีเซอรอลดิบไประเหยเอทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในชุดระเหยแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่องโดยใช้ระบบ flash evaporation รายละเอียดดังภาพ 3.5 และ 3.6 ซึ่งสารป้อนเข้าจะถูกอัดให้มีความดันสูงด้วยปั๊มแรงดันสูง ก่อนที่จะผ่านเข้าชุดให้ความร้อนขนาด 6000 วัตต์ (W) และผ่านหัวฉีด เพื่อพ่นเป็นละอองให้เอทานอลระเหยกลายเป็นไอในถังระเหย (flash tank) ไอของเอทานอลจะไหลเข้าไปควบแน่นที่ชุดควบแน่นเป็นของเหลว แล้วไหลเข้าสู่ถังเก็บเอทานอล ในขณะเดียวกันสารป้อนเข้าที่ผ่านการระเหย เอทานอลแล้วจะไหลลงมาด้านล่างของถังระเหย จนถึงระดับไหลล้น ก็จะไหลออกจากถังระเหยผ่านทางท่อที่ยกสูง เข้าสู่ถังเก็บสารขาออก สำหรับการทดลองนี้ได้ทดลองที่ความดัน 30 บาร์ และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ชุดให้ความร้อนเป็น 120, 140, 160, 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณเอทานอลที่ควบแน่นออกมา และวัดเปอร์เซนต์ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ได้จากการควบแน่น



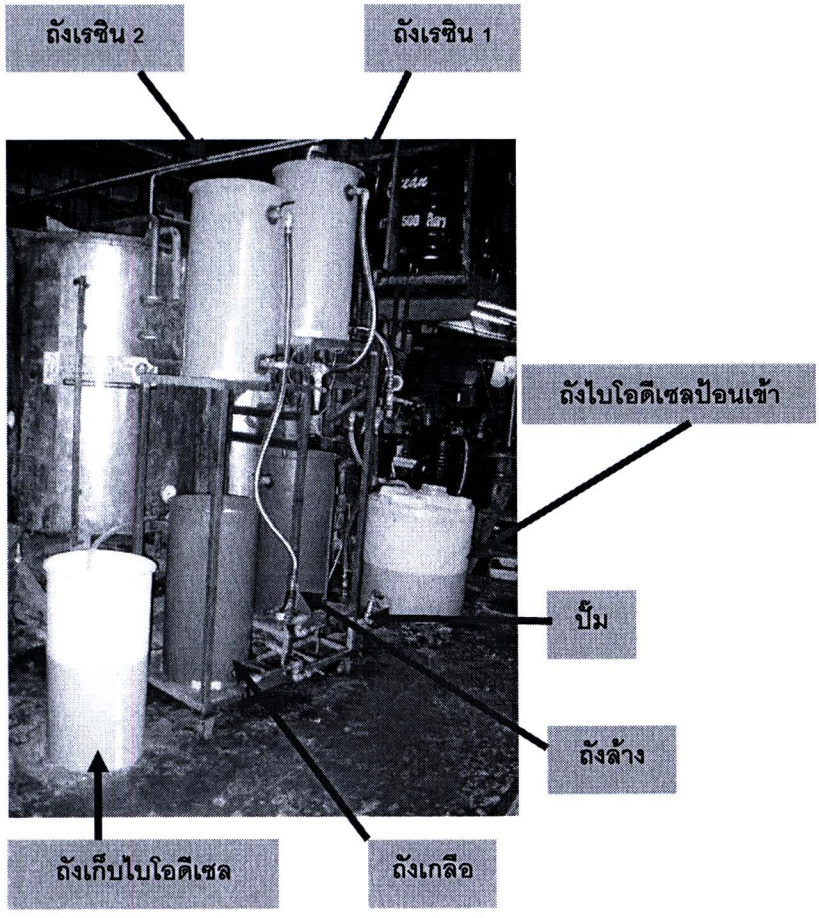
ภาพ 3.7 ลักษณะของละอองเมื่อผ่านหัวฉีด

3.6.2 กระบวนการล้างไบโอดีเซลโดยกระบวนการล้างด้วยน้ำร่วมกับสารดูดซับระบบต่อเนื่อง

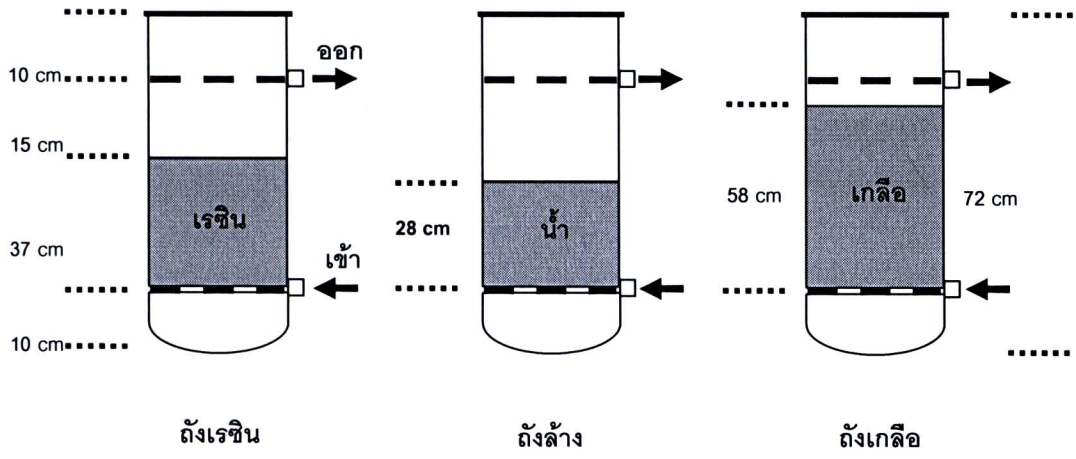
3.6.2.1 อุปกรณ์ในการดำเนินการ



ภาพ 3.8 แผนผังกระบวนการทำงานของชุดกระบวนการล้างด้วยน้ำร่วมกับสารดูดซับระบบต่อเนื่อง



ภาพ 3.9 ชุดกระบวนการล้างไบโอดีเซลโดยกระบวนการล้างด้วยน้ำร่วมกับสารดูดซับระบบต่อเนื่อง



ภาพ 3.10 รายละเอียดของถังเรซิน ถังล้างและถังเกลือ

3.6.2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการทดลองโดยใช้ไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกคืนเอทานอลจากการระเหยแอลกอฮอล์โดยใช้ระบบ flash evaporation และป้อนไบโอดีเซลเข้าสู่ชุดกระบวนการล้างด้วยน้ำร่วมกับสารดูดซับด้วยอัตราการไหล 50 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งชาคริตและคณะ (2554) ได้ออกแบบไว้ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- ถังเรซิน เพื่อดูดซับสบู่ จำนวน 2 ถังทำด้วยวัสดุพอลิเมอร์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 เซนติเมตร สูง 72 เซนติเมตร และบรรจุเรซินปริมาณ 30 กิโลกรัม ในถัง ซึ่งต้องการอัตราส่วนของความกว้างต่อความสูงของเบด เท่ากับ 1: 1 (ความสูงของเรซินในถังประมาณ 37 เซนติเมตร) แสดงดังภาพ 3.10

- ถังล้าง เพื่อชะล้างสบู่ที่เหลือ จำนวน 1 ถังทำด้วยวัสดุพอลิเมอร์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 เซนติเมตร สูง 72 เซนติเมตร และบรรจุน้ำปริมาณ 30 ลิตร ในถัง (ความสูงของน้ำในถังเท่ากับ 28 เซนติเมตร) แสดงดังภาพ 3.10

- ถังเกลือ เพื่อดูดซับน้ำ จำนวน 1 ถังทำด้วยวัสดุพอลิเมอร์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 เซนติเมตร สูง 72 เซนติเมตร บรรจุเกลือเม็ดปริมาณ 50 กิโลกรัม (ความสูงของเกลือในถังเท่ากับ 58 เซนติเมตร) แสดงดังภาพ 3.10

หลังจากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลที่ผ่านการล้าง หาปริมาณสบู่ที่จุดต่างๆ และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการทำงานของชุดกระบวนการล้างไบโอดีเซลโดยกระบวนการล้างด้วยน้ำร่วมกับสารดูดซับระบบต่อเนื่อง

3.7 กิจกรรมที่ 6 ศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเอทิลเอสเตอร์ที่ผลิตได้ตามมาตรฐานของกรมมาตรฐานพลังงาน

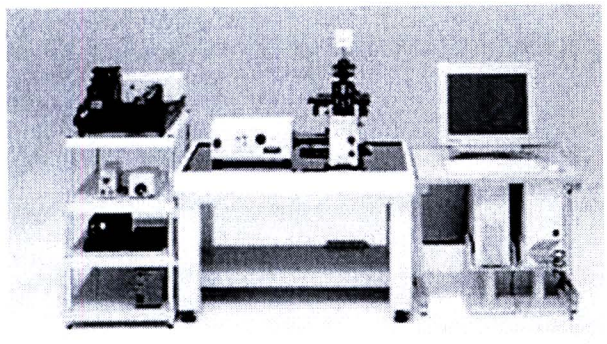
ส่งไบโอดีเซลที่ผลิตได้ตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และหน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์

3.8 การวัดวิเคราะห์

3.8.1 การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

ล้างตัวอย่างน้ำมันด้วยน้ำอุ่นเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่นกรดซัลฟิวริก ยางเหนียว และเอทานอล เป็นต้น จนน้ำล้างมีพีเอชเป็นกลาง แล้วระเหยน้ำที่อยู่ในน้ำมันออกให้หมด จึงจะนำไปไตเตรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ตามวิธี AOCS method Ca 5a-40

3.8.2 วิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของกลีเซอรอลและเอสเตอร์ด้วย confocal laser scanning microscope (CLSM)



ภาพ 3.11 ลักษณะของ Confocal laser scanning microscope ที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.8.3 วิเคราะห์ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและสบู่ตามมาตรฐาน AOCS Cc17-79

3.8.4 วิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลมาตรฐาน BS 5711

3.8.5 วิเคราะห์ปริมาณกลีเซอไรด์ทั้งหมด และปริมาณเอสเตอร์ ตามอนุสิทธิบัตรเลขที่ 5060

3.8.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ตามกรรมวิธีของ Taguchi สำหรับกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน

ค่ากรดไขมันอิสระ จะนำมาวิเคราะห์ตามแนววิธี level average analysis ของ Taguchi โดย

ใช้หลักการ smaller-the-better (Peace, 1993).

การวิเคราะห์กระทำตามลำดับดังนี้

1. หาค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลอง โดยใช้ข้อมูลที่เวลา 3 และ 4 เท่าของเวลากักเก็บมาเฉลี่ย เพราะที่เวลาดังกล่าว ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว (พิจารณาจากค่ากรดไขมันอิสระที่คงที่แล้ว) ค่าเฉลี่ยที่ได้เรียกว่า a mean response characteristic (y)

2. คำนวณ mean response characteristic สำหรับแต่ละตัวแปรและระดับ

3. คำนวณ overall experiment average (T); $T = \sum y_i/n$, เมื่อ y และ n คือ mean response characteristic และ จำนวนข้อมูลที่ใช้คำนวณ ตามลำดับ

4. สร้าง ตารางและกราฟ response โดยใช้ mean response characteristic ที่คำนวณได้

5. หาผลกระทบจากตัวแปรแต่ละตัว จากค่า Delta = Max Response -Min Response

6. เรียงลำดับนัยสำคัญของแต่ละตัวแปร โดยพิจารณาจากค่า Delta หากมีค่ามากก็แสดงว่าส่งผลต่อการลดกรดไขมันอิสระได้มาก จึงมีนัยสำคัญในลำดับต้น และพิจารณาเรียงลงมาตามลำดับ หาก Delta ของตัวแปรถัดไปมีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของตัวแปรก่อนหน้านี้ ให้ถือว่าไม่มีนัยสำคัญ สามารถตัดทิ้งได้

7. เลือกระดับเป้าหมาย (target levels) ของแต่ละตัวแปรที่มีนัยสำคัญ เพื่อใช้ทดลองในการทดลองที่ 5 คือ confirmation run

8. ตรวจสอบปฏิสัมพันธ์ (interactions) ระหว่าตัวแปรแต่ละตัว โดยการพลอตกราฟค่ากรดไขมันอิสระที่ได้มากสุดและน้อยสุด ของตัวแปรแต่ละคู่ในกราฟเดียวกัน แล้วพิจารณาว่า กราฟตัดกันหรือไม่ ถ้ากราฟไม่ตัดกัน แสดงว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรนั้นๆ แต่ถ้ากราฟตัดกัน ก็แสดงว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน (หากตัดกันเป็นมุมฉาก จะมีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมาก)

9. คำนวณค่า predicted FFA โดยใช้สมการ prediction equation (μ); เมื่อ μ = T – (Catx-T) + (Ampx-T) + (MRx-T) +... เมื่อ x เป็นระดับที่ให้ค่ากรดไขมันอิสระต่ำที่สุด และ Cat, Amp, MR,...คือตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

10. ทำการทดลอง confirmation run โดยใช้ระดับเป้าหมายที่เลือกไว้ เพื่อตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระที่จะได้ ว่ามีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณไว้จากสมการ prediction equation หรือไม่

3.8.7 การหาประสิทธิภาพเชิงพลังงาน

จากพลังงานที่ใช้ไป ซึ่งวัดได้จาก Watt hour meter ในหน่วย kWh มาเปรียบเทียบกับพลังงาน

ที่ต้องใช้ตามทฤษฎี โดยกำหนด

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (\%)} = \frac{\text{พลังงานตามทฤษฎี}}{\text{พลังงานที่ใช้ไป}} \times 100$$