

เครื่องล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบต่อเนื่อง  
สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

Continuous Bio-diesel Washing Apparatus for Continuous Reactor



RCH

TP

359

· B46

พ ๙๙๖๔

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 84551

วัน,เดือน,ปี..... 13 ต.ค. 2551

b. 11994654

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ใด ๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	i
บทคัดย่อ	ii
บทนำ	1
ความสำคัญและที่มา	1
คุณสมบัติ และรายละเอียดการทำงานของชิ้นงานในโครงการวิจัย	2
วัตถุประสงค์โครงการวิจัย	2
ขอบเขตของงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่ได้รับ	3
ทฤษฎี	4
ไบโอดีเซล	4
การสกัดของเหลวด้วยของเหลว	10
การทดลอง	17
การออกแบบและสร้างเครื่องล้างไบโอดีเซล	17
การทดลอง	20
ผลการทดลองและวิเคราะห์	22
การออกแบบและสร้างเครื่องล้างไบโอดีเซล	22
ผลการทดลอง	22
สรุปผลการทดลอง	27
การออกแบบและสร้างเครื่องล้างไบโอดีเซล	27
การทดลอง	27
เอกสารอ้างอิง	28

## บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืช กับแอลกอฮอล์ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง มักประกอบไปด้วยสิ่งเจือปนปริมาณมาก สิ่งเจือปนดังกล่าวได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา กรดไขมันอิสระ และ สบู่ ซึ่งทำให้น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ดังนั้นการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำหลังจากการสังเคราะห์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ในการออกแบบเครื่องล้างไบโอดีเซลนี้ได้ออกใช้คอลัมน์สกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไหลสวนทาง และเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดให้สูงขึ้นด้วยการติดตั้งเครื่องกวนแบบตะแกรงเคลื่อนตลอดความยาวของคอลัมน์ เป็นการเพิ่มสัมผัสของของเหลว คอลัมน์นี้ทำด้วยท่อแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 140 เซนติเมตรประกอบด้วยชั้นตะแกรงจำนวน 10 ชั้นขับเคลื่อนขึ้น-ลงด้วยมอเตอร์รอบเช้า ได้ทดสอบการทำงานของเครื่องโดยการป้อนน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส เข้าสู่ทางด้านบนของคอลัมน์ด้วยอัตราการที่ 1 ลิตรต่อชั่วโมง ป้อนไบโอดีเซลเข้าทางด้านล่างด้วยอัตรา 5 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง และกวนด้วยอัตราเร็ว 5 รอบต่อนาที ผลการทดลองเมื่อใช้ไบโอดีเซลสองชนิดพบว่าที่อัตราป้อน 5 ลิตรต่อชั่วโมงทำให้ลดค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณ กรดไขมันอิสระได้มากกว่าที่อัตราป้อน 10 ลิตรต่อชั่วโมงเนื่องจากเวลาการสัมผัสที่ยาวนานกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลเข้าล้างมากกว่า 1 รอบจะได้คุณภาพของน้ำมันที่ดีขึ้น

## 1. บทนำ

จากปัญหาเรื่องน้ำมันในตลาดโลกมีราคาแพงและประเทศไทยต้องเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าน้ำมัน ประกอบกับอัตราการใช้น้ำมันของประเทศไทยโดยเฉพาะน้ำมันดีเซลมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว กล่าวคือ ความต้องการน้ำมันดีเซลเป็นปริมาณ 9,928 ล้านลิตร ในปี พ.ศ. 2533 และเพิ่มเป็น 18,273 ล้านลิตร ในปี พ.ศ. 2547 จึงเป็นสาเหตุให้มีการศึกษาแหล่งเชื้อเพลิงอื่นเพื่อทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม

การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลไม่ใช่ของใหม่ มีการใช้มาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นมากมาย เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลมีความแตกต่างกันซึ่งเป็นผลให้การเผาไหม้เกิดได้ยากกว่า และไม่สามารถใช้งานได้ด้วยความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชโดยตรงกับเครื่องยนต์แบบเดิมจึงไม่เหมาะสม สามารถแก้ไขโดยใช้ไบโอดีเซล ซึ่งเป็นสารประกอบเอสเทอร์ ในต่างประเทศมีการนำน้ำมันพืชต่างๆ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันใช้แล้ว มาใช้ทดลองเดินเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับประเทศไทย ได้เคยมีงานวิจัยในเรื่องดังกล่าวมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 โดยทดลองใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อวิกฤตน้ำมันผ่านไป ความสนใจในการวิจัยค้นหา และศึกษาความเหมาะสมในการใช้พลังงานทดแทนจากน้ำมันพืชก็ลดน้อยลง รวมถึงไม่มีการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยในด้านนี้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ข้อมูลการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลของประเทศไทยจำกัด จนถึงเมื่อมีวิกฤตน้ำมันแพงอีกครั้งเมื่อกลางปี พ.ศ. 2547 ต่อเนื่องมาถึงกลางปี พ.ศ. 2548 ราคาน้ำมันดิบแพงขึ้นสูงถึง 61 ดอลลาร์สหรัฐต่อบาร์เรลและยังไม่มีแนวโน้มที่จะลดลง ทำให้มีความพยายามในการนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนกันมากขึ้น

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ในการผลิตไบโอดีเซลซึ่งเป็นปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมัน หรือไขมันจากสิ่งมีชีวิต ซึ่งรวมไปถึงน้ำมันที่ผ่านการใช้งาน หรือน้ำมันเหลือทิ้งจากครัวเรือนกับเมทานอล หรือเอทานอล โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้สารเมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) เป็นผลิตภัณฑ์หลัก และได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ โดยไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นยังมีสิ่งเจือปนอยู่ เช่น แอลกอฮอล์ สบู่ กรดไขมันอิสระ ความชื้น และสิ่งเจือปนอื่นๆ การทำให้บริสุทธิ์ทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดแบบกะ และการสกัด

แบบต่อเนื่อง ซึ่งการล้างแบบต่อเนื่องจะทำให้สามารถล้างไบโอดีเซลได้ปริมาณมากและทำได้อย่างต่อเนื่องกัน จึงช่วยลดกำลังคนในการผลิตลงได้มาก

## 1.2 คุณสมบัติ และรายละเอียดการทำงานของชิ้นงานในโครงการวิจัย

ผลิตภัณฑ์น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อแยกออกจากผลิตภัณฑ์ข้างเคียงอื่นๆ แล้ว ยังคงมีสิ่งเจือปนเหลือปะปนอยู่ เช่น แอลกอฮอล์ กลิเซอรอล และตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจทำอันตรายต่อเครื่องยนต์ได้ การกำจัดสิ่งเจือปนเหล่านี้มักใช้วิธีล้างด้วยน้ำ โดยเติมน้ำลงไปจนผสม ทิ้งไว้ให้แยกชั้นแล้วแยกชั้นน้ำออก ซึ่งต้องทำเช่นนี้ประมาณ 3 ถึง 5 ครั้ง และใช้เวลานาน การพัฒนาระบบล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบต่อเนื่องจะช่วยให้สามารถผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพได้อย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว โดยระบบจะอาศัยหลักการของการสกัด มีลักษณะเป็นคอลัมน์ที่ยอมให้ของเหลวสองวัฏภาคไหลสวนทางกัน และมีการแลกเปลี่ยนมวลของสิ่งเจือปนจากวัฏภาคหนึ่งไปยังอีกวัฏภาคหนึ่ง ด้วยหลักการของ “Like dissolve like” จะสามารถถ่ายเทมวลของสิ่งเจือปน ออกจากวัฏภาคของสารอินทรีย์เข้าสู่วัฏภาคของน้ำ ถ้าจัดอัตราการไหลและระยะเวลาที่คงอยู่ในคอลัมน์ให้เหมาะสมก็จะสามารถถ่ายเทสิ่งเจือปนในน้ำมันดีเซลชีวภาพไปสู่วัฏภาคน้ำได้หมด

## 1.3 วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อค้นคว้า-วิจัยเทคโนโลยีใหม่ สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงทดแทน
- 1.2.2 เป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องเพื่อประยุกต์ในงานด้านวิศวกรรมเคมี
- 1.2.3 พัฒนาระบบการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพแบบต่อเนื่องอย่างครบวงจร
- 1.2.4 ศึกษาและออกแบบระบบการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบต่อเนื่องเพื่อพัฒนาสู่กระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม
- 1.2.5 ศึกษาและออกแบบระบบล้างน้ำมันไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง เพื่อใช้ประกอบกับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง
- 1.2.6 ทำการทดลองบำบัดไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการใช้เครื่องสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไหลสวนทางกันอย่างต่อเนื่อง
- 1.2.7 ศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องล้างไบโอดีเซลด้วยกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลว

#### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล และหลักการแยกสิ่งเจือปน โดยใช้เครื่องสกัดแบบของเหลวด้วยของเหลว
- 1.3.2 ออกแบบและสร้างเครื่องล้างไบโอดีเซล
- 1.3.3 ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลที่มีต่อการแยกสิ่งเจือปนออกจากไบโอดีเซล โดยใช้หลักการของการถ่ายเทมวลสาร
- 1.3.3 วิเคราะห์ความเป็นกรด (acid value) ความหนืด ความตึงจำเพาะ และความเป็นกรด-เบส (pH) ในน้ำมันไบโอดีเซลก่อนล้างและหลังล้างด้วยเครื่องล้างไบโอดีเซล

#### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 เป็นการประยุกต์หน่วยปฏิบัติการทางวิศวกรรมเคมีมาใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม
- 1.4.2 เป็นผลงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการผลิตพลังงานทดแทน
- 1.4.3 เป็นนวัตกรรมสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ที่สามารถประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้

## 2. ทฤษฎี

### 2.1 ไบโอดีเซล [1]

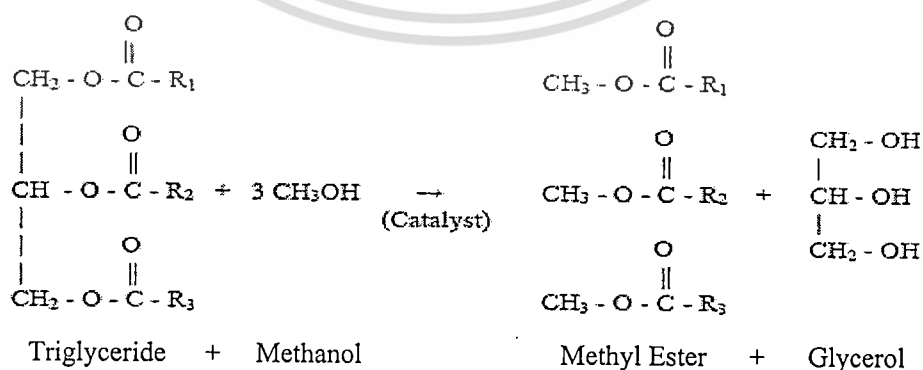
#### 2.1.1 ความหมายของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (biodiesel) หรือน้ำมันชีวภาพ หมายถึง น้ำมันที่ได้จากสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ สามารถนำมาใช้หรือทำการปรับเปลี่ยนสภาพก่อนนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียมซึ่งสามารถใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้

#### 2.1.2 วิธีการผลิตไบโอดีเซล [2]

การผลิตไบโอดีเซลมีหลายวิธี คือ

1. การผสม (Blending) เป็นการนำน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลพบว่าอัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันพืชที่ 80 : 20 ให้ผลเหมือนกรณีที่ใช้ น้ำมันดีเซล 100 % เป็นอัตราส่วนที่นิยมใช้มากที่สุด โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์
2. การทำให้เป็นไมโครอิมัลชัน (Microemulsions) เป็นกระบวนการที่ทำให้ของเหลวที่มีสารแขวนลอยกระจายตัวอยู่ เช่น การผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ ซึ่งจะมีสภาพเป็นอิมัลชันและเมื่อนำไปใช้สามารถฉีดให้เป็นฝอยได้
3. การแตกโมเลกุล (Thermal cracking or Pyrolysis) เป็นการให้ความร้อนกับน้ำมันพืช ในสถานะที่ไร้ออกซิเจนเพื่อให้ไขมันแตกตัวเป็น โมเลกุลที่เล็กลง และได้สารประกอบอื่น ๆ ด้วย
4. ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transterification or Alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาของน้ำมันหรือไขมันกับแอลกอฮอล์ได้ เอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยใช้กรด ต่าง หรือ เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

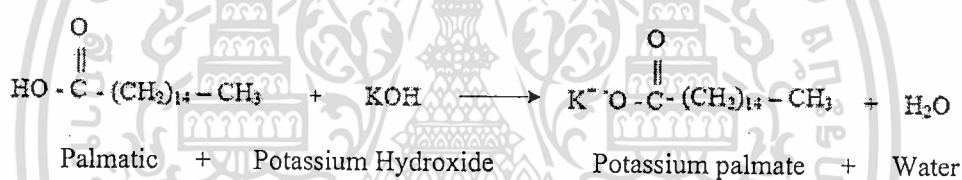
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นข้างเคียงคือปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันหรือเรียกว่าปฏิกิริยาการเกิดสบู่ ซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อใช้ด่างในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลมากเกินไปทำให้ด่างเหลือจากการทำปฏิกิริยาจึงเกิดการทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระแทนผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจึงมีสบู่รวมอยู่ด้วย ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสบู่ดังหัวข้อ 2.1.3

### 2.1.3 ปัญหาการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล [2]

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยาด่าง (NaOH, KOH) สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่

ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification) เป็นปฏิกิริยาที่ใช้เตรียมสบู่ โดยการนำเอาไขมันหรือน้ำมันมาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะได้กลีเซอรอลกับเกลือโซเดียมหรือเกลือโพแทสเซียมของกรดไขมัน ( $\text{RCOO-Na}^+$ ,  $\text{RCOO-K}^+$ ) ซึ่งก็คือ สบู่



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่

ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสบู่ นี้ จะทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้น้อยลงและสบู่ที่เกิดขึ้นจะแขวนลอยอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซล ทำให้กระบวนการล้างยุ่งยากมากขึ้น เพราะสบู่จะไปอุดตันส่วนต่างๆของเครื่อง

### 2.1.4 ข้อดีของไบโอดีเซล [3]

1. ช่วยลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ และเป็นเชื้อเพลิงราคาถูกช่วยสร้างความมั่นคงให้กับชาติ ทั้งทางพลังงาน เศรษฐกิจ และ ทางทหาร
2. ไบโอดีเซลมีการเผาไหม้ที่สะอาดกว่าเชื้อเพลิงที่ได้จากปิโตรเลียมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน ทำให้ไบโอดีเซลมีไอเสียมีคุณภาพที่ดีกว่า เพราะออกซิเจนในไบโอดีเซลให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าดีเซลปกติ จึงมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่าและเนื่องจากไบโอดีเซลไม่มีกำมะถันจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหา ซัลเฟต และทำให้รถมีเขม่าคาร์บอนน้อย ไม่ก่อให้เกิดการอุดตันของระบบไอเสีย ช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์
3. น้ำมันใช้ปรุงอาหารที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้โดยผลิตเป็นไบโอดีเซล ช่วยลดพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สามารถใช้กับเครื่องดีเซลแบบเดิม โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์และสามารถเก็บได้ในที่เก็บน้ำมันดีเซลที่มีอยู่แล้ว

5. ลดปริมาณการปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนได้ถึง 100% ทำให้ลดปัญหาของการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ได้

6. มีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซลดังตารางที่ 2.1 ในขณะที่น้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟที่ 52 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่ามีความปลอดภัยในการขนส่ง

### 2.1.5 ข้อจำกัดของไบโอดีเซล

1. ให้กำลังต่ำกว่าน้ำมันดีเซล
2. ปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ ( $\text{NO}_x$ ) ที่เกิดจากการเผาไหม้เพิ่มขึ้น
3. การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ อาจจำเป็นต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อป้องกันการเกิดไข

### 2.1.6 สมบัติของน้ำมันพืช และไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [4]

โดยทั่วไปแล้ว น้ำมันพืช และสัตว์ เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้างเป็น  $\text{C}_3\text{H}_5$  เชื่อมต่อกับกรดไขมัน ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว น้ำมันพืชและสัตว์ มีกรดไขมันชนิดต่างๆ เป็นองค์ประกอบ โดยที่มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้าง ถึงร้อยละ 94-96% ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมีและกายภาพ แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันนั้นๆที่เป็นองค์ประกอบอยู่ น้ำมันพืชส่วนใหญ่แล้วมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมัน ระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงหรือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้นค่าไอโอดีนจะสูงขึ้นตามลำดับ คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

ในมุมมองของการใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณ 83-85 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันดีเซล แต่มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลเป็น 10 เท่า ที่อุณหภูมิต่ำลง น้ำมันพืชยังมีความหนืดสูงขึ้นเป็นลำดับ จนเกิดเป็นไข เช่น น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว สำหรับน้ำมันมะพร้าว จะเริ่มเป็นไขที่อุณหภูมิ 24-26 องศาเซลเซียส และมีปริมาณไขถึง 36 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Y.H.Hui 1996) ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการป้อนเชื้อเพลิง และใช้งานในพื้นที่และบางฤดูกาล ที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นแล้ว น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวได้น้อยมาก (low volatility) ทำให้เมื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จุกระเบิดได้ช้ากว่า และมีกากรับอนุพลงเหลือหลังการเผาไหม้สูงกว่าน้ำมันดีเซล คุณสมบัติ และค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติ และองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชต่างๆ [4]

น้ำมันชนิด ดิบ	ค่า ไอโอดีน	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก						
		C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
น้ำมันปาล์ม	14-21	ND-0.5	0.5-2.0	39.3- 47.5	3.5-6.0	36.0- 44.0	9.0- 12.0	ND- 0.5
น้ำมันปาล์ม โอสติน	> 56	0.1-0.5	0.5-1.5	38.0- 43.5	3.5-5.0	39.8- 46.0	10.0- 13.5	ND- 0.6
น้ำมันเมล็ด ในปาล์ม	50-55	45-55	14-18	6.5- 10.0	1.0-3.0	12.0- 19.0	1.0-3.5	ND- 0.2
น้ำมัน มะพร้าว	6.3- 10.6	45.1- 53.2	16.8- 21.0	7.5- 10.2	2.0-4.0	5.0- 10.0	1.0-2.5	ND
น้ำมันถั่วลิสง <sup>1</sup>	86-107	ND-0.1	ND-0.1	8-14	1.0-4.5	35-67	13-43	ND-0.3
น้ำมันเมล็ด สนุดำ	101	ND	ND	14.9	6.0	41.2	37.4	ND
น้ำมันเมล็ด แรพ	94-120	ND	ND-0.2	1.5-6.0	0.5-3.1	8-60	11-23	5-13
น้ำมันถั่ว เหลือง	124- 139	ND-0.1	ND-0.2	8.0- 13.5	2.0-5.4	17.7- 28.0	49.8- 59.0	5-11

การที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมัน ฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นแล้ว น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้า และน้อยมาก (slow/low volatility) ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยาก และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีดผนังลูกสูบ แหวนและวาล์ว จากคุณสมบัติที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูง และ ระเหยตัวได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยาก เมื่อใช้น้ำมันพืชล้วนๆ โดยตรงในเครื่องยนต์ คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

น้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ <sup>21ข</sup> (กรัม/มล.)	ความหนืด <sup>21ข</sup> (เซนติพอยต์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กก.)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
ทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
มะพร้าว	0.915	51.9	37,540
ถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
เมล็ดสบู่ดำ	0.915	36.9 <sup>38ข</sup>	39,000

### 2.1.7 การทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ [5]

หลังจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและผ่านการแยกส่วนของไบโอดีเซลออกจากกลีเซอริน ไบโอดีเซลที่ได้ยังคงมีสิ่งปนเปื้อน และมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดปัญหาในการนำไบโอดีเซลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงต้องผ่านขั้นตอนที่จะทำให้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์มากขึ้น

#### ขั้นตอนย่อยของการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ มีดังนี้

1. การกำจัดเมทานอล เนื่องจากในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งอาจจะมีเมทานอลบางส่วนหลงเหลืออยู่ โดยการกำจัดเมทานอลนี้จะนำเมทานอลกลับไปใช้ใหม่หรือขจัดทิ้งไป ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่จะเลือกใช้และแนวคิดที่จะนำเมทานอลกลับมาใช้
2. การล้างไบโอดีเซลดิบ เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างและสกัดสิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลดิบออก
3. การขจัดน้ำ หลังจากการทำปฏิกิริยาและการล้างไบโอดีเซลดิบแล้ว จะมีน้ำอยู่บางส่วนในไบโอดีเซล ซึ่งต้องขจัดออกโดยการระเหย

จากขั้นตอนย่อยเหล่านี้ ขั้นตอนที่สำคัญและยุ่งยากที่สุด คือ การล้างไบโอดีเซลดิบเพราะมีสิ่งที่จะต้องคำนึงอยู่มาก การล้างไบโอดีเซลดิบจะใช้หลักการสกัดของเหลวด้วยของเหลว ซึ่งเหมาะสมกับการสกัดสิ่งปนเปื้อนและลดค่าความเป็นกรด-ด่างในไบโอดีเซล สารที่ใช้สกัดมักจะเป็นน้ำหรือน้ำผสมกรดเล็กน้อย

## 2.1.8 สิ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกเทคนิคที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซล [5]

### 1. ค่าความเป็นกรด-ด่างของไบโอดีเซล

ค่าความเป็นกรด-ด่างของไบโอดีเซล เป็นวัตถุประสงค์หลักในการล้างไบโอดีเซล เทคนิคที่จะนำมาใช้ต้องสามารถปรับความเป็นกรด-ด่างไบโอดีเซลให้ใกล้เคียงค่าความเป็นกลาง หรือมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7

### 2. การเกิดอิมัลชัน

การเกิดอิมัลชันระหว่างในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซล จะทำให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้หลังจากการสกัดลดลง และเป็นการเพิ่มสิ่งปนเปื้อน ทำให้ขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลเป็นไปได้ยาก

### 3. การกัดกร่อน

บางเทคนิคอาจจะมีข้อจำกัดในเรื่องของวัสดุที่จะนำมาใช้สร้างเป็นถังล้าง เนื่องจากไบโอดีเซลคิบนั้นจะมีสภาพเป็นด่างค่อนข้างสูง และมีลักษณะเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วซึ่งอาจจะกัดกร่อนวัสดุบางประเภทได้

### 4. เวลาที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซล

เป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกเทคนิคการล้างไบโอดีเซลอีกตัวแปรหนึ่ง โดยเฉพาะการประยุกต์ให้เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง โดยหลักการถ่ายเทมวล ซึ่งต้องพิจารณาเวลาที่น้ำสัมผัสกับไบโอดีเซลเพื่อถ่ายเทมวลไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์จากไบโอดีเซลมาสู่น้ำจนค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7

## 2.1.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [5]

นายธนวัฒน์ อุตตะมระรูป และนายธิตี เชียรพฤกษ์ ทำการศึกษาปัญหาการเกิดอิมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซลหลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับเมทานอล โดยมีไฮเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอร์ฟิเคชัน การล้างและไม่ล้างน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยา ความเร็วในการกวน (210 และ 594 รอบต่อนาที) และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างไบโอดีเซล (24 และ 60 องศาเซลเซียส) ได้วิเคราะห์หาปริมาณ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซลที่ระยะเวลา 5-300 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ปริมาณไฮเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระจะลดลง จึงทำให้เกิดอิมัลชันน้อยเนื่องมาจากสบู่ของกรดไขมันอิสระเป็นสารอิมัลชัน การล้างน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีปริมาณไฮเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระน้อยกว่าการไม่ล้าง ในการทดลองล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำพบว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ล้าง 60 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวน 210 รอบต่อนาที จะเกิดอิมัลชันน้อยกว่าที่

ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง 24 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกววน 594 รอบต่อนาที

## 2.2 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction)

การสกัดของเหลวด้วยของเหลวต้องใช้หลักการการถ่ายเทมวลสารระหว่างวัฏภาคของของเหลวสองชนิดคือของเหลวที่ต้องการสกัดและของเหลวที่ทำหน้าที่เป็นตัวสกัดเพื่อสกัดสิ่งที่ต้องการหรือสิ่งที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวที่ต้องการสกัด

### 2.2.1 การถ่ายเทมวลสาร (Mass transfer) [6]

การถ่ายเทมวลสารมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางอุตสาหกรรมหลายประเภท ตัวอย่างเช่น การกลั่น การอบแห้ง การสกัด การแยกสารมลพิษออกจากของเสีย การแพร่ของนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ตลอดจนกระบวนการชีวเคมี เช่น ในการหมัก เป็นต้น

การถ่ายเทมวลสาร หมายถึง การที่องค์ประกอบหนึ่งในของผสมเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า หรือมีผลต่างของความเข้มข้น ทั้งนี้สามารถแบ่งกลไกการถ่ายเทมวลเป็น 2 แบบ

แบบแรก คือ การถ่ายเทมวลเกิดขึ้น โดยโมเลกุลเคลื่อนที่แบบสุ่ม (random) โดยที่ตัวกลางหรือของผสมนั้นอยู่นิ่ง (stagnant) หรือมีการไหลอย่างเป็นระเบียบ (laminar flow) เรียกว่าการถ่ายเทมวลโดยการแพร่ของโมเลกุล (molecular diffusion)

แบบที่สอง คือ การพามวล (convective mass transfer) หมายถึงการถ่ายเทมวลที่เกิดจากผลต่างของความเข้มข้นภายในของไหลที่มีการเคลื่อนที่ โดยที่ของไหลนั้น สัมผัสกับอีกเฟสหนึ่ง (เช่นของแข็ง) หรือของไหลอีกชนิดหนึ่งที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ดังตัวอย่างของการไหลของอากาศผ่านที่ผิวเปียกชื้น การไหลของน้ำผ่านพื้นผิวที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดเบนโซอิก (benzoic acid) สามารถเปรียบเทียบการถ่ายเทมวลทั้งสองแบบได้กับการถ่ายเทความร้อน โดยการแพร่มีความคล้ายคลึงกับการนำความร้อน (conduction heat transfer) ส่วนการพาที่เปรียบเทียบได้กับการพาความร้อน (convective heat transfer) โดยทั่วไป การแพร่จะมีอัตราการถ่ายเทมวลที่ช้ากว่าการพา และทั้งสองกลไกอาจเกิดขึ้นได้พร้อมๆ กัน

### 2.2.2 การสกัด (Extraction) [7]

การสกัด เป็นเทคนิคการแยกสารให้บริสุทธิ์วิธีหนึ่ง โดยการเลือกตัวสกัดที่เป็นของเหลวให้เหมาะสม ถ้าใช้ของเหลวสกัดสารที่สนใจออกจากของแข็ง เรียกว่า Solid - Liquid extraction และถ้าใช้ของเหลวสกัดสารที่สนใจออกจากของเหลว เรียกว่า Liquid - liquid extraction ตัวสกัดที่ใช้ใน Liquid - liquid extraction มักเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวอย่างของเหลวที่เป็นน้ำ โดยตัวทำละลายจะละลายสารที่สนใจ (หรือตัวถูกละลาย) ออกจากชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปเข้ามาอยู่ในชั้นตัวทำละลาย ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และประหยัด นอกจากนี้เป็นวิธีที่ใช้เพิ่มความเข้มข้น (Preconcentration) ของสารที่ต้องการแยกวิธีหนึ่ง

### 2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด

1. ข้อมูลสมดุล (Equilibrium data) ขององค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสกัด
2. สัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution coefficient) คือ ค่าที่แสดงสัดส่วนการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย 2 ชนิดสัมประสิทธิ์การกระจาย ควรมีค่าสูงเพื่อให้การสกัดเกิดได้ง่าย
3. เวลาในการสัมผัสกับตัวทำละลาย ซึ่งขึ้นกับขนาดและความเร็วรอบของใบกวน (Impeller) นอกจากนี้ยังขึ้นกับขนาดของถัง
4. ประเภทของกระบวนการสกัด เช่น แบบกะ (Batch) หรือ แบบต่อเนื่อง (Continuous) และ ขั้นตอนเดียว (Single) หรือ หลายขั้นตอน (Multiple stages)
5. สภาวะสารป้อน (Feed conditions) เช่น อัตราการไหล (Flow rate) อุณหภูมิ ความดัน ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้น

### 2.2.4 เทคนิคการเลือกตัวทำละลายในการสกัด [7]

การสกัดจำเป็นต้องเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการแยก ซึ่งมีหลักการที่ควรพิจารณาในการเลือกตัวทำละลายดังต่อไปนี้

1. สารที่มีสมบัติคล้ายคลึงกันย่อมละลายในตัวทำละลายที่คล้ายกัน
2. ตัวทำละลายอินทรีย์จะละลายตัวทำละลายอินทรีย์
3. ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายสารประกอบอินทรีย์รวมทั้งเกลือของกรดและเบสอินทรีย์
4. กรดอินทรีย์ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และสามารถสกัดโดยใช้สารละลายเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตก็ได้

### 2.2.5 เทคนิคการสกัด [7]

เทคนิคการสกัดสามารถทำได้ 3 วิธีขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการกระจายของตัวถูกละลายดังนี้

#### 1. การสกัดแบบเบต (Batch extraction)

วิธีการสกัดแบบนี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ทำได้โดยเติมตัวทำละลายอินทรีย์ลงในสารละลายที่ต้องการสกัดที่บรรจุอยู่ในกรวยแยก หลังจากเขย่ากรวยแยกเป็นเวลานานพอที่ปล่อยให้ตัวทำละลายทั้งสองแยกชั้นออกจากกัน ถ้าตัวทำละลายอินทรีย์อยู่ชั้นล่าง ให้สารละลายชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากจุดปิดเปิด ถ้าการสกัดไม่สามารถแยกเอาสารออกได้หมดก็สามารถทำการสกัดซ้ำใหม่ได้อีก โดยเติมตัวทำละลายอินทรีย์ลงในกรวยแยกแล้วเขย่าและทำเช่นเดียวกันอีกหลายๆครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับการสกัดสารที่มีอัตราส่วนของการกระจายสูงทำการสกัดเพียงครั้งเดียวหรือสองครั้งก็สามารถแยกสารที่ต้องการได้เกือบหมดถ้าในการสกัดมีความจำเป็นต้องทำ Batch extraction หลายๆ ครั้ง เพื่อแยกสารที่ต้องการแยกออกมาให้ได้มากที่สุดควรทำการสกัดด้วยวิธีที่เรียกว่าการสกัดอย่างต่อเนื่อง

## 2. การสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous extraction)

เครื่องมือที่ใช้ต้องสร้างขึ้นมา 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่งสำหรับใช้กับตัวทำละลายอินทรีย์ที่เบาหรือน้ำ แบบที่สองใช้สำหรับตัวทำละลายอินทรีย์ที่หนักหรือน้ำ เทคนิคของวิธีนี้คือการผ่านตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวสกัดลงไปนในสารละลายของน้ำที่ต้องการสกัดอย่างต่อเนื่อง

เครื่องมือที่ใช้ควรออกแบบให้ขบวนการการสกัดดำเนินต่อไปเองได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องสนใจดูและใช้ตัวทำละลายที่ใช้สกัดเพียงเล็กน้อยก็เพียงพอ วิธีการที่จะทำให้ตัวทำละลายที่ใช้สกัดจำนวนน้อยได้นั้นต้องมีหน่วยสำหรับทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง เครื่องมือการสกัดอย่างต่อเนื่อง

## 3. การสกัดแบบไหลสวนทางแบบต่อเนื่อง (Counter current extraction)

ในการสกัดตัวถูกละลายออกจากสารละลายผสม ถ้าสารที่มีอยู่ในสารละลายมีค่าอัตราส่วนของการแพร่กระจายใกล้เคียงกัน การแยกโดยวิธีธรรมดาจะทำให้แยกสารที่ต้องการได้ไม่บริสุทธิ์ วิธีการแยกสารออกจากสารละลายผสมให้ได้ความบริสุทธิ์สูงต้องใช้วิธีการที่เรียกว่าการสกัดแบบไหลสวนทางแบบต่อเนื่อง เครื่องมือที่ใช้คือ Craig apparatus หลายๆ อัน แล้วแต่ว่าการสกัดนั้นต้องการทำทั้งหมดกี่ครั้งด้วย วิธีการนี้จะสามารถแยกสารสองชนิดที่มีค่าอัตราส่วนของการกระจาย (D) ใกล้เคียงกันออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ เพราะสารละลายที่มีค่าอัตราส่วนของการกระจายสูงกว่าจะกระจายไปได้เร็ว

การสกัด (Liquid-liquid Extraction หรือ Liquid extraction หรือ Solvent Extraction) เป็นการแยกการประกอบจากของเหลวโดยใช้ของเหลวเป็นตัวสกัดของเหลวในระบบจะแยกเป็น 2 เฟสของเหลว 2 เฟส จะไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถแยกจากกันได้ การแยกจะอาศัยการถ่ายโอนมวลสารจากของเหลวหนึ่งไปยังอีกของเหลวหนึ่ง การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลสารที่ต้องการแยกอาจทำได้ โดยการเติม “Salting out agent” ลงในสารตั้งต้นหรือเติม “Complexing agent” ลงในตัวทำละลายโดยทั่วไปนิยมแยกสารโดยการสกัดหากกระบวนการกลั่นเพื่อใช้ในการแยกสารที่ต้องการมีราคาแพง นอกจากนี้ หากค่าการระเหยสัมพัทธ์ของสารผสมในระบบมีค่าในช่วง 1.0 – 1.2 หรือในกรณีที่สารที่ต้องการแยกสามารถถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน เช่น สารปฏิชีวนะ การแยกโดยการสกัดจะมีความเหมาะสมมากกว่าการแยกโดยใช้กระบวนการกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.6 เครื่องสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid- Liquid Extraction) [8]

เครื่องสกัดของเหลวด้วยของเหลวทำหน้าที่สกัดสารที่ต้องการออกจากของเหลวผสมโดยใช้ตัวทำละลาย ซึ่งสารที่ต้องการสามารถละลายในตัวทำละลายได้ดีกว่าสารอื่นที่อยู่ในของเหลวผสม เครื่องสกัดของเหลวมักนิยมใช้ในการแยกสารไฮโดรคาร์บอน ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เช่น การแยกสารอะโรมาติกจากน้ำมันเตาเพื่อให้อุณหภูมิการเผาไหม้ดีขึ้น หรือการสกัดสารอะโรมาติกจากของผสมพาราฟินและเนฟเทนิค เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางอุณหภูมิกับความหนืดของน้ำมันเครื่อง หรือใช้เตรียมสารเบนซีน โทลูอินและไซลีนที่บริสุทธิ์จากรีฟอร์มท (reformats) ในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน หรือใช้เตรียมกรดอะซิติกที่ปราศจากน้ำ (anhydrous acetic acid) หรือสกัดฟีนอลจากทาร์เหลว (tar liquors) ที่ได้มากกว่าถ่านหิน หรือการทำเพนนิซิลินให้บริสุทธิ์ หรือแม้กระทั่งการทำให้ไขมัน ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

ในกรรมวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลวจำเป็นที่ว่ของเหลวที่ป้อนเข้าสู่เครื่องมือและตัวทำละลาย ต้องไม่ละลายเข้าด้วยกัน หรือถ้าจะละลายก็ละลายเข้าด้วยกันเป็นบางส่วนเท่านั้น วิธีการที่สำคัญในกระบวนการสกัดสารมีดังนี้

ก. นำของเหลวผสมที่เป็นสารป้อนมาสัมผัสกับตัวทำละลายที่เลือกให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการ

ข. ภายหลังจากการสัมผัสกันเป็นเวลาพอสมควรเฟสทั้งสองจะแยกออกจากกัน

ค. แยกหรือนำเอาตัวทำละลายที่อยู่ในแต่ละเฟสกลับมาใช้ใหม่

วิธีการข้อ ก และ ข้อ ข อาจจะรวมกันอยู่ในเครื่องมือที่เป็นหอ (column) หรือเป็นขั้นตอน (stage) หลายๆ ขั้นตอนต่อกันอย่างอนุกรม ตามแนวนอน และในแต่ละขั้นตอนจะมีการกวนเพื่อให้เฟสทั้งสองสัมผัสกันได้ดี

ในการแยกสารประกอบออกจากของเหลวโดยใช้ของเหลวเป็นตัวสกัดของเหลวในระบบสองวัฏภาคที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถแยกกันได้ การแยกจะอาศัยการถ่ายโอนมวลสารที่ต้องการแยก ซึ่งการแยกโดยการสกัดของเหลวด้วยของเหลวมีความเหมาะสมมากกว่าการแยกโดยใช้กระบวนการกลั่น

ก. เมื่อกระบวนการกลั่น ต้องการใช้ความร้อนจำนวนมากเกินไป ตัวอย่างเช่น เมื่อค่าระเหยสัมพัทธ์ (relative volatility)

ข. เมื่อการเกิดของเอซิโอโทรป (azeotroped) ไปจำกัด ระดับขั้น (degree) ของการแยกที่ได้รับจากกระบวนการกลั่น

ค. เมื่อการให้ความร้อนเป็นสิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยง

ง. เมื่อสารที่ต้องการแยกมีความแตกต่างทางธรรมชาติอย่างเด่นชัดกับสารตัวอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.7 สมดุลการสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Equipment for Liquid-Liquid Extraction)

การสกัดของเหลวด้วยของเหลวอาจทำได้ในขั้นตอนเดียว (single stage) หรือหลายขั้นตอน (multiage) โดยอาจเป็นแบบกะ (batch) หรือแบบต่อเนื่อง (continuous) เครื่องมือที่เกี่ยวข้องจะต้องมีการสัมผัสกันระหว่างวัฏภาคของของเหลวสองวัฏภาค

### 2.2.8 การสกัดด้วยการสัมผัสแต่ละชั้น (Stagewise Contact Extraction) [9]

การสกัดโดยวิธีนี้จะมีลักษณะการไหลเข้าออกของ Raffinate และ Extract phase ต่างๆ กัน ขึ้นกับประเภทของระบบและประสิทธิภาพของการแยกที่ต้องการ โดยของเหลวจะสัมผัสกันในแต่ละชั้น และมีการแยกผลิตภัณฑ์ออกซึ่งแต่ละชั้น ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ถูกสมมติให้ทำงานในสภาวะอุดมคติโดยที่ Effluent extract และ Raffinate solution อยู่ในสมดุลกันก่อนแยก

#### 1. การสกัดขั้นเดียว (Single-stage Extraction)

##### ก. กฏ lever-arm

อาจเป็นแบบกะ (batch) หรือแบบต่อเนื่อง (continuous) จากรูปที่ 2.3a และ รูปที่ 2.3b

$L$  = สายที่ป้อน (น้ำหนักหรือน้ำหนักต่อเวลา)

$x_A$  = ความเข้มข้นของ A ในสายป้อน

$x_C$  = ความเข้มข้นของ C ในสายป้อน

$V$  = สารละลายสกัด (น้ำหนักหรือน้ำหนักต่อเวลา)

$y_A$  = ความเข้มข้นของ A และ C ใน  $V$

$y_C$  = ความเข้มข้นของ A และ C ใน  $V$

$M$  = ส่วนผสมของ  $L + V$

ดุลมวลทั้งหมดและสมดุลมวลสารของ A (Overall mass balance and balance on A)

$$V + L = M \quad (2-1)$$

$$V y_A + L x_A = M x_{AM} \quad (2-2)$$

ดุลมวลสารของ C (material balance of C)

$$L/V = (y_A - x_{AM}) / (x_{AM} - x_A) \quad (2-3)$$

$$L/V = (y_C - x_{CM}) / (x_{CM} - x_C) \quad (2-4)$$

$$L/V = VM / LM \quad (2-5)$$

$$L/M = VM / LV \quad (2-6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. สมดุลการสกัดขั้นตอนเดียว (Single-stage equilibrium extraction)

$L_0$  = สายที่ป้อนขาเข้า (น้ำหนักหรือน้ำหนักต่อเวลา)

$L_1$  = สายที่ป้อนขาออก (น้ำหนักหรือน้ำหนักต่อเวลา)

$V_1$  = สารละลายสกัดขาออก (น้ำหนักหรือน้ำหนักต่อเวลา)

$V_2$  = สารละลายสกัดขาเข้า (น้ำหนักหรือน้ำหนักต่อเวลา)

คูลมวลทั้งหมด

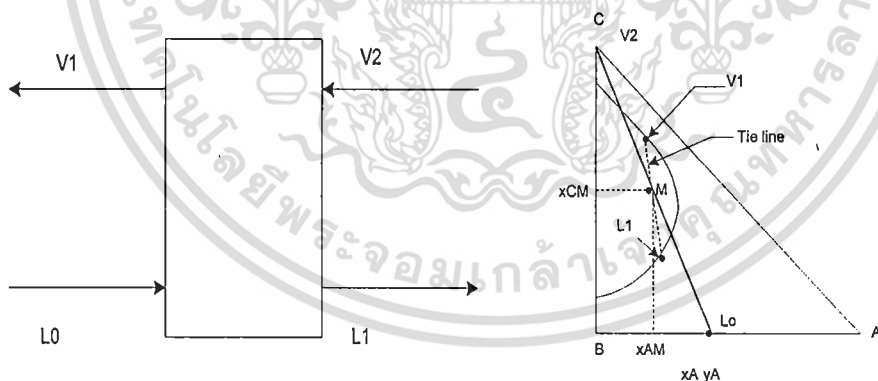
$$L_0 + V_2 = L_1 + V_1 = M \quad (2-7)$$

คูลมวลสารของ A

$$L_0 x_{A0} + V_2 y_{A2} = L_1 x_{A1} + V_1 y_{A1} = M x_{AM} \quad (2-8)$$

คูลมวลสารของ C

$$L_0 x_{C0} + V_2 y_{C2} = L_1 x_{C1} + V_1 y_{C1} = M x_{CM} \quad (2-9)$$



(a)

(b)

รูปที่ 2.3 สมดุลการสกัดของเหลวด้วยของเหลวขั้นตอนเดียว (Single-stage equilibrium liquid-liquid extraction) (a) process flow diagram (b) plot on phase Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1. การสกัดหลายขั้นตอนแบบต่อเนื่อง (Continuous Countercurrent Multistage Extraction)

ลักษณะของกระบวนการสกัดแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งจะได้ผลผลิตสุดท้ายเป็น Raffinate และ Extract ( $L_N$  และ  $V_1$ )

คุณมวลสารทั้งหมด

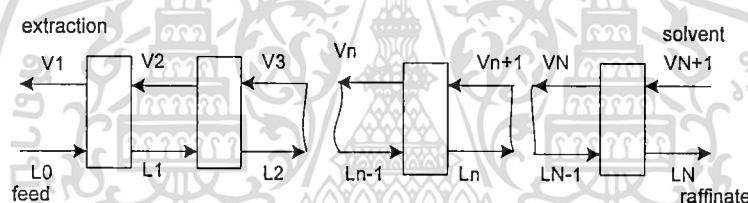
$$L_0 + V_{N+1} = L_N + V_1 = M \quad (2-10)$$

คุณมวลสารของ C

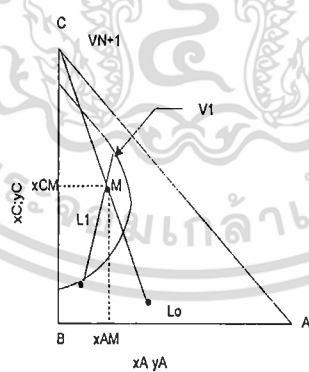
$$L_0 x_{C0} + V_{N+1} y_{N+1} = L_N x_N + V_1 y_{C1} = M x_{CM} \quad (2-11)$$

จัดรูปได้

$$x_{CM} = (L_0 x_{C0} + V_{N+1} y_{N+1}) / (L_0 + V_{N+1}) = (L_N x_N + V_1 y_{C1}) / (L_N + V_1) \quad (2-12)$$



(a)



(b)

รูปที่ 2.4 (a) การสกัดหลายขั้นตอนแบบไหลสวนทางต่อเนื่อง (Continuous Countercurrent Multistage Extraction) (b) พล็อตเฟสไดอะแกรม

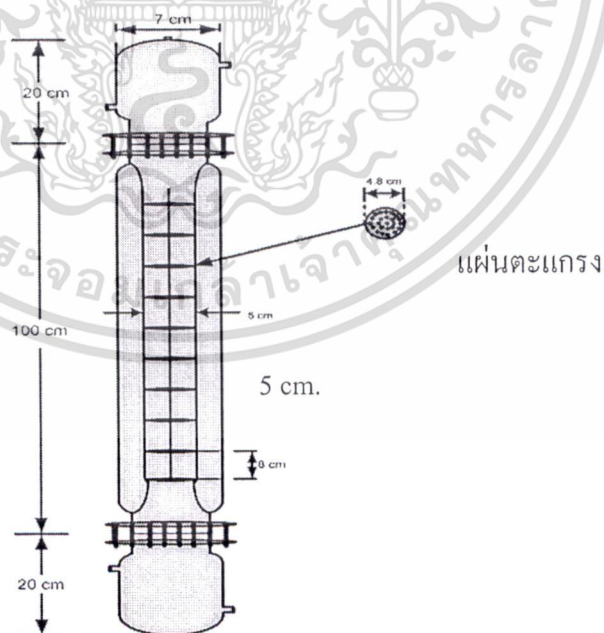
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การทดลอง

ในขั้นตอนการทดลองนั้นได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การออกแบบและสร้างเครื่องล้างไบโอดีเซลและการทดลอง

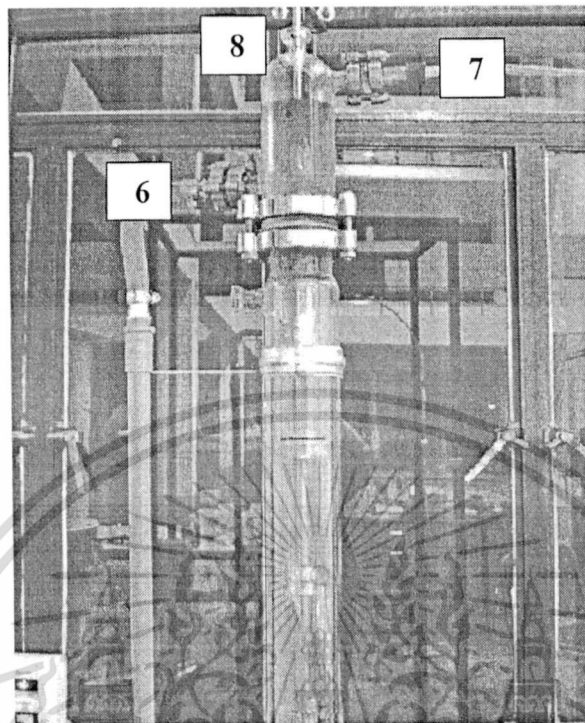
#### 3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องล้างไบโอดีเซล

1. จำลองเครื่องสกัดของเหลวด้วยของเหลว ด้วยอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยคอลัมน์มีความสูงเท่ากับ 140 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1
2. ข้างในคอลัมน์บรรจุด้วยแผ่นตะแกรง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตรและรูมีขนาด 4 มิลลิเมตร จำนวน 10 แผ่น
3. ออกแบบมอเตอร์ใช้สำหรับการกวน 5 รอบต่อนาที
4. ออกแบบโครงยึดคอลัมน์ ขนาดสูง 2 เมตร กว้าง 0.8 เมตร
5. ติดตั้งปั้มน้ำล้าง ปั้มน้ำมัน ไบโอดีเซลและระบบท่อน้ำและท่อน้ำมันไบโอดีเซลเข้ากับคอลัมน์
6. ติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
7. ทำการประกอบเครื่องเพื่อทำการทดลอง ดังรูปที่ 3.5

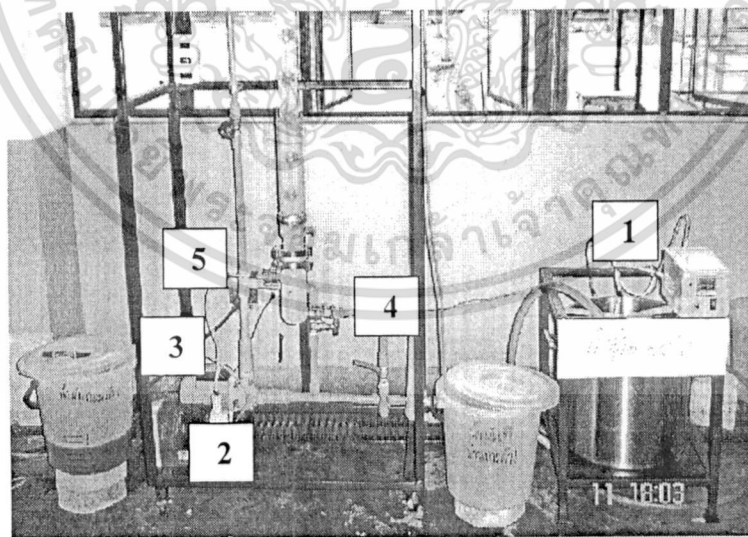


รูปที่ 3.1 ลักษณะของคอลัมน์สำหรับการล้างน้ำมันไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 84551 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



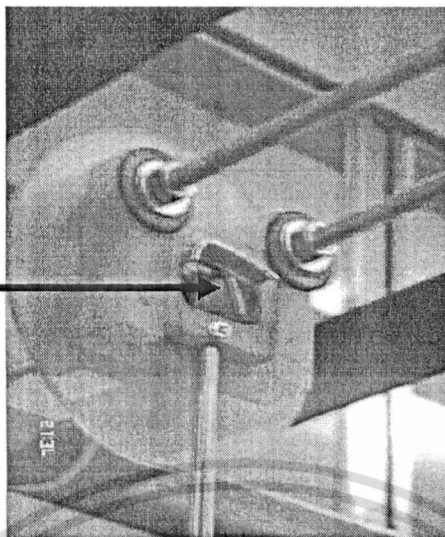
รูปที่ 3.2 ส่วนบนของคอลัมน์ (6) ทางน้ำเข้า (7) ทางน้ำมันออก (8) ตำแหน่งมอเตอร์



รูปที่ 3.3 ส่วนล่างของคอลัมน์ (1) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (2) ป้อนน้ำมัน (3) ป้อนน้ำ (4) ทางน้ำออก และ (5) ทางน้ำมันเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวบังคับทิศทางการหมุน



รูปที่ 3.4 มอเตอร์ใช้สำหรับกวนความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.5 ลักษณะของเครื่องที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การทดลอง

ในการทดลองนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลก่อนล้าง ขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลและการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลหลังล้าง น้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลองนั้นมี 2 ตัวอย่างคือ ตัวอย่างที่ 1 เป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างมาแล้ว 1 ครั้งและตัวอย่างที่ 2 เป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ยังไม่ผ่านการล้าง

#### 3.2.1 การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลก่อนล้าง

ทำการทดสอบค่าต่างๆ ในน้ำมันไบโอดีเซล คือ ค่าความเป็นกรดจากปริมาณกรดไขมันอิสระ ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ และความเป็นกรด-ด่าง (pH)

##### 1. การหาค่าความเป็นกรดจากปริมาณกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซล [10]

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ชุคไทเทรต
2. ขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ไบโอดีเซลดิบ
4. เอทานอล
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์
6. ฟีนอล์ฟทาลีน

วิธีการทดลอง

ทำการทดลองไทเทรตเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในไบโอดีเซลตามมาตรฐาน A.O.C.S. official method Ca 5a-40 แสดงในภาคผนวก ก

##### 2. การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของไบโอดีเซล

อุปกรณ์และสารเคมี

1. บีกเกอร์
2. เครื่องวัดความหนืดแบบเซนส์โบลต์
3. ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ
3. นาฬิกาจับเวลา
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
6. ไบโอดีเซลดิบ

วิธีการทดลอง

1. นำน้ำมันไบโอดีเซลหาค่าความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบเซนส์โบลต์
2. หาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ

3. วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

### 3.2.2 ขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซล

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่าน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับการล้างน้ำมันไบโอดีเซล ดังนั้นผู้ทดลองจึงใช้น้ำล้างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ชุดเครื่องล้างไบโอดีเซล ดังรูปที่ 3.5
2. ถังใส่น้ำและน้ำมันไบโอดีเซลจำนวน 4 ใบ
3. น้ำล้างและน้ำมันไบโอดีเซลดิบ
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ขวดเก็บตัวอย่าง
6. กระจกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. ตรวจสอบความพร้อมของเครื่องและอุปกรณ์ทั้งหมด
2. ตั้งอุณหภูมิของน้ำที่ 60 องศาเซลเซียส
3. ป้อนน้ำเข้าคอลัมน์จนถึงระดับใกล้ทางเข้าของน้ำล้าง ปรับอัตราการไหลของน้ำขาเข้าและออกที่ 1 ลิตรต่อชั่วโมง น้ำล้างจะมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบ
4. ป้อนน้ำมันเข้าสู่คอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 5 ลิตรต่อชั่วโมง
5. ทำการทดลองจนกระทั่งน้ำมันสูงถึงระดับทางออกด้านบนของคอลัมน์ ทำการเก็บตัวอย่างและวัดอัตราการไหลขาออกของทั้งน้ำมันและน้ำทุกๆ 15 นาที และทำการวนน้ำมันไบโอดีเซลล้างซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง
6. ทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำมันไบโอดีเซลเป็น 10 ลิตรต่อชั่วโมง โดยที่อัตราการไหลของน้ำคงที่ และทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 5

### 3.2.3 การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลหลังล้าง

ทำเช่นเดียวกับ 3.2.1 และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบระหว่างก่อนล้างและหลังล้างน้ำมันไบโอดีเซล

## 4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

### 4.1 การออกแบบและสร้างเครื่องล้างไบโอดีเซล

สามารถออกแบบและสร้างเครื่องล้างไบโอดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งคอลัมน์มีความสามารถจุได้ 3 ลิตร

จากอัตราการผลิตที่ได้เมื่อเทียบกับอัตราการผลิตโดยทั่วไปถือว่าอัตราการผลิตที่ต่ำ จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนอัตราการกววน และอัตราการไหลให้มีความมากกว่าที่ใช้ทำการทดลอง

### 4.2 ผลการทดลอง

การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลได้แบ่งเป็น 3 ชั้นคือ ทดสอบคุณภาพก่อนล้าง ช่วงการล้าง และหลังการล้าง

#### 4.2.1 การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลก่อนล้าง

ตารางที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด (acid value) ในน้ำมันไบโอดีเซลก่อนล้าง

ตัวอย่างที่	ครั้งที่	ปริมาณไบโอดีเซล (กรัม)	เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ	ค่าความเป็นกรด* (acid value)
1	1	28.185	0.421	0.838
	2	28.294	0.419	0.834
	3	28.187	0.411	0.818
	4	28.163	0.421	0.838
	5	28.217	0.400	0.796
	เฉลี่ย	28.209	0.414	0.824
2	1	28.310	0.164	0.324
	2	28.270	0.178	0.354
	3	28.247	0.174	0.346
	4	28.302	0.167	0.332
	5	28.301	0.174	0.346
	เฉลี่ย	28.290	0.174	0.346

\* หมายเหตุ ตัวอย่างการคำนวณที่ภาคผนวก ก

ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าความเป็นกรดจากปริมาณกรดไขมันอิสระ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จะพบว่าในตัวอย่างที่ 1 มีค่าความเป็นกรดมากกว่า เป็นเพราะตัวอย่งนี้ผ่านการล้างด้วยน้ำผสมกรดเล็กน้อยจึงอาจทำให้มีกรดหลงเหลืออยู่ ดังนั้นค่าความเป็นกรดที่วิเคราะห์ได้อาจเป็นปริมาณของกรดไขมันอิสระและจากน้ำที่ใช้ล้าง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่แสดงในตารางที่ 4.2 ยืนยันได้ว่า ตัวอย่างที่ 1 มีสภาพเป็นกรด และตัวอย่างที่ 2 มีสภาพเป็นด่าง ส่วนค่าความหนืดและความถ่วงจำเพาะจะมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.2 ค่าความหนืด ความถ่วงจำเพาะ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำมันไบโอดีเซล ก่อนล้าง

ตัวอย่างที่	ครั้งที่	ความหนืด (เซนติสโตก)	ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 29 องศาเซลเซียส)	ค่าความเป็น กรด-ด่าง
1	1	7.512	0.8799	5.49
	2	7.223	0.8796	6.01
	3	7.406	0.8797	5.74
	เฉลี่ย	7.380	0.8797	5.75
2	1	7.195	0.8793	9.43
	2	7.051	0.8795	10.01
	3	7.048	0.8792	9.68
	เฉลี่ย	7.165	0.8793	9.71

#### 4.2.2 ขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซล

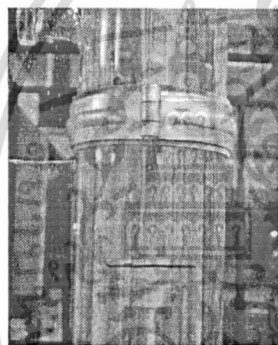
ได้ทำการทดลองวัดอัตราการไหลขาเข้า-ออกจากรอคอลลัมน์ที่อัตราการป้อนเข้าต่างๆ ดังตารางที่ 4.3 จะพบว่า อัตราการไหลขาออกของทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับอัตราไหลขาเข้าเนื่องมาจากที่น้ำมันไบโอดีเซลจะไหลออกมาต้องใช้เวลาในการสัมผัสน้ำและต้องใช้เวลาในการผ่านตะแกรงแต่ละชั้น เมื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ 5 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมงของตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 จะพบว่าที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อชั่วโมงของตัวอย่างที่ 2 มีอัตราการไหลออกมาน้อยกว่าตัวอย่างที่ 1 เนื่องจากตัวอย่างที่ 2 มีไขสบู่เกิดขึ้นมากทำให้เกิดการอุดตันตามรูของแผ่นตะแกรง จึงมีผลต่อการไหล โดยจะทำให้อัตราการไหลที่ออกมาช้ากว่าปกติดังแสดงในรูปที่ 4.1 แต่ที่อัตราการไหลที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมงตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องมาจากอัตราการไหลที่สูงจึงทำให้น้ำมันมีแรงดันมากพอที่สามารถผ่านชั้นไขสบู่ได้ดีกว่าที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

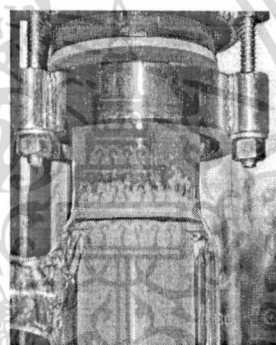
ตารางที่ 4.3 อัตราการไหลขาออกและอัตราการไหลขาเข้าของน้ำมันไบโอดีเซลระหว่างการล้าง

ตัวอย่างที่	อัตราไหลเข้า ของไบโอดีเซล (ลิตรต่อชั่วโมง)	อัตราไหลออกของไบโอดีเซล (ลิตรต่อชั่วโมง)					
		ล้าง ครั้งที่ 1	สะสม **	ล้าง ครั้งที่ 2	สะสม	ล้าง ครั้งที่ 3	สะสม
1	5	1.32	3.68	1.29	3.71	1.27	3.73
	10	3.80	6.2	3.57	6.43	3.87	6.13
2	5	0.67	4.33	0.69	4.21	0.69	4.21
	10	3.28	6.72	3.21	6.79	3.22	6.78

\*\* น้ำมันที่สะสมอยู่คอถัมน์

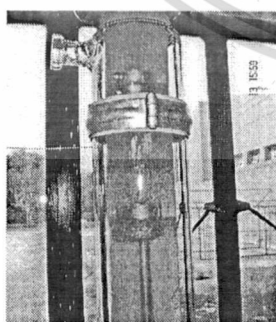


ตัวอย่างที่ 1

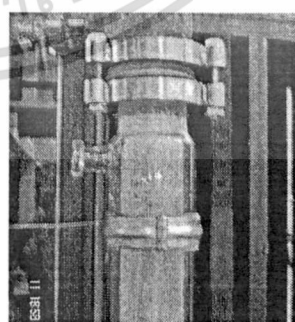


ตัวอย่างที่ 2

รูปที่ 4.1 ลักษณะของน้ำมันในคอถัมน์ระหว่างการล้างที่อัตราการไหลของน้ำมันขาเข้า เท่ากับ 5 ลิตร/ชั่วโมง



ตัวอย่างที่ 1



ตัวอย่างที่ 2

รูปที่ 4.2 ลักษณะของน้ำมันในคอถัมน์ระหว่างการล้างที่อัตราการไหลของน้ำมันขาเข้า เท่ากับ 10 ลิตร/ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3 การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลหลังล้าง

ได้ทำการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลหลังจากการล้าง ดังตารางที่ 4.4 พบว่า ตัวอย่างที่ 1 ที่อัตราการไหลของน้ำมันไบโอดีเซลเข้า 5 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าความเป็นกรดลดลงอย่างชัดเจน คิดเป็น 10.07 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราการไหลของน้ำมันไบโอดีเซลเข้าที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าความเป็นกรดลดลงคิดเป็น 8.50 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นเช่นนี้เพราะ ที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อชั่วโมง น้ำมันไบโอดีเซลมีเวลาสัมผัสกับน้ำมากกว่าที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อชั่วโมง จึงทำให้ชำระล้างกรดได้มากกว่า ส่วนตัวอย่างที่ 2 ที่อัตราการไหลของน้ำมันไบโอดีเซลเข้า 5 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าความเป็นกรดลดลงคิดเป็น 20.80 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราการไหลของน้ำมันไบโอดีเซลเข้าที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าความเป็นกรดลดลงคิดเป็น 25.14 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในระหว่างการล้างในคอลัมน์เกิดไขสบู่ขึ้นจึงทำให้ค่าความเป็นกรดลดลง จากตารางนี้จะเห็นว่า เมื่อผ่านการล้างครั้งที่ 1 ค่าความเป็นกรดลดลงเล็กน้อย และลดลงมากขึ้นเมื่อผ่านการล้างครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 ที่อัตราการไหลของน้ำมันไบโอดีเซลดิบ 5 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าความเป็นกรดมีค่าใกล้เคียงความเป็นกลางมากขึ้น ส่วนค่าความหนืดและความหนาแน่นค่อนข้างคงที่ อาจเนื่องมาจากสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซลมีผลน้อยมาก

ตารางที่ 4.4 ค่าความเป็นกรด (acid value) ของน้ำมันไบโอดีเซลหลังล้าง ที่อัตราการไหลต่างๆ

ตัวอย่างที่	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	ค่าความเป็นกรด (acid value)			
		ก่อนล้าง	ล้างครั้งที่ 1	ล้างครั้งที่ 2	ล้างครั้งที่ 3
1	5	0.824	0.814	0.776	0.741
	10	0.824	0.798	0.768	0.754
2	5	0.346	0.327	0.303	0.274
	10	0.346	0.318	0.279	0.259

ตารางที่ 4.5 ความหนืด ความถ่วงจำเพาะและความเป็นกรด-เบส (pH) ในน้ำมันไบโอดีเซล  
หลังล้าง

ตัว อย่าง ที่	อัตรา ไหล (L/h)	ความหนืด (เซนติสโตก)			ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 29 องศาเซลเซียส)			ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)		
		ล้าง ครั้งที่	ล้าง ครั้งที่	ล้าง ครั้งที่	ล้าง ครั้งที่	ล้าง ครั้งที่	ล้าง ครั้งที่	ล้าง ครั้งที่	ล้าง ครั้งที่	ล้าง ครั้งที่
		1	2	3	1	2	3	ที่ 1	ที่ 2	ที่ 3
1	5	7.369	7.352	7.348	0.8795	0.8793	0.8794	6.29	6.43	6.55
	10	7.371	7.360	7.352	0.8794	0.8793	0.8793	6.31	6.38	6.46
2	5	6.953	6.939	6.873	0.8792	0.8791	0.8790	8.13	7.72	7.43
	10	6.957	6.943	6.931	0.8787	0.8785	0.8786	8.76	8.14	7.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖

๖๖



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. สรุปผลการทดลอง

### 5.1 การออกแบบและสร้างเครื่องล้างไบโอดีเซล

จากการออกแบบและสร้างเครื่องล้างไบโอดีเซล สามารถสร้างเครื่องที่ล้างน้ำมันไบโอดีเซลให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องล้างมีข้อดีและข้อด้อยดังนี้

#### ข้อดีของเครื่องล้างไบโอดีเซล

1. สามารถล้างน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ขึ้นและประหยัดเวลาในการล้างมากกว่าวิธีการปั่นกวนแล้วทิ้งให้แยกชั้น
2. เครื่องออกแบบมาเพื่อให้มีระบบหมุนเวียนน้ำ ทำให้สามารถประหยัดน้ำล้างได้มาก
3. เครื่องล้างสามารถล้างน้ำมันไบโอดีเซลได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ประหยัดแรงงานในการควบคุมเครื่อง
4. สามารถต่ออนุกรมได้หลายคอลัมน์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการล้างให้สูงขึ้น

#### ข้อด้อยของเครื่องล้างไบโอดีเซล

1. เมื่ออัตราไหลของน้ำมันไบโอดีเซลมากเกินไป ทำให้อัตราสัมผัสระหว่างน้ำกับน้ำมันน้อยเกินไป
2. เครื่องทดลองมีความยาวของคอลัมน์น้อย ทำให้ต้องใช้อัตราไหลต่ำ ทำให้อัตราการผลิตต่ำไปด้วย
3. เมื่ออัตราไหลของน้ำมากเกินไปอาจเกิดฟองขึ้น ทำให้การแยกชั้นไม่ดี

### 5.2 การทดลอง

จากผลการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันไบโอดีเซลก่อนล้างและหลังล้างพบว่าตัวอย่างที่ 1 ที่มีค่าความเป็นกรดสูงเมื่อผ่านการล้างแล้วมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นกลาง ( $pH=7$ ) และตัวอย่างที่ 2 ที่มีค่าความเป็นด่างสูงเมื่อผ่านการล้างมีค่าใกล้เคียงกับค่าความกลาง ส่วนค่าความหนืด ค่าความหนาแน่นก่อนล้างคงที่ และค่าความเป็นกรด (acid value) ลดลง จากการสังเกตจะเห็นว่าที่อัตราการไหลต่ำจะสามารถล้างสิ่งเจือปนออกได้ดีกว่าที่อัตราการไหลสูง

#### ข้อเสนอแนะ

1. หากน้ำมันไบโอดีเซลได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ควรทำการล้างแบบกะก่อน 1 ครั้ง เพื่อลดสิ่งเจือปนที่จะก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันในคอลัมน์
2. ควรควบคุมอุณหภูมิการล้างให้มีอุณหภูมิคงที่ โดยใช้ น้ำที่ควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการ (60 องศาเซลเซียส) ผ่านแจ็กเก็ตของคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ้าต้องการเพิ่มอัตราการผลิตควรขยายขนาดของคอลัมน์ เพิ่มอัตราการป้อนน้ำมันไบโอดีเซล และใช้ปั๊มที่มีประสิทธิภาพสูง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิ้วย อุ่ใจ, สยาม ภพลือชัย. นิตยสาร Update, ฉบับที่ 168, สิงหาคม 2544.
- [2] กัญจนา บุญเกียรติ, สุกัญญา มากมี. “ไบโอดีเซล: พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล” วารสารวิทยาศาสตร์, ปีที่ 55, ฉบับที่ 3, พฤษภาคม – มิถุนายน 2544. หน้า 148-149
- [3] สวนลูกจันทร์. “ไบโอดีเซล : คุณค่าที่ไม่ควรมองข้าม” [Online]. Available : [http://www.suanlukchan.com/topic.php?suan\\_topic\\_id=219](http://www.suanlukchan.com/topic.php?suan_topic_id=219)
- [4] พิศมัย เจนวนิชปัญญกุล, กรรณิการ์ สถาปิตานนท์ และสุภัทรา มั่นสกุล. วารสารวิทยาศาสตร์, ปีที่ 35, ฉบับที่ 11. หน้า 820-823
- [5] ธนวัฒน์ อุดตมะรูป, ธิดิ เรียงพฤทธิ. “การศึกษาเบื้องต้นการเกิดอิมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซล” ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [6] รัตนา จิระรัตนานนท์. 2538. การถ่ายเทมวล (Mass Transfer). ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 1
- [7] สุวรรณ ไชยสิทธิ์. 2539. ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] ปิยะสาร ประเสริฐธรรม. 2536. หลักการออกแบบเครื่องมือแยกสาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] Geankoplis Chistie John. 2003. **Transport processes and separation process principles (includes unit operations)**. 4<sup>th</sup> edition. Prentice Hall.
- [10] A.O.C.S. official method Ca 5a-40, Sampling And Analysis of Commercial, Fats and Oil, Free Fatty acid.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**84551**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้