



กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว
 ร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิกความเข้มสูง
 PRODUCTION OF BIODIESEL FROM USED VEGETABLE OIL
 BY HIGH INTENSITY ULTRASONIC IRRADIATION

นายสมศักดิ์ กัดจ้อย รหัส 50362542
 นายวิรุจน์ ภูกิจผา รหัส 50363808

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
 วันที่รับ..... 24 ส.ย. 2554
 เลขทะเบียน..... 15512335
 เลขเรียกหนังสือ..... 4/5
 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ๗/๒๘๒ D

15512335
 4/5
 ๗/๒๘๒ D
 2553


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
 ปีการศึกษา 2553





ใบรับรองปริญญาโท

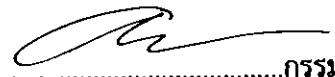
ชื่อหัวข้อโครงการ กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว
คลีนอัลตราโซนิคความเข้มสูง
ผู้ดำเนินโครงการ นายสมศักดิ์ กลัดจ้อย รหัส 50362542
นายวิรุจน์ ภูกิ่งผา รหัส 50363808
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์วัฒน์ชัย เยวรัตน์
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2553

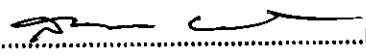
.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

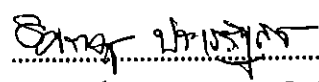

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์วัฒน์ชัย เยวรัตน์)


.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์อดิศักดิ์ ไสยสุข)


.....กรรมการ
(อาจารย์นพวรรณ ไม้ทอง)


.....กรรมการ
(อาจารย์อานากรณ์ จันทร์ปักษ์)


.....กรรมการ
(อาจารย์สุชาดา อยู่แก้ว)


.....กรรมการ
(อาจารย์อิศราวุธ ประเสริฐสังข์)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ร่วมกับ คลื่นอัลตราโซนิกความเข้มสูง		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายสมศักดิ์	กลัดจ้อย	รหัส 50362542
	นายวิรุจน์	ภูกิ่งผา	รหัส 50363808
ที่ปรึกษาโครงการงาน	อาจารย์วัฒน์ชัย เขาวรัตน์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2553		

บทคัดย่อ

เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเป็นปัจจัยในการดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพที่สำคัญ ถูกใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ของเครื่องจักรกลการเกษตร เครื่องยนต์ของรถยนต์ เครื่องจักรการผลิตหลายประเภท และเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ทั่วไป การปรับขึ้นของราคาน้ำมันดีเซลอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มสูงขึ้นอีกในอนาคต ทำให้ผู้บริโภคน้ำมันดีเซลต้องปรับตัวหาเชื้อเพลิงอื่นมาทดแทนไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ สามารถผลิตขึ้นจากวัตถุดิบการเกษตรหรือวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่น เช่น ปาล์ม สบู่ดำ มะพร้าว น้ำมันใช้แล้ว เป็นต้น จึงทำให้ลดการพึ่งพาแหล่งเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ

ไบโอดีเซลผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือสัตว์ (Triglyceride) โดยผ่านกระบวนการทางเคมีกับเมทานอล ซึ่งเรียกว่า “ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification)” โดยมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็นกรดหรือด่าง ซึ่งมีทั้งละลายเป็นเนื้อเดียวกันและไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งชนิด CaO ร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิกความเข้มสูงที่ความถี่ 35 kHz. ซึ่งส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันพืชใช้แล้ว (น้ำมันปาล์ม) กับเมทานอล ในการทดลองมีการปรับเปลี่ยนสภาวะเพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนโดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมัน (0.5 กรัม, 1.75 กรัม และ 3.0 กรัม) อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (30°C และ 60°C) จากผลการศึกษาพบว่า ทุกสภาวะที่ได้ทำการทดลองนั้น ไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอริน ทำให้ทราบว่าไม่เกิดการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ดังนั้นสภาวะที่ทำการศึกษาก็ไม่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณท่าน อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์ อาจารย์ที่
ปรึกษาปริญญาโท ที่ได้สละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดี ตลอดจนตรวจแก้ไข
ข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ลงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการทดลอง ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาในการใช้งานเครื่องมือต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชา คณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
ทุกท่านที่เสียสละเวลา เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำ
วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนลุล่วงไปด้วยดีตลอดมา

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวทุกท่านที่ให้โอกาสทางการศึกษา
คอยสนับสนุนทั้งทางด้านกำลังทรัพย์ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาตลอดการศึกษาจนประสบ
ความสำเร็จ และอีกหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในครั้งนี้ ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงการ
สมศักดิ์ กลัดจ้อย
วีรุจน์ ภูกิ่งผา

เมษายน 2554

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน.....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ.....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 ไบโอดีเซล.....	4
2.2 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล.....	6
2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification).....	9
2.4 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล.....	17
2.5 คลื่นอัลตราโซนิก.....	19
2.6 การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid).....	22
2.7 การทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลโดยการวัดความหนืด.....	22
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	28
3.1 การเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี.....	28
3.2 แผนการทดลอง.....	29
3.3 การทดลอง.....	29
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	38
4.1 ผลการทดลองการผลิตด้วยคลื่นอัลตราโซนิก.....	38
4.2 ผลการทดลองการผลิตโดยการใช้เบส (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	44
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	45
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	45
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	45
เอกสารอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก ก.....	47
ภาคผนวก ข.....	52
ภาคผนวก ค.....	57
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	61

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงระยะเวลา แผนการดำเนินโครงการ และผลการดำเนินโครงการ.....	3
2.1 สูตรโครงสร้าง จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ.....	7
2.2 ชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ.....	8
2.3 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์ ...	16
3.1 การทดลองที่อุณหภูมิห้อง (30°C).....	35
3.2 การทดลองที่อุณหภูมิ (60°C)	36
4.1 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 30°C, ความถี่ 35 kHz., เมทานอล 15 กรัม และเวลา 60 นาที.....	38
4.2 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C, ความถี่ 35 kHz., เมทานอล 15 กรัม และเวลา 60 นาที.....	41
4.3 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C, เมทานอล 22 กรัม และเวลา 60 นาที.....	44
ก.1 แสดงมวลโมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	48



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์.....	6
2.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	10
2.3 ปฏิกริยาเคมีในการเตรียมสารอัลคอกซี	10
2.4 พันธะของเบส.....	11
2.5 ภาชนะบรรจุเมทานอล.....	13
2.6 กลไกการปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ ..	14
2.7 ปฏิกริยาการเกิดสบู่ (Saponification).....	14
2.8 ปฏิกริยาเอสเทอร์ิฟิเคชัน	15
2.9 สีของไบโอดีเซลจากการล้างหลายๆครั้ง	18
2.10 Ubbelohde tube.....	25
3.1 น้ำมันปาล์มใช้แล้ว.....	30
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์	31
3.3 การตวงเมทานอล.....	31
3.4 สัญลักษณ์ ∞	32
3.5 การทำปฏิกริยา.....	32
3.6 การตั้งแยกชั้นกลีเซอริน.....	33
3.7 การแยกชั้นของกลีเซอริน.....	33
3.8 จุดจับเวลาและหยุดเวลาของ Ubbelohde tube.....	34
ก.1 พันธะน้ำมันปาล์ม 1 โมล.....	49
ก.2 ค่ามวลโมเลกุล 1 พันธะ.....	49
ก.3 ค่ามวลโมเลกุล 3 พันธะ.....	50
ก.4 ค่ามวลโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม 1 โมล	50
ค.1 CaO 0.5 กรัม ที่อุณหภูมิ 30°C.....	58
ค.2 CaO 0.5 กรัม ที่อุณหภูมิ 60°C.....	58
ค.3 CaO 1.75 กรัม ที่อุณหภูมิ 30°C.....	59
ค.4 CaO 1.75 กรัม ที่อุณหภูมิ 60°C.....	59
ค.5 CaO 3 กรัม ที่อุณหภูมิ 30°C.....	60
ค.6 CaO 3 กรัม ที่อุณหภูมิ 60°C.....	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันทั่วโลกมีความต้องการใช้ทรัพยากรทางด้านพลังงานเพิ่มขึ้นในทุกปี เพื่อเป็นการพัฒนาประเทศและขับเคลื่อนเศรษฐกิจให้เจริญก้าวหน้า แต่พลังงานปิโตรเลียมของโลกก็กำลังหมดสิ้นลงไปทุกวันๆ และอาจจะหมดไปภายในอนาคตอันใกล้นี้ ประเทศไทยเราก็เช่นกัน ที่มีความต้องการใช้พลังงานปิโตรเลียมทั้งในด้านอุตสาหกรรม ด้านเศรษฐกิจ ด้านการขนส่งอยู่ไม่น้อยเหมือนกัน แต่แหล่งทรัพยากรทางด้านพลังงานในประเทศที่มีอยู่นั้นไม่เพียงพอ จึงมีการนำเข้าจากต่างประเทศปีละหลายๆ ล้านบาท อีกทั้งของเสียจากการใช้พลังงานดังกล่าวก็ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันมีการให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก และยังเป็นปัจจัยหนึ่งในการสร้างปัญหาภาวะโลกร้อนอีกด้วย ดังนั้นจึงได้มีการคิดหาแหล่งพลังงานทางเลือกหรือพลังงานอื่นๆ มาทดแทน เพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ลดการใช้พลังงานหลักจากปิโตรเลียม เพื่อยืดระยะเวลาในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงให้ใช้ได้ยาวนานขึ้น ลดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงปัญหาโลกร้อนในปัจจุบันด้วย แหล่งพลังงานทดแทนหาได้จากสิ่งต่างๆ เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล หรือไบโอดีเซล เป็นต้น

ไบโอดีเซลผลิตได้มาจากน้ำมันพืชหรือสัตว์ (Triglyceride) โดยจะผ่านกระบวนการทางเคมีกับเมทานอล ซึ่งเรียกว่า “ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน” โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็นกรดหรือเบส

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ทำให้ทราบว่าในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน การใช้ตัวเร่งเชิงปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ดีกว่าการใช้ตัวเร่งเชิงปฏิกิริยาแบบวิวิธภักดิ์ โครงการนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำคลื่นอัลตราโซนิคความเข้มสูงเข้ามาช่วยในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้ตัวเร่งเชิงปฏิกิริยาแบบวิวิธภักดิ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยการใช้คลื่นอัลตราโซนิคความเข้มสูงเข้าช่วย

1.2.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคความเข้มสูงเข้าช่วย

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ทราบถึงกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยการใช้คลีนอัลตราโซนิกความเข้มสูงเข้าช่วย

1.3.2 ผลของอุณหภูมิและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้คลีนอัลตราโซนิกความเข้มสูงเข้าช่วย

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ทราบถึงผลของอุณหภูมิและปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยการใช้คลีนอัลตราโซนิกความเข้มสูงเข้าช่วย

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.5.1 น้ำมันที่ใช้ในการผลิต คือ น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว

1.5.2 แอลกอฮอล์ที่ใช้ คือ เมทานอล (Commercial Grade, 99.5% v/v)

1.5.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ แคลเซียมออกไซด์ (Reagent Grade, 95% wt.)

1.5.4 เวลาที่ใช้ในการทดลอง คือ 1 ชั่วโมง

1.5.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

1.5.6 ความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้ คือ 35 kHz.

1.5.7 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 4 : 1 โมล

1.5.8 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.8.1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%, 1.75% และ 3% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม

ใช้แล้ว

1.5.8.2 อุณหภูมิห้องที่ 30°C และอุณหภูมิ 60°C

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ.2554

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลา แผนการดำเนินโครงการและผลการดำเนินโครงการ

ลำดับที่	การดำเนินโครงการ	2553		2554			
		พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย
1	รวบรวมข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์มใช้แล้วร่วมกับคลีนอัลตราโซนิคความเข้มสูง	←→					
2	ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	←→					
3	ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ร่วมกับคลีนอัลตราโซนิคความเข้มสูง		←→				
4	จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง		←→				
5	ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคู่กับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันร่วมกับคลีนอัลตราโซนิคความเข้มสูง			←→			
6	วิเคราะห์ผลการทดลอง					←→	
7	สรุปผลการดำเนินโครงการและจัดทำรายงาน					←→	

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ไบโอดีเซล

ปัจจุบันน้ำมันดีเซลมีปริมาณการใช้ในแต่ละวันที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เป็นไปตามสภาวะเศรษฐกิจที่เติบโตมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการขนส่งสินค้าและวัตถุดิบไปในที่ต่างๆ และจากสภาวะความผันผวนด้านราคาของน้ำมันดิบ ทำให้มีการวิจัยและคิดค้นหาเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล โดยที่เชื้อเพลิงที่สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้จะต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และที่สำคัญต้องให้พลังงานจากการเผาไหม้ที่มากกว่าไบโอดีเซล หรือเมทิลเอสเทอร์ ได้ถูกค้นพบว่าเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด และให้พลังงานจากการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ได้จากการทำปฏิกิริยาที่เรียกว่า “เอสเทอร์ฟิเคชัน” โดยมีสารตั้งต้นเป็นกรดไขมันอิสระ และจากการทำปฏิกิริยาที่เรียกว่า “ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน” โดยมีสารตั้งต้นเป็นสารประกอบกลีเซอไรด์จากไขมันของพืชหรือสัตว์ ปัจจุบันไบโอดีเซลถูกใช้เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลอย่างแพร่หลาย

คำว่า “น้ำมันไบโอดีเซล” ในทางวิชาการนั้นหมายถึง น้ำมันที่ผลิตได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่างๆ หรือน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารแล้วมาแปรสภาพโดยผ่านขบวนการเคมีกับแอลกอฮอล์ ได้เป็นน้ำมันชนิดใหม่อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งสองด้าน คือ คุณลักษณะของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงและเทคโนโลยีของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน ส่วนกรณีที่มีผู้นำน้ำมันพืช เช่น น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันมะพร้าวดิบมาผสมกับน้ำมันดีเซลตามอัตราส่วนต่างๆ ยังไม่ถือว่าเป็นน้ำมันไบโอดีเซล และการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ทั่วไปก็ยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม ภาครัฐพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้มีนโยบายให้การสนับสนุนการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมอย่างเต็มที่เพราะเป็นการลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียม ขณะเดียวกันก็ช่วยสนับสนุนเกษตรกรผู้ปลูกพืชน้ำมันด้วยอีกทางหนึ่ง แต่การสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการใช้น้ำมันพืชอย่างยั่งยืน สำหรับใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม ต้องมีการทดสอบการใช้งานกับเครื่องยนต์ในระยะยาว เพื่อยืนยันว่าคุณภาพของน้ำมันมีความเหมาะสมกับความต้องการของเครื่องยนต์จริง และเพื่อสร้างความมั่นใจกับผู้บริโภคที่จะใช้น้ำมันดังกล่าวแล้วไม่เกิดผลเสียหายต่อเครื่องยนต์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงร่วมกับการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้เริ่มศึกษาทดลองการใช้งานของน้ำมันดังกล่าวในสัดส่วนต่างๆ เพื่อดูผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ระยะยาว โดยขณะนี้การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) ได้ทดลองผลิตและจำหน่ายน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในสัดส่วนไม่เกิน 10% โดยปริมาตร โดยที่มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ราคาน้ำมันที่อยู่ในระดับสูงอย่างต่อเนื่องมานานทำให้ทั่วโลกต้องเผชิญกับวิกฤตการณ์พลังงานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

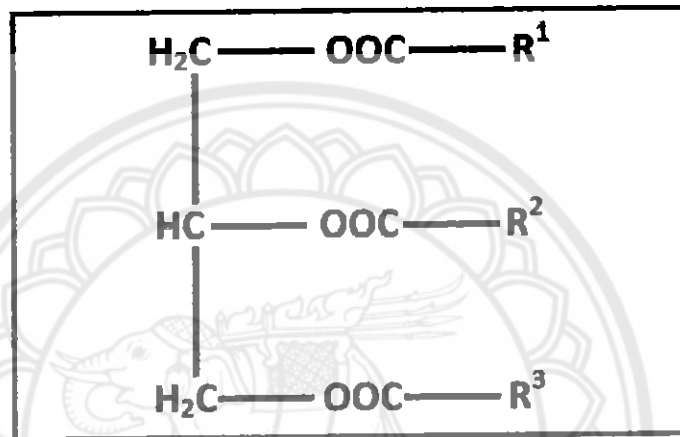
ประเทศไทยมีนโยบายที่จะลดการพึ่งพิงการนำเข้าน้ำมันและหันไปใช้พลังงานทดแทนน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการพัฒนาพลังงานทดแทนในระยะยาวจะมีส่วนช่วยลดการพึ่งพิงการนำเข้าน้ำมันของประเทศได้ในระดับหนึ่งจากมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม 2548 กำหนดให้ใช้น้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมไบโอดีเซล 5% หรือ B5 ทั่วประเทศในปี 2554 และใช้น้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมไบโอดีเซล 10% หรือ B10 ในปี 2555 ความต้องการไบโอดีเซลตามแผนการ ความเป็นไปได้ที่เพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับการจัดหาวัตถุดิบซึ่งหมายถึง การขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเป็นไปตามเป้าหมาย และมีการตั้งโรงงานผลิตไบโอดีเซลรองรับปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้นด้วยรวมไปถึงการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผล ต่อความเชื่อมั่นของผู้บริโภค โดยเฉพาะผลกระทบต่อเครื่องยนต์ กล่าวคือต้องมีการประกาศมาตรฐานน้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมไบโอดีเซลเพื่อการพาณิชย์ของรัฐบาล และการยอมรับของบริษัทผู้ผลิตยานยนต์ โดยมีผลการทดสอบและประกาศยอมรับน้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลทั้ง B5 และ B10 นอกจากนี้ความตื่นตัวในการจะหันมาใช้ น้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลนั้น นอกจากราคาจำหน่ายแล้ว การประกาศกำหนดยกเลิกการจำหน่ายน้ำมันดีเซลบริสุทธิ์ หรือน้ำมันดีเซล ที่ไม่ได้ผสมไบโอดีเซลเช่นเดียวกับการประกาศยกเลิกการจำหน่ายน้ำมันเบนซิน 95 ซึ่งทำให้ผู้ บริโภคตื่นตัวหันมาใช้แก๊ซโซฮอล์มากขึ้น เพราะเหตุนี้จึงทำให้นโยบายการส่งเสริมการผลิตเอทานอล เพื่อจะนำมาผลิตเป็นแก๊ซโซฮอล์นั้นจึงได้ประสบความสำเร็จมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย

การส่งเสริมและพัฒนาไบโอดีเซล เพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกทดแทนน้ำมันดีเซลบางส่วน นับว่าเป็นโครงการที่ดี เนื่องจากจะช่วยลดการพึ่งพิงการนำเข้าน้ำมันดีเซลได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามการดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามที่ตั้งไว้นั้นมีปัญหาและอุปสรรคหลายด้าน เริ่มตั้งแต่ปัญหาที่ปริมาณวัตถุดิบอาจจะไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ เนื่องจากการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของโครงการไม่เป็นไปตามเป้าที่ตั้งไว้ อันเป็นผลมาจากความไม่มั่นใจในราคาปาล์มน้ำมันในอนาคต ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ซึ่งมีผลต่อการพิจารณาเลือกที่จะปลูกพืชใดที่จะให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่ สำหรับผู้ที่จะลงทุนตั้งโรงงานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์นั้นก็มีความเสี่ยงต่อความคุ้มทุนของโรงงานผลิตไบโอดีเซล อันเป็นผลมาจากความเพียงพอของปริมาณการผลิตปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้ยังมีความไม่ชัดเจนในเรื่องการกำหนดมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ และการกำหนดราคาน้ำมันไบโอดีเซลที่จำหน่ายเช่นเดียวกับการจำหน่ายเอทานอล ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้ นับว่ามีส่วนสำคัญอย่างมากในการตัดสินใจลงทุนในธุรกิจไบโอดีเซล นอกจากนี้ความต้องการไบโอดีเซลที่จะบรรลุเป้าหมายตามแผน เพื่อรองรับกับการขยายการผลิตปาล์มน้ำมัน การผลิตไบโอดีเซลซึ่งปัจจัยที่จะทำให้ผู้บริโภคหันมาใช้ น้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมไบโอดีเซลนั้นนอกจากราคาจะจูงใจแล้ว ผู้บริโภคนั้นยังพิจารณาถึงมาตรฐานของน้ำมัน และการรับรองการใช้ของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ ซึ่งถ้ามีความชัดเจนในเรื่องดังกล่าวแล้ว ปริมาณความต้องการไบโอดีเซลก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับปริมาณความต้องการใช้แก๊ซโซฮอล์

2.2 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ไขมันและน้ำมันเป็นสารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ โมเลกุลของไขมันประกอบด้วยกรีเซอร์อิน 1 โมเลกุล และกรดไขมัน 3 โมเลกุล ซึ่งอาจจะเป็นกรดไขมันชนิดเดียวกันหรือต่างกัน ไขมันมีหลายชนิดแล้วแต่ชนิดของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ โดยทั่วไปแล้วในน้ำมันพืชจะประกอบไปด้วย ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เป็นส่วนใหญ่

ไตรกลีเซอไรด์ เป็นสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดไขมันกับกรีเซอร์อิน ในภาพแสดงโครงสร้างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์
ที่มา: Agarwal (2006)

จากรูปที่ 2.1 R^1 , R^2 , R^3 คือ สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมัน ดังนั้นชนิดของกรดไขมันจึงขึ้นอยู่กับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบ ในตารางที่ 2.1 คือ ชนิดของกรดไขมันซึ่งพบในน้ำมันพืชส่วนใหญ่ พร้อมทั้งแสดงจุดหลอมเหลว (Melting Point) และจุดเดือด (Boiling Point) ของกรดไขมันแต่ละชนิด ตั้งแต่กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 8 อะตอม จนถึงจำนวนคาร์บอน 22 อะตอม ซึ่งจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนคาร์บอน ในกรณีที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรณีที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว จุดหลอมเหลวจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน

ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้าง จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ

Fatty acid	No. of Carbons and double bonds	Chemical structure	Melting point (deg C)	Boiling point (dec C)
Caprylic	C8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	16.5	239
Capric	C10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	31.3	269
Lauric	C12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	43.6	304
Myristic	C14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	58	332
Palmitic	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	62.9	349
Palmitoleic	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	33	*
Stearic	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69.9	371
Oleic	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	16.3	*
Linoleic	C18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	- 5	*
Linolenic	C18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	- 11	*
Arachidic	C20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	75.2	*
Eicoseno	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	23	*
Behenic	C22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	80	*
Eurcic	C22:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	34	*

หมายเหตุ * ไม่มีข้อมูล

ที่มา: Waste Management and Research Center (2006)

ในน้ำมันพืชส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด ดังนั้นคุณสมบัติของน้ำมันชนิดหนึ่งๆ จึงขึ้นอยู่กับกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ ในตารางข้างล่าง แสดงชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2.2 ชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

Vegetable oil	Fatty acid composition (% by weight)									
	14:0	16:0	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3
Corna	-	11.67	1.85	0.24	0.00	0.00	25.16	0.00	60.60	0.48
Cottonseeda	-	28.33	0.89	0.00	0.00	0.00	13.27	0.00	57.51	0.00
Crambea	-	2.07	0.70	2.09	0.80	1.12	18.86	58.51	9.00	6.85
Peanuta	-	11.38	2.39	1.32	2.52	1.23	48.28	0.00	31.95	0.93
Rapeseeda	-	3.49	0.85	0.00	0.00	0.00	64.40	0.00	22.30	8.23
Soybeana	-	11.75	3.15	0.00	0.00	0.00	23.26	0.00	55.53	6.31
Sunflowera	-	6.08	3.26	0.00	0.00	0.00	16.93	0.00	73.73	0.00
Safflowerb	0	9	2	0	0	0	12	0	78	0
H.O.Safflowerb	Tr	5	2	Tr	0	0	79	0	13	0
Sesameb	0	13	4	0	0	0	53	0	30	0
Rice - branb	0.4 - 0.6	11.7 - 16.5	1.7 - 2.5	0.4 - 0.6	-	0.4 - 0.9	39.2 - 43.7	-	26.4 - 35.1	-
Salb	-	4.5 - 8.6	34.2 - 44.8	6.3 - 12.2	-	-	34.2 - 44.8	-	2.7	-
Mahuab	-	16.0 - 28.2	20.0 - 25.1	0.0 - 3.3	-	-	41.0 - 51.0	-	8.9 - 13.7	-

ตารางที่ 2.2(ต่อ) ชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

Vegetable oil	Fatty acid composition (% by weight)									
	14:0	16:0	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3
Neemb	0.2 - 0.26	13.6 - 16.2	14.4 - 24.1	0.8 - 3.4	-	-	49.1 - 61.9	-	2.3 - 15.8	-
Karanjab	-	3.7 - 7.9	2.4 - 8.9	-	-	1.1 - 3.5	44.5 - 71.3	-	10.8 - 18.3	-

หมายเหตุ Tr: Trace

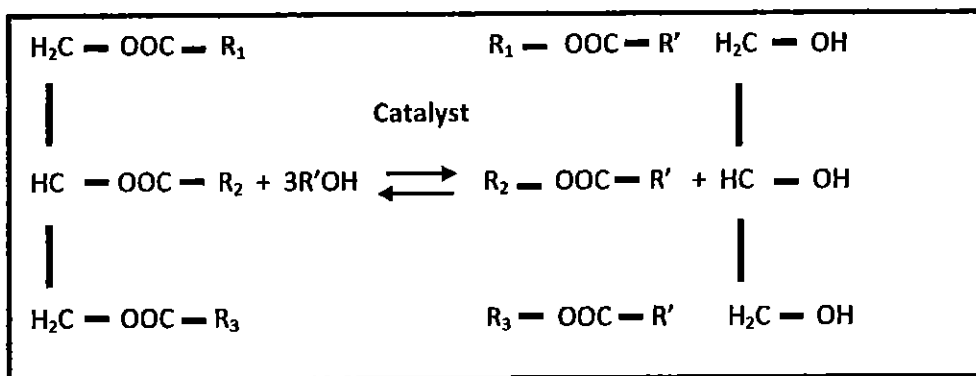
ที่มา: a Ma and Hanna (1999), b Agarwal (2006)

เนื่องจากน้ำมันพืชและสัตว์มีกรดไขมันชนิดต่างกันเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94 - 96% ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกัน

โมเลกุลส่วนใหญ่ของน้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) มากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) ดังนั้นจึงปรากฏเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง สำหรับโมเลกุลของไขมันสัตว์มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงปรากฏเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและทำให้ไขมันสัตว์มีลักษณะเฉพาะ คือ มีจุดหลอมเหลวสูงและมีความหนืดสูง นอกจากนี้ยังมีจุดขุ่นตัวและจุดเทตัวสูงกว่าน้ำมันพืชอีกด้วย

2.3 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification)

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์เป็นไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเป็นสารประกอบทางเคมีที่จะมีส่วนประกอบด้วยกรดไขมัน (Fatty acid) และกลีเซอริน (Glycerine) เมื่อไตรกลีเซอไรด์นี้รวมตัวกับปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกินพอ (Excess alcohol) โดยมีสารเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง (Base catalyst) จะทำให้เกิดการรวมตัวกัน พันธะของกรดไขมันและแอลกอฮอล์เกิดเป็นไบโอดีเซล (Glycerol) ซึ่งเป็นสารเคมีที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง เป็นผลพลอยได้ ปฏิกริยานี้เรียกว่า "Transesterification" ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
ที่มา: Ma and Hanna (1999)

2.3.1 ชนิดตัวเร่งปฏิกริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การนำตัวเร่งปฏิกริยามาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกริยาเคมีและผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีขึ้น โดยชนิดของตัวเร่งปฏิกริยาสามารถแบ่งได้ดังนี้

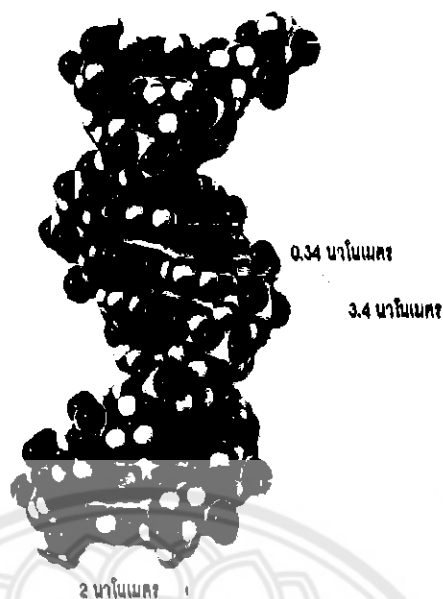
ก. ตัวเร่งปฏิกริยาชนิดเบส (Base Catalyst)

ตัวเร่งปฏิกริยาชนิดเบสที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งควรใช้ทำปฏิกริยากับเมทานอลหรือเอทานอล โดยน้ำมันที่ใช้จะเป็นชนิดใดก็ได้ เช่น น้ำมันดิบ (Crude Oil) น้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น ก่อนทำปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันควรเปลี่ยนจากรูปเบส (NaOH, KOH) ไปเป็นในรูปของสารประกอบอัลคอกซี (alcoxy) ก่อน โดยการเตรียมสารประกอบอัลคอกซีเป็นไปดังปฏิกริยาเคมีในรูป



รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาเคมีในการเตรียมสารอัลคอกซี
ที่มา: Marchetti et al. (2005)

สำหรับตัวเร่งปฏิกริยาชนิดเบสนี้ จะทำให้ปฏิกริยาเกิดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกริยาอีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) ในปริมาณที่สูงด้วย ส่วนข้อจำกัดตัวเร่งปฏิกริยาชนิดเบส คือ น้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบ (Free Fatty Acid) ถ้ามีน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในระบบของการเกิดปฏิกริยาในปริมาณมาก จะทำให้มีสบู่เกิดขึ้นแทนที่จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.4 พันธะของเบส

ที่มา: สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล

เบสมีความหนืดมากกว่าน้ำเล็กน้อย มีรสขม คล้ายสบู่เมื่อสัมผัส ทำปฏิกิริยากับกรดได้เกลือ การทำกรดให้เป็นด่างเมื่อละลายในน้ำ เบส ไฮดรอกไซด์จะแตกตัวเป็นไฮดรอกไซด์และไฮดรอกไซด์ไอออนและคล้ายกันในน้ำ ไฮโดรเจนคลอไรด์ก็จะแตกตัวออกมาเป็นไฮโดรเนียมและคลอไรด์ไอออน เมื่อนำสารละลายทั้งสองมาผสมกัน H_3O^+ และ OH^- ไอออน จะรวมกันเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ ถ้าจำนวนของ NaOH และ HCl ละลายเท่ากัน (วัดเป็นโมลไม่ใช่กรัม) ด่างและกรดจะทำปฏิกิริยากันพอดีแล้วเกิดเป็น NaCl (เกลือแกง) ละลายอยู่ในสารละลายนั้น

ความเป็นด่างของนอนไฮดรอกไซด์ทั้งไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตและแอมโมเนีย เป็นเบส แม้ว่าสารประกอบทั้งสองจะไม่มีหมู่ OH^- ก็ตาม อันนี้เป็นเพราะว่าสารประกอบทั้งสองรับ H^+ เมื่อละลายน้ำ

เบสที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฮเทอโรเจนีส (Bases as heterogeneous catalysts) สารประกอบต่างสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายน้ำแบบเฮเทอโรเจนีส ในปฏิกิริยาเคมีได้ ตัวอย่าง คือ โลหะออกไซด์ เช่น

- แมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide)
- แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide)
- บาเรียมออกไซด์ (barium oxide)
- โพแทสเซียมฟลูออไรด์ (potassium fluoride) บนอะลูมินา (alumina)
- ซีโอไลต์ (zeolite)

โลหะทรานซิชันใช้ทำตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดี หลายตัวทำให้เกิดสารประกอบเบส ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นต่างใช้ในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน

ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส จะมีการเร่งปฏิกิริยาที่รวดเร็วกว่าการใช้กรดหลายเท่าจึงมักจะนิยมใช้ตัวเร่งชนิดนี้มาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีราคาถูกกว่าสารชนิดอื่นๆ

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะมีระดับการเปลี่ยนแปลงไขมันเป็นเมทิลเอสเทอร์ที่สูงในระยะเวลาอันสั้น แต่ก็พบว่า มีข้อเสียหลายประการ เช่น การแยกกลีเซอรอลทำได้ยาก มีการรบกวนของกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) และการมีน้ำในปฏิกิริยา การกำจัดกรดหรือเบสที่ปะปนอยู่กับเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ และจำเป็นต้องทำการบำบัดน้ำเสียในภายหลัง

ข. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst)

กรดที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะทำให้ได้ผลผลิต คือ น้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมาก แต่ปฏิกิริยานั้นจะเกิดช้ามากและอาจจะต้องใช้เวลามากกว่า 1 วัน กว่าปฏิกิริยาจะเกิดอย่างสมบูรณ์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้ เช่น ในน้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น

ค. เอนไซม์ไลเปส (Lipase)

เอนไซม์ไลเปส ถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ เช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอริน แอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) และแอซิดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปส คือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกไม่มีของเสียออกมาจากกระบวนการ ข้อเสียของเอนไซม์ คือ มีราคาค่อนข้างแพง

ง. ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyst)

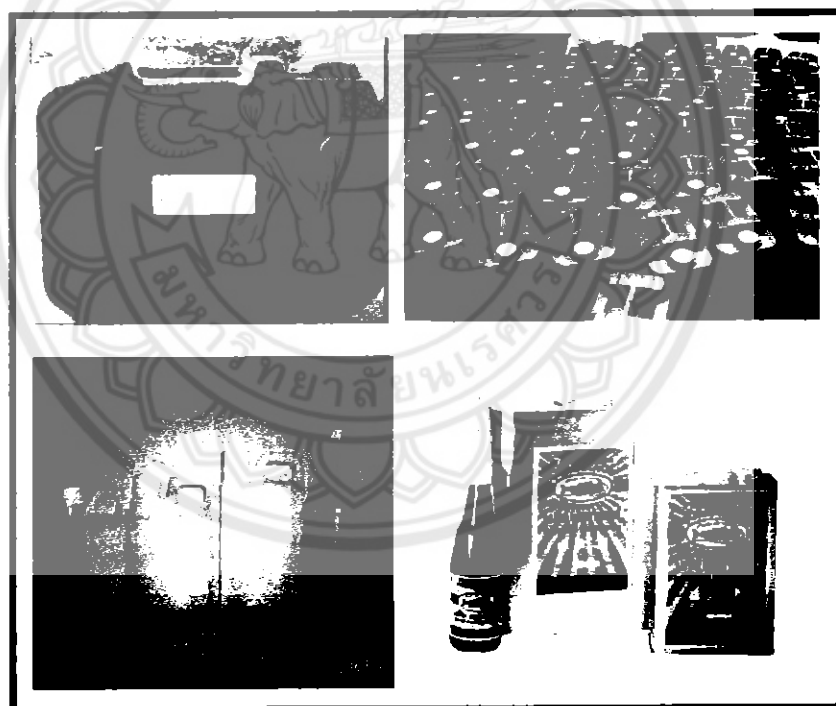
เป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวในระบบ เช่น ZrO_2 , ZnO , KNO_3/ZrO_2 , KNO_3/KL และ zeolite เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งในระบบที่มีน้ำในปฏิกิริยา

2.3.2 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

แอลกอฮอล์ส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล โดยเฉพาะเมทานอลถูกใช้มากที่สุดเพราะมีราคาถูกอีกทั้งยังมีข้อดีในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและด้านเคมี คือ เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมีขั้ว ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของเมทานอลนั้น สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดี ตามสัดส่วนของปฏิกิริยาเคมีพบว่า เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3 : 1 แต่ในทางปฏิบัติต้องใช้อัตราส่วนที่มากกว่านั้นหลังปฏิกิริยาสิ้นสุด

เมทานอลหรือเมทิลแอลกอฮอล์มีส่วนประกอบ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน มีสูตรเคมีอย่างง่าย คือ CH_3OH เป็นสารที่ไม่มีสี ติดไฟได้ง่าย มีความเป็นพิษ เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ถ้าสัมผัสร่างกาย และเป็นพิษรุนแรงถ้าเข้าสู่ร่างกายโดยการดื่มหรือสูดดม ถ้าเข้าสู่ร่างกายในปริมาณ ตั้งแต่ 4 ออนซ์ ขึ้นไปจะทำอันตรายต่อระบบประสาทและอาจทำให้ตาบอดหรือเสียชีวิตได้ จากที่มีคุณสมบัติติดไฟง่ายหรือไวไฟ ในที่อากาศถ่ายเทได้ไม่ดี ถ้ามีไอเมทานอลอยู่อย่างเข้มข้นและมีประกายไฟจะทำให้เกิดการระเบิดได้

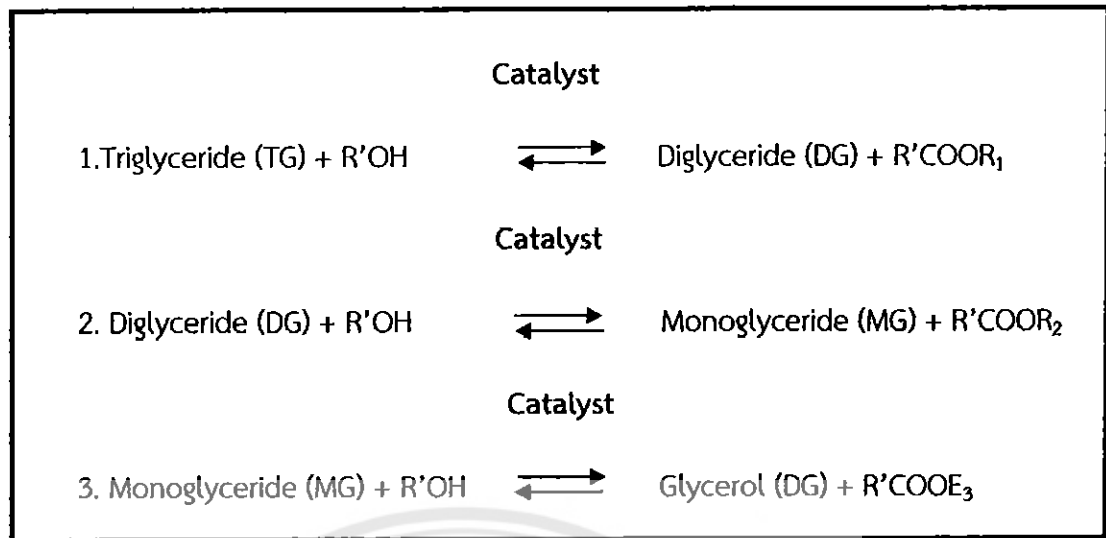
เมทานอลที่จำหน่ายในท้องตลาดจะระบุคุณสมบัติด้วยความเข้มข้น โดยมีจำหน่ายที่ความเข้มข้นประมาณตั้งแต่ 75% ขึ้นไปจนถึง 99.75% สำหรับการนำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลนั้นควรจะมีค่าความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 95% ซึ่งมีการบรรจุภาชนะจำหน่าย 3 แบบหลายปริมาณ คือ ปริมาณมากใช้ระดับอุตสาหกรรมผู้จำหน่ายจะบรรจุและขนส่งด้วยถังบรรจุกเฉพาะ (Bulk) ปริมาณ 200 ลิตร บรรจุกังกลม (Drum) ปริมาณ 20 ลิตร บรรจุกังพลาสติกแกลลอนหรือบีบีเท็กออบสังกะสี ปริมาณ 10 ลิตร และ 5 ลิตร บรรจุกังบีบีเท็กออบสังกะสีหรือการแบ่งจำหน่ายตามคำสั่งซื้อก็ตาม



รูปที่ 2.5 ภาพขณะบรรจุเมทานอล
ที่มา: บริษัท เอ ที เอส โพรเพ็คชันนัลเอ็นจิเนียริง จำกัด

2.3.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ 3 ขั้นตอนย่อยนั้น คือ เริ่มจากไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ ตามลำดับ สุดท้ายได้เป็นเอสเทอร์กับกลีเซอริน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จากกลไกจะพบได้ว่าในแต่ละขั้นตอนย่อยจะได้ 1 โมลของเอสเทอร์

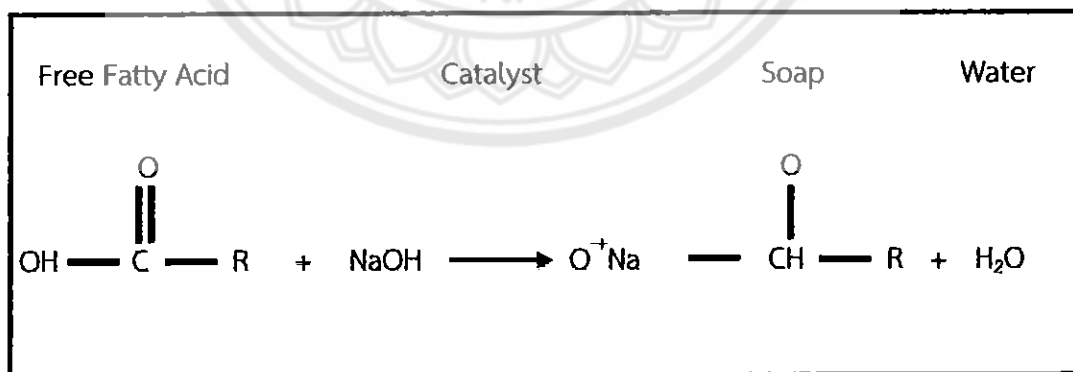


รูปที่ 2.6 กลไกการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์
ที่มา: Fukuda et al. (2001)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ก. ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (NaOH, KOH, คาร์โบเนต เป็นต้น) กลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสม เพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 2.7 สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล คือ ทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้นทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจลและยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรินอีกด้วย

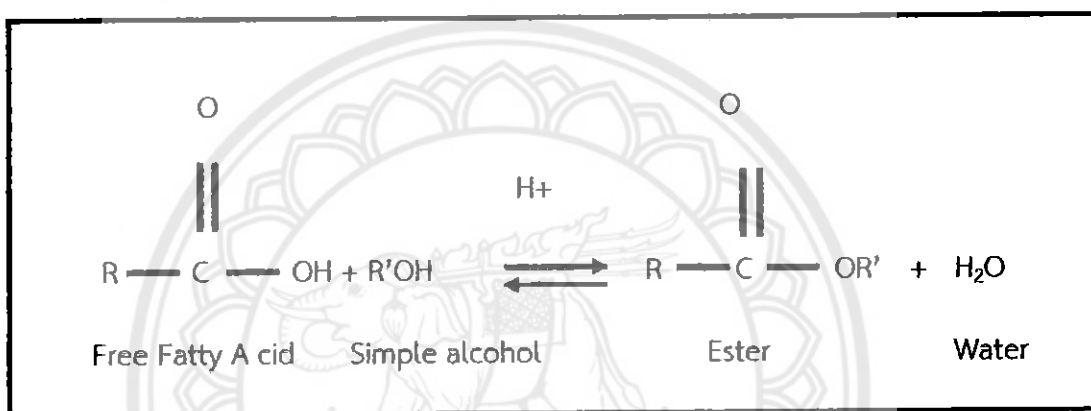


รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)

ที่มา: Waste Management and Research Center (2006)

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดสบูได้ นอกจากน้ำแล้วยังมีกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบ ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง

แต่สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่ค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid esterification) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าวไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน
ที่มา: Khan (2002)

ข. ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไป เพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการที่ยิ่งใช้อัตราส่วนมากเท่าไร ก็จะทำให้ได้เอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นเท่านั้นและภายในเวลาที่สั้นลงด้วยอัตราส่วน 6 : 1 เป็นค่าที่ถูกใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมพบว่า ได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 98 %

ค. ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด โดยที่กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่อย่างไรก็ตามกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมาก และมีน้ำผสมอยู่ด้วยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า โดยในตารางที่ 2.3 คือ ตารางที่เปรียบเทียบข้อแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด กรด เอนไซม์ และเบส เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่ความเข้มข้น 0.5 - 1 % โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ (Yield) 94 - 99% การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

เบสไม่ได้เป็นการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์

ตัวแปร	ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส	ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด	เอนไซม์ไลเปส
อุณหภูมิ (°C)	60 - 70	55 - 80	30 - 40
กรดไขมันอิสระในน้ำ	เกิดสบู่	เกิดเอสเทอร์	เกิดเอสเทอร์
น้ำในน้ำมัน	มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา	มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา	ไม่มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง
การ Recovery กลีเซอริน	ยาก	ยาก	ง่าย
การทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้องล้าง
ราคา	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง

ที่มา: Marchetti et al. (2005)

ง. ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันอย่างมาก อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอปฏิกิริยาก็จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าเป็นเมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60 - 70°C ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)

จ. ผลของอัตราการกวนผสม

การกวนผสมนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพราะน้ำมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกันปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจึงจะเกิด

2.4 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

2.4.1 การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา (Pre-treatment)

ขั้นตอนนี้มีความสำคัญ เพราะน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ตั้งต้นจะเป็นปัจจัยหลักตัวหนึ่งที่จะบ่งบอกคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ หากเป็นน้ำมันใหม่สามารถนำมาทำไบโอดีเซลได้เลย ไม่ต้องการจัดการเตรียมน้ำมันเพียงแต่ให้แน่ใจว่าในน้ำมันไม่ควรมีน้ำปะปน เพราะจะมีผลต่อการทำปฏิกิริยา ถ้ามีน้ำมากต้องนำไปต้ม เพื่อระเหยน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C หากเป็นน้ำมันเก่าใช้แล้วต้องทำการเตรียมน้ำมัน เพื่อให้น้ำมันที่นำมาใช้มีความใสไม่ขุ่นข้น วิธีการเตรียมมีหลายวิธี ดังนี้

2.4.1.1 นำน้ำมันมาตั้งทิ้งไว้รอให้แยกชั้น ดึงเอาแต่ชั้นใสไปเข้าถังพักน้ำมันดีเพื่อส่วนล่างที่เป็นตะกอนนำไปผสมน้ำเล็กน้อย (ประมาณ 10 - 15%) แล้วต้มที่อุณหภูมิ $100 - 120^{\circ}\text{C}$ ให้เดือดอยู่ที่ 100°C ขึ้นไปประมาณ 15 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้แยกชั้นอีก 1 - 2 วัน แล้วนำส่วนที่ใสมารวมในถังน้ำมันดี และใช้น้ำมันส่วนที่ใสมาทำปฏิกิริยา

2.4.1.2 นำน้ำมันมาทั้งหมดให้นำไปผสมน้ำเล็กน้อยแล้วต้มที่อุณหภูมิ $100 - 120^{\circ}\text{C}$ ให้เดือดอยู่ที่ 100°C ขึ้นไปประมาณ 15 นาที โดยต้องคนตลอดเวลาเนื่องจากน้ำที่ใส่ลงไปจะปะทุขึ้น น้ำมันให้พุ่งขึ้นเมื่อถึงจุดเดือด อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้ จากนั้นยกลง ทิ้งไว้ให้แยกชั้นใสอีก 1 - 2 วัน เอาแต่ชั้นใสไปทำไบโอดีเซล ส่วนน้ำที่เหลือชั้นล่างหมักทำปุ๋ยหมักเพื่อรดน้ำต้นไม้

2.4.2 กระบวนการทำปฏิกิริยา (Reaction step)

การเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) โดยใช้เอทานอลหรือเมทานอลผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเมทานอลหรือเอทานอลจะต้องไม่มีน้ำเจือปนเกินกว่า 1% ในการทำปฏิกิริยานั้นน้ำมันที่ถูกขจัดน้ำ แล้วจะถูกทำให้มีอุณหภูมิที่ประมาณ 60°C จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ลงไป โดยสัดส่วนสารละลายแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน โดยโมลนั้นจะเท่ากับ 4 : 1 ทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงเป็นเวลาประมาณ 60 นาที ได้เมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรินจะแยกชั้นออกจากกัน โดยกลีเซอรินจะแยกตัวตกลงมาที่ก้นถัง

2.4.3 การแยกกลีเซอริน

ภายหลังจากเขย่าหรือกวนแล้วให้ตั้งทิ้งไว้ให้กลีเซอรินนั้นแยกตัว จะเห็นการแยกชั้นได้ชัดเจนระหว่างเมทิลเอสเทอร์ (ของเหลวสีเหลืองใส) กับกลีเซอริน (สีน้ำตาลเหนียวถึงเป็นก้อน) หากเป็นการทดลองขนาดปริมาณน้อยๆ ประมาณไม่เกิน 1 ลิตร จะใช้เวลาแยกตัวประมาณ 2 - 4 ชั่วโมง หากปริมาณมากต้องทิ้งไว้ไม่ต่ำกว่า 8 ชั่วโมง และอาจทิ้งตากแดดจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและแยกตัวเร็วขึ้น ภายในหนึ่งชั่วโมงจะสังเกตเห็นปริมาณกลีเซอริน ตกออกมาเป็นส่วนของเหลวหนืดๆ นั้นจะมีสีเข้มอยู่ด้านล่างจากนั้นไขกลีเซอรินออกกลีเซอรินที่ได้ อาจจะมีปริมาณตั้งแต่ 5 - 20% กลีเซอรินจะถูกถ่ายออกใส่ภาชนะโดยการถ่ายออกทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ในขณะที่ยังร้อนอยู่ เพราะหากทิ้งไว้ให้เย็นชั้นกลีเซอรินจะกลายเป็นของแข็ง

2.4.4 การล้างสิ่งปนเปื้อนออก (Washing)

เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ยังปนเปื้อนด้วยสารอื่นๆ เช่น สบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไขมันอิสระ หรือกลีเซอริน (Glycerin) ที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเทอร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา และน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด ดังนั้นจึงต้องทำการขจัดออกด้วยการล้างด้วยน้ำอุ่นหลายๆครั้ง ตามมาตรฐาน ASTM จะให้มีแอลกอฮอล์ปนอยู่ในไบโอดีเซลได้ไม่เกิน 0.2% เท่านั้น ในการล้างไบโอดีเซลนั้นจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่จะลดปริมาณแอลกอฮอล์ลง นอกจากนี้การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำยังสามารถช่วยล้างสิ่งสกปรกอื่นๆ เช่น คราบไขมันในไบโอดีเซลได้ เราจะสังเกตได้ว่าถ้าเราใส่ตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไป จะเกิดเห็นเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นของไบโอดีเซล ชั้นกลีเซอริน และชั้นของไขมันขาวขุ่น ซึ่งอาจจะทำให้ปนเปื้อนในไบโอดีเซล การล้างน้ำสามารถทำได้ ดังนี้

2.4.4.1 เติมน้ำเปล่าสะอาดประมาณ 10% ลงในไบโอดีเซลเพื่อล้างตัวเร่งปฏิกิริยาออก อาจจะใช้สปริงเกลสดัดให้น้ำเป็นฝอย แล้วก็คนหรือจะเขย่าเบาๆ หรือใช้ปั๊มลมช่วยทำให้น้ำกระจายตัวประมาณ 5 - 10 นาที จะเห็นของเหลวทั้งหมดในขวดเป็นสีขุ่นขาว

2.4.4.2 จากนั้นตั้งทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง จะสังเกตเห็นสีของไบโอดีเซลชั้นบนอ่อนลงกว่าก่อนการล้าง และเกิดไขมันขึ้นเหนือชั้นน้ำแต่ต่ำกว่าไบโอดีเซล

2.4.4.3 นำส่วนที่เป็นชั้นล่างสุด คือ ชั้นน้ำออกมาก่อน ชั้นนี้จะมีแอลกอฮอล์ออกมาด้วย แต่เพียงเล็กน้อยไม่เป็นพิษ สามารถทิ้งลงพื้นดินหรือท่อน้ำทิ้งได้ สามารถนำไปใช้ล้างพื้นและคราบสิ่งสกปรกได้

2.4.4.4 ไขมันสบู่ล้างซ้ำอีกด้วยวิธีการแบบเดิมอีกครั้งหรือสองครั้ง ไบโอดีเซลที่ได้จะใสขึ้นและน้ำชั้นล่างก็จะใสขึ้นด้วย

2.4.4.5 วัดค่า pH ของไบโอดีเซล ไบโอดีเซลควรมีค่าใกล้เคียง 7 แต่ก็ไม่ใช่ตัววัดคุณภาพที่สำคัญมากเท่าไร



รูปที่ 2.9 สีของไบโอดีเซลจากการล้างหลายๆ ครั้ง
ที่มา: สุวัฒน์ หนูคีรี นักศึกษาวิศวอิเล็กทรอนิกส์ มทร.ธัญบุรี

2.4.5 การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย (Drying)

เมื่อทำการล้างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้วในขั้นตอนสุดท้ายก็คือ การขจัดน้ำที่ยังหลงเหลือในชั้นของเมทิลเอสเทอร์ออกซึ่งกระทำโดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120°C เป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที หรือการกรองด้วย salt filter และเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นก็สามารถนำไปเก็บเพื่อใช้งานต่อไป

2.4.6 Glycerin Evaporation Unit

เป็นกระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ที่ 80% (Technical Grade)

2.4.7 Glycerin Distillation Unit

เป็นกระบวนการทำกลีเซอรินบริสุทธิ์ที่ 99.7% (Pharmaceutical Grade)

2.4.8 กรองไบโอดีเซล ก่อนใช้งาน

ไบโอดีเซลที่ได้นำมาผ่านเครื่องกรองที่ขนาด 5 ไมครอน เพื่อดักสิ่งสกปรก ก่อนนำไปเก็บไว้ในถังเก็บอีก 1 – 2 วัน ก็นำไปใช้งานได้

2.5 คลื่นอัลตราโซนิก

2.5.1 คลื่นอัลตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 KHz เท่านั้น แต่พวกที่อายุยังน้อยๆ อาจได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่า อัลตราโซนิกจึงมักจะหมายถึง คลื่นเสียงเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิกมาใช้ก็เพราะว่า เป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวกำเนิดเสียงความถี่นั้นเช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมายคลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มิลลิเมตร เท่านั้น ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มากคลื่นเสียงจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า มีทิศทาง

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยสังเกตจากระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล จะใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนภายในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วไหลของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น คลื่นเสียงต้อง

เดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นไปนั้น อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก จึงทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่มีระยะห่างออกไปนั้น ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้นๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz (10^9 Hz) ก็มีใช้กันในหลายๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่ในอากาศ

อุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศได้หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้น มีชื่อเรียกว่า อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) ซึ่งในปัจจุบัน อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ แบบที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่

แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง

แบบแมกนีโตสทริกทิฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

แบบอิเล็กโตรสทริกทิฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

2.5.2 Sonochemistry Sono คือ เสียง และ Chemistry คือ วิชาเคมี ดังนั้น Sonochemistry ก็แปลว่า การนำพลังงานเสียงมาใช้งานทางเคมี ทำการผลิตไบโอดีเซลหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆตามต้องการ (sonochemistry is the use of sound waves of high frequency and power to input energy into a liquid reaction mixture.) การใช้ความถี่สูงๆจะทำให้มีการดึงเอาโมเลกุลออกจากกันทำให้เกิดช่องว่าง ฟองอากาศ และ Cavitation ที่มีไอของก๊าซ หรือของเหลว หลังจากเกิดการดึงหลายๆ ครั้งด้วยวัฏจักรของเสียงฟองจะแตกออก แล้วปลดปล่อยพลังงานมหาศาลออกมาจะมีอุณหภูมิประมาณ 5000°C ที่ความดัน 1000 บาร์ (14000 พีเอสไอ) ฟองเหล่านี้จึงเป็นช่องทางในการให้พลังงานกลเปลี่ยนแปลง และถ่ายเทมาเป็นพลังงานซึ่งสามารถถูกใช้ในปฏิกิริยาเคมี

ผลการศึกษาพบว่ามันใช้ได้ดีใน liquid media แต่ถ้าในสถานะก๊าซมันจะทำงานได้ดีในบางอุตสาหกรรมเคมีอย่าง การควบแน่นของหมอก (Mist) กรดกำมะถันด้วยการใช้แตรเสียงที่ 16 KHz ดังนั้นปรากฏการณ์ cavitation จึงเป็นแก่นของ Sonochemistry และผลทางเคมีแห่งเสียงนี้ (Sonochemical Effect) นักวิทยาศาสตร์ 2 คนที่ค้นพบประโยชน์ของอัลตราซาวด์ในด้านเคมี คือ วู้ด กับ ลูมิส (ค.ศ.1927) เมื่อเขาสังเกตพบว่า ปฏิกิริยาเคมีที่เขาเฝ้าติดตามอยู่มันไม่ได้เป็นผลของการใช้ความร้อน แต่เป็นผลจากการใช้พลังงานโซนิก แต่การค้นพบครานั้นความก้าวหน้าในวิชาการด้านนี้ก็ชะงักงันอยู่เป็นเวลานาน ต่อมาเมื่อเจเนเนอเรเตอร์แบบที่นำเชื้อถ่านและราคาต่ำๆ ได้แพร่หลายขึ้นในราวปี 1980 จึงมีการรื้อฟื้นความสนใจในด้านอัลตราโซนิกและวิชาโซโนเคมีนี้ขึ้นมาใหม่ โซโนเคมีในระยะแรกๆ หมายถึง การใช้อัลตราซาวด์ไปเหนี่ยวนำปฏิกิริยาเคมี ต่อมาใน

ในสมัยใหม่นี้จึงขยายผลออกมาเป็นการใช้อัลตราซาวด์ในกระบวนการผลิตอาหาร การทำให้เกิดภาวะเสถียรของอิมัลชันของน้ำมันและการลดขนาดของอนุภาค (particle size reduction) การกรองอนุภาคที่แขวนลอย การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน อะตอมิเซชัน (Atomization) ในการปกป้องภาวะแวดล้อม เพิ่มเติมเข้ามาที่ศูนย์เทคโนโลยีทางอาหาร ปรีนซ์ เอ็ดเวิร์ด ได้มีการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในการแยกผลิตภัณฑ์อาหาร จากธรรมชาติด้วยการนำมาช่วยศูนย์ก็สามารถแยกเอาผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงในธรรมชาติ จากแหล่งชีวภาพทางทะเลและแหล่งชีวภาพทางเกษตรกรรม

ในมหาวิทยาลัยอิลลินอยส์ได้มีการตั้งศูนย์วิจัยระยะทาง Sonochemistry ตั้งแต่ปี 1994 และเป็นศูนย์ที่มีการบูรณาการ 6 สาขาของ Sonochemistry

1. ด้านที่ใช้ในวิทยาศาสตร์อาหาร เช่น การผสม
2. ด้านนาโนเทคโนโลยี
3. ด้านที่ใช้ในการรักษาโรค เช่น การรักษามะเร็ง การส่งยาไปในร่างกาย
4. การใช้งานในทาง Electrochem เช่น การทำอิเล็กโทรเพลตติ้ง
5. การออกแบบ เตปฏิกิริยา (Reactor Design)
6. การรักษาภาวะแวดล้อม เช่น การคืนสภาพของที่ดิน และน้ำ

การสังเคราะห์และการเกิดปฏิกิริยาในโซโนเคมี

โซโนเคมีจะว่าด้วยการใช้อัลตราซาวด์กับปฏิกิริยาและกระบวนการทางเคมีแมคคานิชิมนี้ทำให้เกิดปรากฏการณ์อะคูสติกคาวีเทชัน ผลทางโซโนเคมีสามารถสังเกตได้ในการสังเคราะห์และปฏิกิริยาทางเคมี (เมื่อใช้อัลตราซาวด์)

1. การเพิ่มความเร็วของปฏิกิริยา (increase in reaction speed)
2. การเพิ่มของผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยา (increase in reaction output)
3. การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (more efficient energy usage)
4. การสวิตชิงของ เส้นทางการปฏิกิริยา (sonochemical methods for switching of reaction pathway)
5. การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา (performance improvement of phase transfer catalysts)
6. การหลีกเลี่ยงการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (avoidance of phase transfer catalysts)
7. การใช้ crude reagents
8. การเกิด activation ของ metals และ solids
9. การเพิ่ม reactivity ของ reagents or catalysts
10. การปรับปรุงการสังเคราะห์อนุภาค (improvement of particle synthesis)
11. การฉาบผิวด้วยอนุภาคนาโน (coating of nanoparticles)

ควาวิตะชัน คือ การเกิดการชนกันอย่างรุนแรงของฟองในของเหลวทำให้เกิดความร้อนถึง ~ 5000 K ก่อให้เกิดความดันถึง ~1000 atm ก่อให้เกิดการเพิ่มความร้อน (หรือการลด) ด้วยอัตรามหาศาล >10⁹ K/s และเกิดไมโครเจทที่ความเร็ว ~400 กม./ชม. ฟองที่เกิดควาวิตะชันเป็นฟองของสุญญากาศ สุญญากาศจะเกิดจากการที่พื้นผิวที่เคลื่อนที่เร็ว (a fast moving surface) ด้านหนึ่งสวนทางกับของเหลวที่เฉื่อย (inert liquid) ทำให้เกิดผลต่างของความดันที่มหาศาลที่สามารถเอาชนะแรงดึงดูดภายในโมเลกุลของของเหลว ควาวิตะชันอาจเกิดจากเวินจูรีนออกซิเดชันจากหัวฉีดความดันสูงจากการหมุนอย่างรวดเร็วหรือจากการเหนียวนำด้วยอัลตราซาวด์ ในระบบที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ พลังงานที่ถูกใช้ (เป็นพลังงานอินพุท) จะถูกเปลี่ยนเป็นความเสียหาย ความปั่นป่วน คลื่นและควาวิตะชัน สัดส่วนของพลังงานอินพุทที่ถูกเปลี่ยนเป็นควาวิตะชันจะขึ้นอยู่กับหลายๆ แฟคเตอร์ที่อธิบายการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดควาวิตะชัน ความเข้มของความเร่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากอันหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานเป็นควาวิตะชันอย่างมีประสิทธิภาพ ความเร่งที่สูงจะก่อให้เกิดผลต่างของความดันที่มากมาย สิ่งนี้จะไปทำให้เกิดฟองสุญญากาศที่มากขึ้น แทนที่มันจะเกิดการเคลื่อนที่ผ่านของเหลวของคลื่นอัลตราซาวด์ ดังนั้นยังมีความเร่งสูงๆ เท่าไรก็จะมีสัดส่วนที่สูงของ (พลังงานที่จะเปลี่ยนเป็น) ควาวิตะชัน

2.6 การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)

2.6.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.6.1.1 เมทิลแอลกอฮอล์ 95 %

2.6.1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 นอร์มัล จัดเตรียมได้โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บสารละลายต่างในขวดแก้ว

2.6.1.3 ฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 1

2.6.2 วิธีการวิเคราะห์

2.6.2.1 การชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1 - 10 กรัม ในขวดรูปชมพู่ที่มีขนาด 250 มิลลิลิตร

2.6.2.2 เตรียมสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ให้เป็นกลาง โดยเติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด และปรับให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล หยดเบสลงทีละหยดพร้อมทั้งเขย่าหรือคนจนได้สีชมพูถาวร

2.6.2.3 เติมเมทิลแอลกอฮอล์ที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ ถ้าละลายได้ไม่ดีให้อุ่นที่อุณหภูมิ 60 - 65°C

2.6.2.4 ไตเตรทสารละลายตัวอย่าง ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัลขณะที่ทำการไตเตรทต้องเขย่าอย่างแรงจนกระทั่งได้สีชมพูคงที่อยู่ประมาณ 1 นาที

2.6.2.5 คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระจากสูตร

กรดไขมันอิสระ
ร้อยละในรูปกรด
โอเลอิก

$$= \frac{\text{ปริมาตรต่างที่ใช้ (มิลลิลิตร) * ความเข้มข้นต่าง (นอร์มัล) * 25.6}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}} \quad (2.2)$$

2.7 การทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลโดยการวัดความหนืด

2.7.1 วิธีการโดยสรุป (Summary of Method)

นำน้ำมันตัวอย่างใส่ใน Ubbelohde Tube ด้วยปริมาตรที่แน่นอนตามขนาดและชนิดของ Ubbelohde Tube ที่ใช้ให้นำไปแช่ใน Water Bath ซึ่งโดยปกติแล้วใช้เวลาประมาณ 30 นาที แล้วปล่อยให้ น้ำมันตัวอย่างไหลอย่างอิสระภายใต้แรงดึงดูดของโลกผ่านหลอดแก้วเล็กๆ โดยเริ่มจับเวลาเมื่อส่วนบน (Head Level) ของน้ำมันตัวอย่างไหลถึงจุดจับเวลาจุดแรก (Start Mark) และหยุดเมื่อถึงจุดจับเวลาจุดที่สอง (Stop Mark) นำเวลาที่ได้ไปคูณด้วยค่าคงที่ของ Ubbelohde Tube (Ubbelohde Tube constant) ค่าที่ได้คือ Kinematic Ubbelohde Tube ซึ่งมีหน่วยเป็น เซนติสโตรก (cSt)

2.7.2 อุปกรณ์การทดลอง (Apparatus)

2.7.2.1 Ubbelohde Tube ซึ่งเป็นหลอดแก้วเล็กๆ ที่ตรวจสอบความถูกต้องแล้ว (Calibrated Glass Capillary) และสามารถให้ความแม่นยำได้ตามที่กำหนด

2.7.2.2 Ubbelohde Tube Holder ที่สามารถจับ Ubbelohde Tube ให้อยู่ในแนวตั้งและอยู่ในลักษณะเหมือนกับตอนที่ทำการ Calibrate

2.7.2.3 Water Bath ใช้ของเหลวที่สามารถมองเห็นได้และให้มีปริมาตรที่สามารถจุ่ม Ubbelohde Tube ในส่วนที่ใส่น้ำมันตัวอย่างอยู่ให้ลึกอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร จากผิวบนของของเหลวและสูงอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร จากก้นของ Water Bath และต้องควบคุมอุณหภูมิให้ได้โดยผิดพลาดไม่เกิน 0.02°C (0.04°F)

2.7.2.4 นาฬิกาจับเวลา ซึ่งให้ความถูกต้องในการจับเวลาไม่ต่ำกว่า 0.07% หลังจากเวลาผ่านไป 15 นาที

2.7.3 วิธีการทดลอง (Procedure)

วิธีการทดลองสำหรับของเหลว (น้ำมัน) ชนิดโปร่งแสง (Procedure for Transparent Liquids)

2.7.3.1 เลือก Ubbelohde Tube ที่แห้งและสะอาด ตามชนิดและขนาดให้เหมาะสมกับงานที่จะใช้กล่าวคือ ตัวอย่างที่หนืดมากๆควรเลือก Ubbelohde Tube ที่มี Capillary กว้างส่วนตัวอย่างที่มีความหนืดต่ำใช้ Ubbelohde Tube ที่มี Capillary แคบ โดยเวลา

ที่ใช้ในการทดลองในช่วงวัดเวลาเป็นวินาที ระหว่างจุดที่หนึ่งและจุดที่สอง ไม่ควรต่ำกว่า 200 วินาที แต่ยังมี Ubbelohde Tube บางขนาดหรือชนิดที่กำหนดค่า Minimum Flow Time ไว้ต่างกันไปจากนี้

2.7.3.2 นำน้ำมันตัวอย่างใส่ใน Ubbelohde Tube ตามวิธีที่กำหนดโดยผู้ออกแบบเครื่องมือ แต่โดยทั่วไปใช้วิธีที่ว่า Ubbelohde Tube ให้ทางด้านที่ไม่มีจุดจับเวลาจุ่มในน้ำมันตัวอย่าง แล้วใช้ Suction ดูอีกทางหนึ่งจนได้ปริมาณน้ำมันตามที่ Ubbelohde Tube นั้นๆ กำหนด (หากตัวอย่างมีพวก Solid Particles ต้องกรองด้วยกรองเบอร์ 200 (75 μm) ก่อน)

2.7.3.3 นำ Ubbelohde Tube ไปแชวนใน Water Bath ที่ตั้งอุณหภูมิไว้แล้วและทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของ Bath ซึ่งปกติจะใช้เวลาประมาณ 30 วินาที และ Bath หนึ่งๆ สามารถแชวน Ubbelohde Tube ได้หลายอัน แต่ต้องไม่มีการเพิ่ม Ubbelohde Tube อันใหม่เข้าไปหรือนำออกในขณะที่กำลังจับเวลาอันใดอันหนึ่งอยู่

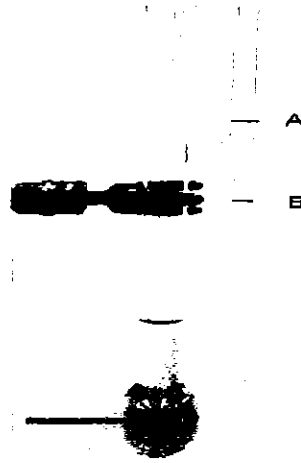
2.7.3.4 ใช้ Suction หรือ Pressure ปรับให้ระดับบน (Head Level) ของน้ำมันตัวอย่างอยู่สูงกว่าจุดจับเวลาจุดแรก (Start Mark) ประมาณ 5 มิลลิเมตร ปล่อยให้ น้ำมันตัวอย่างไหลโดยอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก เริ่มจับเวลาเมื่อระดับบนไหลถึงจุดจับเวลาจุดแรกและหยุดเมื่อถึงจุดจับเวลาจุดที่สอง (Stop Mark) บันทึกเวลาที่ได้เป็นวินาที

หมายเหตุ

1. หากเวลาที่ได้ไม่ถึง 200 วินาที (Ubbelohde Tube บางชนิด/ขนาดอาจกำหนดค่า Flow Time อย่างต่ำไว้ต่างไปจากนี้) จะต้องทำการทดลองใหม่โดยใช้ Ubbelohde Tube ที่มี Capillary เล็กลง

2. การใช้ Ubbelohde Tube ที่มี Capillary กว้างเกินไป (คือ Flow Time ไม่ถึง 200 วินาที) จะทำให้การจับเวลาผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากน้ำมันตัวอย่างไหลเร็วเกินไป แต่ในทางกลับกันหากใช้ Ubbelohde Tube ที่มี Capillary แคบเกินไป ก็จะทำให้เสียเวลามากเกินความจำเป็น

3. สำหรับ Ubbelohde Tube แบบ Ostwald และ Suspended ต้องทำการทดลองตามข้อ 2.7.3.4 ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง หาก Flow Time ที่ได้ครั้งแรกกับครั้งที่สองต่างกันไม่เกิน 0.2% ถือว่าผลการทดลองนี้ใช้ได้ สามารถนำ Flow Time ที่ได้จากการเฉลี่ยของทั้งสองครั้งไปคำนวณหาค่า Kinematic Viscosity ได้เลย แต่ถ้า Flow Time ที่ได้ทั้งสองครั้งต่างกันเกิน 0.2% จะต้องทิ้งผลการทดลองนี้ไปและเริ่มทำการทดลองใหม่ โดยกรองตัวอย่างผ่านกรองเบอร์ 200 (75 μm) ไม่ว่าตัวอย่างนั้นจะมี Solid Particles หรือไม่ก็ตาม



รูปที่ 2.10 Ubbelohde tube

ที่มา: Encyclopedia From Wikipedia

15512335

ร/อ.

๗/๒๘๒๐

2.7.4 คำนวณความหนืด

การคำนวณและการรายงานผล (Calculations and Report)

๒๕๕๓

สูตรคำนวณ $V = C t$

(2.3)

โดยที่ V = Kinematic Viscosity มีหน่วยเป็น cSt (Centistokes หรือ Millimeters Square per Second: mm²/s)

C = ค่าคงที่ของ Ubbelohde Tube มีหน่วยเป็น cSt/s

T = Flow Time ที่ได้จากการจับเวลา มีหน่วยเป็น s (วินาที)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขวัญหทัย ทองแก้ว, วิไลวรรณ วินทะไชย และพรทิชา อินทร์ชำนาญ (2551) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งชนิด CaO ร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ความถี่ 28 kHz โดยศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (6 : 1, 9 : 1 และ 12 : 1) อัตราส่วนโดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมัน (2 : 100, 4 : 100 และ 6 : 100) อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (30, 40, 50 และ 60°C) การเติมน้ำและการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการกวนตัวเร่งในสารละลายน้ำต่อเมทานอลก่อนที่จะผสมกับน้ำมันพบว่าสภาวะที่ดีที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 9 : 1 อัตราส่วนโดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันเท่ากับ 4:100 และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60°C นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมน้ำและการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการกวนทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันได้ดีขึ้น โดยที่สภาวะที่ดีที่สุดมีค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลเท่ากับ 64% ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 180 นาที

ณัฐรินทร์ ศรีเอกทวีรัตน์ และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งชนิดต่างๆเพื่อใช้กับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมออกไซด์เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (CaO(800)) สตรอนเซียมออกไซด์ (SrO) สตรอนเซียมออกไซด์ร้อยละ 5 ที่เคลือบฝังบนแคลเซียมออกไซด์ (5%SrO/CaO) โพแทสเซียมออกไซด์ร้อยละ 5 ที่เคลือบฝังบนแคลเซียมออกไซด์ (5%K₂O/CaO) และร้อยละ 50 ของทั้งสตรอนเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ (50SrO/50CaO) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 โดยน้ำหนักคิดเทียบกับน้ำมันปาล์มและส่วนผสมของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลที่อัตราส่วนโดยโมล 1 : 6 อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันบนตัวเร่งปฏิกิริยา 50SrO/50CaO, SrO, CaO และ5%SrO/CaO ไม่พบกลีเซอริน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณต่างที่มีความแรงสูงและมีปริมาณค่อนข้างต่ำความแรงของต่างบนพื้นที่ผิวไม่เพียงพอต่อการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในขั้นตอนเริ่มต้น

พจนาลัย ชาวช่วยหมาก, อีระสุด สุขกำเนิด และวีรชัย อาจหาญ (2547) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของคลื่นอัลตราโซนิคในการดำเนินปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้โซดาไฟเป็นตั้งเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูง และจากการทดลองพบว่ามีคอนเวอร์ชันของไตรกลีเซอไรด์สำหรับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่เวลา 60 นาที คือ 94.54% และ77.22% ตามลำดับ และจากการศึกษาถึงผลกระทบของความถี่พบว่าความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิคที่เหมาะสมคือ 28 kHz

อนุชา พรหมวังขวา (2545) ได้ศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันจากน้ำมันพืชที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ปฏิกิริยาทำไบโอดีเซลเป็นแบบ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและขั้นตอนที่สองใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ค่าสัดส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช และปริมาณตัวเร่งต่าง ค่าสัดส่วนโมลมีค่า 9 : 1, 12 : 1, และ15 : 1 และปริมาณตัวเร่งต่างมีค่า 13.5, 18.0, และ 21.5 กรัมต่อลิตรน้ำมันพืชเงื่อนไขปฏิกิริยาที่คงที่ประกอบด้วย ในขั้นตอนแรกใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 55 °C และในขั้นตอนที่สองใช้ระยะเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60 °C ผลการทดลองพบว่า จุดที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาคือที่สัดส่วนโมลของเมทานอล 12:1 และปริมาณ KOH 18 กรัมต่อลิตรของน้ำมันพืชจะได้ปริมาณร้อยละของผลผลิตประมาณ 93% และค่าความหนืดต่ำกว่า 5.0 cSt. @40°C

Hamed Mootabadi, Babak Salamatinia, Subhash Bhatia, Ahmad Zuhairi Abdullah (2010) ได้ทำการศึกษาการใช้คลื่นอัลตราโซนิคช่วยในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO, SrO และBaO และจะใช้คลื่นอัลตราโซนิคที่ความถี่ 20 kHz เพื่อศึกษาผลกระทบของเวลาทำปฏิกิริยา (10 – 60 นาที) อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันปาล์ม 3 : 1 ~ 15 : 1 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณ 0.5 – 3% และช่วงของความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิค ที่ 25 – 100% สภาวะที่ดีที่สุด 60 นาทีให้ผลิตภัณฑ์ 95% โดยการเปรียบเทียบเวลา

2 - 4 ชั่วโมง กับการกวนธรรมดา อีกทั้งคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้นั้นยังเป็นค่าที่เหมาะสม และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพจากที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิกช่วยเหลือปฏิกิริยา ทำให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์ชัดเจนยิ่งขึ้น

Masato Kouzu, Takekazu Kasuno, Masahiko Tajika, Yoshikazu Sugimoto, Shinya Yamanaka, Jusuke Hidaka (2008) ได้ทำการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้ปฏิกิริยา transesterification กับน้ำมันถั่วเหลือง โดยจะใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO), แคลเซียมไดออกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต (เกลือ (CaCO_3)). เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง พบว่า $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ให้ผลิตภัณฑ์ 93%, 12% และ CaCO_3 จะให้ผลิตภัณฑ์ 0% ซึ่งสารประกอบไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมัน จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี

Xuejun Liu, Huayang He, Yujun Wang, Shenlin Zhu, Xianglan Piao (2008) ได้ศึกษาการใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจากน้ำมันถั่วเหลือง เพื่อทดสอบหาผลกระทบของอัตราส่วนของ methanol กับน้ำมัน และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตรามวลของตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมัน และปริมาณน้ำ จากการทดลองพบว่าใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันที่ 12 : 1 การเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยา CaO 8% อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส และน้ำ 2.03% ใน methanol จะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และผลิตผล biodiesel ที่ได้เกิน 95% ที่ 3 ชั่วโมง

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ

3.1 การเตรียมอุปกรณ์ สารเคมี

3.1.1 จัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1.1 ตรวจสอบรายการเครื่องมือว่าต้องใช้เครื่องมือใดบ้าง แล้วทำการติดต่อสั่งซื้อ เพิ่มหากอุปกรณ์ใดที่มีอยู่แล้วก็เตรียมให้พร้อมต่อการใช้งาน

3.1.1.2 จัดหาซื้อน้ำมันตามร้านค้าที่มีน้ำมันที่ใช้แล้วขาย ซื้อน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วจากร้านลูกชิ้นทอดทั่วไป และนำน้ำมันที่ได้มากรองเอาตะกอนและสิ่งที่ไม่เจอปนออก แล้วต้มเอาน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันออกให้หมด โดยต้มที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 นาที เพื่อให้น้ำระเหยออกจากน้ำมัน

3.1.1.3 การเลือกซื้อกระดาษกรอง ต้องเลือกกระดาษกรองที่ใช้สำหรับการกรองน้ำมัน โดยเฉพาะ เพื่อประสิทธิภาพในการกรองเอาสิ่งเจอปนออกจากน้ำมัน และเอาสารส่วนไม่ละลายออก

3.1.2 เตรียมน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

น้ำมันเก่าใช้แล้วต้องทำการเตรียมน้ำมัน เพื่อให้น้ำมันที่นำมาใช้มีความใส ไม่ขุ่นข้น วิธีการเตรียมมีหลายวิธี ดังนี้

3.1.2.1 นำน้ำมันมาตั้งทิ้งไว้รอให้น้ำมันแยกชั้น แล้วดึงเอาแต่ชั้นใสไปเข้าถังพักน้ำมันดี เพื่อส่วนล่างที่เป็นตะกอนให้นำไปผสมน้ำเล็กน้อย (ประมาณ 10 - 15%) แล้วต้มที่อุณหภูมิ 100 - 120 องศาเซลเซียส ให้เดือดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส ขึ้นไปประมาณ 15 นาที หากมีกลิ่นเหม็นหรือจากการทำไบโอดีเซลชุดก่อน ให้นำมาชุกกับมะพร้าวเพื่อเพิ่มความร้อนในเตาให้มาก และเร็วขึ้น จากนั้นทิ้งไว้ให้แยกชั้นอีก 1 - 2 วัน แล้วนำส่วนที่ใสมารวมในถังน้ำมันดี และใช้น้ำมันส่วนที่ใสมาทำปฏิกิริยา

3.1.2.2 นำน้ำมันมาทั้งหมดไปผสมน้ำเล็กน้อย แล้วต้มที่อุณหภูมิ 100 - 120 องศาเซลเซียส ให้เดือดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไปประมาณ 15 นาที โดยต้องคนตลอดเวลา เนื่องจากน้ำที่ใสลงไปจะปะทุคั้นน้ำมันให้พุ่งขึ้นเมื่อถึงจุดเดือด อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้ จากนั้นยกลงทิ้งไว้ให้แยกชั้นใสอีก 1 - 2 วัน เอาแต่ชั้นใสไปทำไบโอดีเซล ส่วนน้ำที่เหลือชั้นล่างเอาทิ้ง

3.1.3 เตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้และตรวจสอบให้ครบถ้วน

อุปกรณ์ที่ใช้ขึ้นกับเครื่องมือที่มี บางคนมีชุดผลิตที่ทำขึ้นจากสแตนเลส บางคนมีชุดทดลองขนาดเล็ก บางคนมีชุดเขย่าด้วยขวด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการทดลอง แต่ที่สำคัญควรมีอุปกรณ์ป้องกันภัย ได้แก่ แว่นตากันสารเคมี หมวก ที่ปิดจมูก รองเท้าบูท หรือหุ้มเท้า เป็นต้น

3.1.4 ยาสามัญประจำบ้าน

ควรเตรียมไว้ให้มีเสมอ เพราะเป็นสิ่งสำคัญมากหากเกิดอุบัติเหตุจากการทดลองจะได้รักษาหรือปฐมพยาบาลเพื่อบรรเทาอาการก่อนไปโรงพยาบาลในลำดับต่อไป เช่น แอลกอฮอล์ ล้างแผล น้ำยาล้างตา เป็นต้น

3.2 แผนการทดลอง

3.2.1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษางานวิจัยและเอกสารอ้างอิงต่างๆ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลการผลิตไบโอดีเซลที่ดีจะอยู่ในช่วง 0.5% - 3.0% ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ในการทดลองนี้จึงเลือก ใช้ที่ปริมาณ 0.5%, 1.75% และ 3% โดยกำหนดให้อุณหภูมิ เวลา และปริมาณของเมทานอลคงที่

3.2.2 การหาสัดส่วนของเมทานอล

การทดลองที่เกี่ยวข้องได้ศึกษาผลของเมทานอลที่มีผลต่อการทดลองไบโอดีเซล ผลคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ดีที่สุดคือ 3:1 โมล แต่ในการทดลองนี้มีการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C และเพื่อป้องกันการระเหยของเมทานอลซึ่งจะทำให้อาจไม่เกิดปฏิกิริยาเลยจึงได้ใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล ต่อน้ำมันเป็น 4:1 โมล โดยกำหนดให้อุณหภูมิ และเวลาคงที่

3.2.3 การหาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

จากการศึกษาการทดลองที่เกี่ยวข้อง อุณหภูมิที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลนั้น ไม่ควร จะเกิน 60°C เพราะจะทำให้เมทานอลระเหยออกระหว่างการทำปฏิกิริยา ดังนั้นการทดลองเราจึงเลือกที่จะใช้อุณหภูมิในการทดลองนี้คือ 30°C และ 60°C เพื่อดูความแตกต่างระหว่างให้ความร้อน และไม่ให้ความร้อน ในการทำปฏิกิริยา โดยกำหนดให้ เวลา และปริมาณเมทานอลคงที่

3.2.4 การหาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

การทดลองต่างๆที่เกี่ยวข้องนั้นได้สรุปผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาว่า เวลาในการทำปฏิกิริยายังนานมากขึ้นเท่าไร ปฏิกิริยาก็จะยิ่งเกิดได้ดีและจะได้ผลิตภัณฑ์(ไบโอดีเซล) แต่การทดลองนี้เราใช้สารตั้งต้น(น้ำมันปาล์มใช้แล้ว) แค่ 100 กรัม ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 1 ชั่วโมง โดยกำหนดให้อุณหภูมิ และปริมาณเมทานอลคงที่

3.3 การทดลอง

3.3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

3.3.1.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ใช้อุณหภูมิที่ 30°C และ 60°C

3.3.1.2 การใช้ปริมาณของตัวเร่งแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ใช้ที่ 0.5%, 1.75% และ 3% (0.5กรัม, 1.75กรัม และ 3กรัม)

3.3.1.3 อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วต่อเมทานอลใช้ 4 : 1 โมล (15 กรัม ต่อ น้ำมัน 100 กรัม)

3.3.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้

3.3.2.1 ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร

3.3.2.2 เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic Bath)

3.3.2.3 ขวดปริมาตรทรงกรวย (flask)

3.3.2.4 กระจกทรง

3.3.2.5 Magnetic Stirrer

3.3.2.6 เครื่องซึ่งสารดิจิตอล

3.3.2.7 ขวดแก้ว

3.3.2.8 กรวยแยก

3.3.2.9 ตัวจับ (Clamp and Clamp holder)

3.3.2.10 ขาตั้ง (Stand)

3.3.2.11 กรวยกรอง

3.3.2.12 แท่งแก้วคนสารละลาย

3.3.2.13 ซ้อนตักสาร

3.3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

3.3.3.1. ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสด้วยปฏิกิริยา
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3.3.3.2. การทดลองผลิตไบโอดีเซลร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิกโดยมีวิธี ดังนี้
วิธีการทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C และ 60 °C

ขั้นตอนที่ 1. นำน้ำมันที่ใช้แล้วมากรองด้วยกระดาษกรองให้มันแต่ น้ำมันกรองเอาส่วนที่เป็น
สิ่งเจือปนกับน้ำมันออก กรองเสร็จให้นำไปปล่อยทิ้งไว้สักครู่



รูปที่ 3.1 น้ำมันปาล์มใช้แล้ว

ขั้นตอนที่ 2. การตวงน้ำมัน นำน้ำมันที่กรองเรียบร้อยแล้วมาทำการต้ม เพื่อให้ให้น้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันได้ระเหยออกออกจากน้ำมัน โดยในการต้มน้ำมันจะใช้อุณหภูมิที่ 100°C และใช้เวลาในการต้มน้ำมัน 15 - 20 นาที

ขั้นตอนที่ 3. ทำการติดตั้งเครื่องอัลตราโซนิก Ultrasonic Bath โดยนำน้ำใส่ลงในเครื่อง Ultrasonic Bath พอประมาณเสียบปลั๊ก และเตรียมขาตั้งที่จะยึดจับกับขวดปริมาณทรงกรวย



รูปที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์

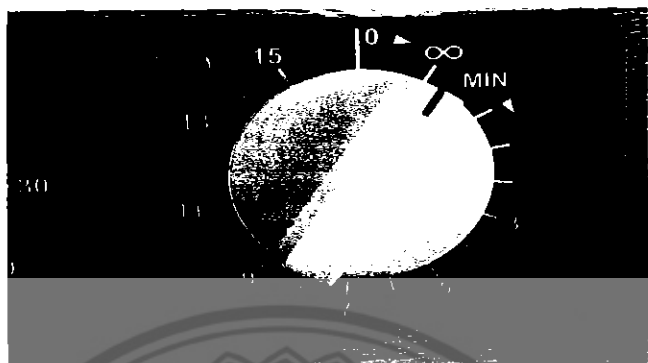
ขั้นตอนที่ 4. ตวงน้ำมันที่ผ่านการต้มมาแล้วให้ได้ปริมาณ 100 กรัม แล้วเทใส่ลงไปในขวดปริมาตรทรงกรวย (flask) แล้วนำไปติดตั้งใช้ Clamp and Clamp holder (ตัวจับ) ยึดจับไว้ให้แน่น และค่อยหย่อนลงไปเครื่องอัลตราโซนิก และเปิดเครื่องปรับตั้งอุณหภูมิไปที่ 30°C (ในกรณีที่ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C ให้ปรับตั้งอุณหภูมิไปที่ 60°C) เพื่ออุ่นน้ำมันที่จะทำการทดลอง ปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 5. ตวงเมทานอลปริมาณ 15 กรัม และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยซิงปริมาณ 0.5%, 1.75% และ 3% โดยมวลของน้ำมันในการทดลองนี้ใช้น้ำมันที่ 100 กรัม ดังนั้นจึงต้องใช้แคลเซียมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม, 1.75 กรัม และ 3 กรัม ตามลำดับ แล้วรอที่จะนำไปผสมกับน้ำมันที่ทำการอุ่นไว้ที่เครื่องอัลตราโซนิก



รูปที่ 3.3 การตวงเมทานอล

ขั้นตอนที่ 6. ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เทสสารละลายแคลเซียมออกไซด์ที่ผสมกับเมทานอลแล้วลงในน้ำมันที่ร้อน 60°C ที่อยู่ในเครื่อง Ultrasonic Bath โดยผ่านกรวยกรอง (ป้องกันไม่ให้สารตกกระเด็น) แล้วทำการกวนประมาณ 3 - 5 นาที แล้วค่อยเปิดคลื่น Ultrasonic บนตัวเครื่อง Ultrasonic Bath ไปที่สัญลักษณ์ ∞



รูปที่ 3.4 สัญลักษณ์ ∞

โดยที่ใช้อุณหภูมิ 60°C ใช้เวลา 1 ชั่วโมง แล้วสังเกตสีการเปลี่ยนแปลงและอุณหภูมิ จะพบว่าถ้าเกิดไบโอดีเซล สีต้องเข้มขึ้นไม่ขุ่นขึ้นเหลืองครึ้ม และอุณหภูมิจะสูงขึ้นด้วย

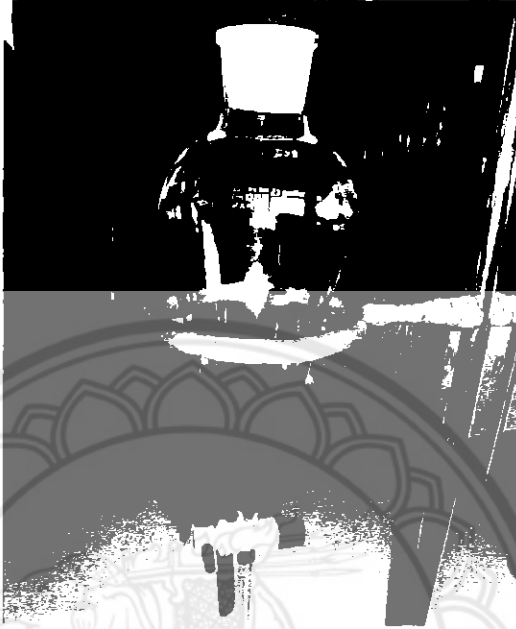


รูปที่ 3.5 การทำปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 7. กรองตัวเร่งของแข็ง นำน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาเสร็จแล้วมากรองตัวเร่งที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา โดยนำกระดาษกรองใส่ในกรวยกรองแล้วใส่ในขวดรูปชมพู่แล้วนำน้ำมันเทลงกรวยกรองที่วางกระดาษกรอง รอจนน้ำมันกรองหมด

ขั้นตอนที่ 8. ทิ้งให้กลีเซอรินแยกตัว ภายหลังจากทำปฏิกิริยาครบ 1 ชั่วโมง แล้วนำน้ำมันมาใส่กรวยแยกตั้งทิ้งไว้ให้กลีเซอรินแยกตัว ใช้เวลาแยกตัวประมาณ 2 - 4 ชั่วโมง ภายในหนึ่งชั่วโมง จะสังเกตเห็นปริมาณกลีเซอริน ตกออกมาเป็นส่วนของเหลวหนืดๆ สีเข้มอยู่ด้านล่าง แล้วดูผลว่ามี การแยกชั้นของน้ำมันหรือเปล่า ถ้าหากมีการแยกชั้นของน้ำมันส่วนข้างบนใสและข้างล่างขุ่นๆ สีเข้ม แสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยานำน้ำมันส่วนบนไปทำการวัดความหนืดในขั้นตอนต่อไปได้เลย แต่หากไม่มี การแยกชั้นก็แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยา

การใช้กรวยแยกไขแยกสารเนื้อผสม ที่เป็นของเหลวผสมอยู่กับของเหลวแต่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า จะอยู่ข้างบนของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่า จะอยู่ข้างล่าง



รูปที่ 3.6 การตั้งแยกชั้นกลีเซอริน

ขั้นตอนที่ 9. ไชกลีเซอรินออก หลังจากตั้งทิ้งไว้ให้กลีเซอรินแยกตัว จะเห็นการแยกชั้นชัดเจนระหว่าง เมทิลเอสเทอร์ (ของเหลวสีเหลืองใส) กับกลีเซอริน (สีน้ำตาลเหนียวถึงเป็นก้อน) จากนั้นไขกลีเซอรินออก กลีเซอรินที่ได้อาจมีปริมาณตั้งแต่ 5 - 20%



รูปที่ 3.7 การแยกชั้นของกลีเซอริน

ขั้นตอนที่ 10. การวัดความหนืด เมื่อผ่านขั้นตอนของการตั้งแยกแล้ว เมื่อน้ำมันมีการแยกชั้นเราจะนำน้ำมันส่วนบนที่มีลักษณะใสมาทำการวัดความหนืด เพื่อนำเวลาจากการวัดไปหาค่าความหนืดของน้ำมัน

นำไบโอดีเซลที่ผ่านการกรองแล้วมาใส่ Ubbelohde tube เพื่อจับเวลาการไหลของน้ำมัน โดยจับเวลาตั้งแต่น้ำมันอยู่ตรงขีดบน (A) แล้วหยุดจับเวลาขณะที่น้ำมันไหลลงจนมาถึงขีดล่าง (B) ดังรูป



รูปที่ 3.8 จุดจับเวลาและหยุดเวลาของ Ubbelohde tube

วัดความหนืด คำนวณจากสูตร

$$\text{นำเวลาการไหลของน้ำมันที่ได้มาคำนวณในสมการ } V = C \cdot t \quad (3.1)$$

โดยที่ $V = \text{kinematic viscosity, mm}^2/\text{s}$

$C = \text{calibration constant of the Ubbelohde tube, mm}^2/\text{s}^2$

$t = \text{mean flow time, s}$

ตัวอย่างผลทดสอบ

$$\text{สูตร } V = C \cdot t$$

เมื่อ เวลาในการไหล	= 225 วินาที
ค่าคงที่ของ Ubbelohde tube	= 0.1200 cs/sec
ความหนืด	= 225 × 0.1200
	= 27.0 Centistoke

ตารางที่ 3.1 การทดลองที่อุณหภูมิ 30°C

รอบ	อัตราส่วน เมทานอล:น้ำมัน (ไมล)	ปริมาณ CaO (กรัม)	ความถี่คลื่นอัลตราโซนิก (kHz.)	เวลา (นาที)
1	4 : 1	0.5	35	60
2	4 : 1	0.5	35	60
3	4 : 1	0.5	35	60
รอบ	อัตราส่วน เมทานอล:น้ำมัน (ไมล)	ปริมาณ CaO (กรัม)	ความถี่คลื่นอัลตราโซนิก (kHz.)	เวลา (นาที)
1	4 : 1	1.75	35	60
2	4 : 1	1.75	35	60
3	4 : 1	1.75	35	60
รอบ	อัตราส่วน เมทานอล:น้ำมัน (ไมล)	ปริมาณ CaO (กรัม)	ความถี่คลื่นอัลตราโซนิก (kHz.)	เวลา (นาที)
1	4 : 1	3	35	60
2	4 : 1	3	35	60
3	4 : 1	3	35	60

ตารางที่ 3.2 การทดลองที่อุณหภูมิ (60°C)

รอบ	อัตราส่วน เมทานอล:น้ำมัน (โมล)	ปริมาณ CaO (กรัม)	ความถี่คลื่นอัลตราโซนิก (kHz.)	เวลา (นาที)
1	4 : 1	0.5	35	60
2	4 : 1	0.5	35	60
3	4 : 1	0.5	35	60
รอบ	อัตราส่วน เมทานอล:น้ำมัน (โมล)	ปริมาณ CaO (กรัม)	ความถี่คลื่นอัลตราโซนิก (kHz.)	เวลา (นาที)
1	4 : 1	1.75	35	60
2	4 : 1	1.75	35	60
3	4 : 1	1.75	35	60
รอบ	อัตราส่วน เมทานอล:น้ำมัน (โมล)	ปริมาณ CaO (กรัม)	ความถี่คลื่นอัลตราโซนิก (kHz.)	เวลา (นาที)
1	4 : 1	3	35	60
2	4 : 1	3	35	60
3	4 : 1	3	35	60

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4.1 นำผลการทดลองที่ได้ทั้งหมด มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพในการทดลองครั้งนี้

3.4.2 นำน้ำมันที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ในการทดลองนี้มาเปรียบเทียบกัน
น้ำมันตัวอย่างที่ทดลอง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.5% ซึ่งเป็นตัวเร่งที่นิยมใช้กันทั่วไป


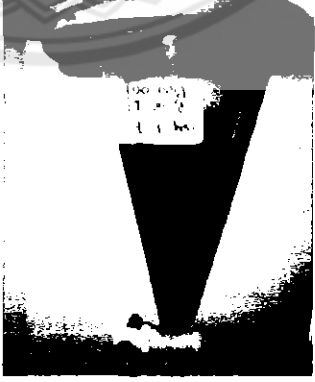


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการผลิตด้วยคลื่นอัลตราโซนิก




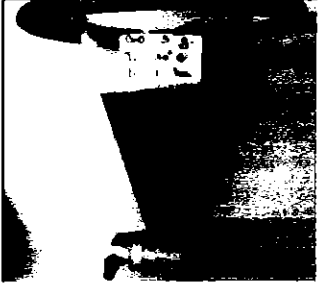
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 30°C, ความถี่ 35 kHz., เมทานอล 15 กรัม และเวลา 60 นาที

รอบ	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์ (กรัม)	ผลการทดลอง	ลักษณะทาง กายภาพ
1	0.5		สีเหลืองเข้มถึงน้ำตาล มีลักษณะใสไม่มีการแยกชั้น ของกลีเซอรินเกิดขึ้น
2	0.5		สีเหลืองเข้มถึงน้ำตาล มีลักษณะใสไม่มีการแยกชั้น ของกลีเซอรินเกิดขึ้น

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 30°C, ความถี่ 35 kHz, เมทานอล 15 กรัม และ เวลา 60 นาที




รอบ	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์ (กรัม)	ผลการทดลอง	ลักษณะทาง กายภาพ
3	0.5		สีเหลืองเข้มถึงน้ำตาล มีลักษณะใส ไม่มีการแยกชั้น ของกลีเซอรินเกิดขึ้นแสดงว่า ไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ ริฟิเคชัน
1	1.75		สีเหลืองเข้มถึงน้ำตาล มีลักษณะใส ไม่มีการแยกชั้น ของกลีเซอรินเกิดขึ้นแสดงว่า ไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ ริฟิเคชัน
2	1.75		สีเหลืองเข้มถึงน้ำตาล มีลักษณะใส ไม่มีการแยกชั้น ของกลีเซอรินเกิดขึ้นแสดงว่า ไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ ริฟิเคชัน

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 30°C, ความถี่ 35 kHz., เมทานอล 15 กรัม และ เวลา 60 นาที



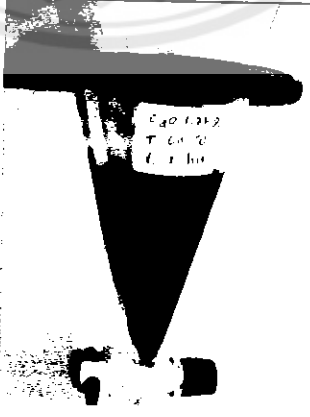
รอบ	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์ (กรัม)	ผลการทดลอง	ลักษณะทาง กายภาพ
3	1.75		สีเหลืองเข้มถึงน้ำตาลมีลักษณะ ใสไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอริน เกิดขึ้น แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
1	3.0		สีเหลืองเข้มถึงน้ำตาลมีลักษณะ ใสไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอริน เกิดขึ้น แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
2	3.0		สีเหลืองเข้มถึงน้ำตาลมีลักษณะ ใสไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอริน เกิดขึ้น แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
3	3.0		สีเหลืองเข้มถึงน้ำตาลมีลักษณะ ใสไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอริน เกิดขึ้น แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

สรุปผลการทดลองที่อุณหภูมิ 30°C, ความถี่ 35 kHz., เมทานอล 15 กรัม และเวลา 60 นาที ปรากฏว่าสี ของน้ำมันตัวอย่างยังคงเป็นสีเข้มอยู่ และไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอรินเกิดขึ้น ดังนั้นแสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน




ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C, ความถี่ 35 kHz., เมทานอล 15 กรัม และเวลา 60 นาที

รอบ	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์ (กรัม)	ผลการทดลอง	ลักษณะทาง กายภาพ
1	0.5		สีเหลืองเข้ม มีลักษณะขุ่นเล็กน้อย ไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอริน เกิดขึ้น แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
2	0.5		สีเหลืองเข้ม มีลักษณะขุ่นเล็กน้อย ไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอริน เกิดขึ้น แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
3	0.5		สีเหลืองเข้ม มีลักษณะขุ่นเล็กน้อย ไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอริน เกิดขึ้น แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C, ความถี่ 35 kHz., เมทานอล 15 กรัม และเวลา 60 นาที

รอบ	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์ (กรัม)	ผลการทดลอง	ลักษณะทาง กายภาพ
1	1.75		สีเหลืองเข้ม มีลักษณะขุ่น เล็กน้อยไม่มีการแยกชั้นของ กลีเซอรินเกิดขึ้น แสดงว่าไม่ เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ ริฟิเคชัน
2	1.75		สีเหลืองเข้ม มีลักษณะขุ่น เล็กน้อยไม่มีการแยกชั้นของ กลีเซอรินเกิดขึ้น แสดงว่าไม่ เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ ริฟิเคชัน
3	1.75		สีเหลืองเข้ม มีลักษณะขุ่น เล็กน้อยไม่มีการแยกชั้นของ กลีเซอรินเกิดขึ้น แสดงว่าไม่ เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ ริฟิเคชัน


ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C, ความถี่ 35 kHz, เมทานอล 15 กรัม และ เวลา 60 นาที

รอบ	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์ (กรัม)	ผลการทดลอง	ลักษณะทาง กายภาพ
1	3.0		มีสีเหลืองเข้มมาก มีลักษณะ ขุ่นเล็กน้อย ไม่มีการแยกชั้น ของกลีเซอรินเกิดขึ้น แสดงว่า ไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ ริฟิเคชัน
2	3.0		มีสีเหลืองเข้มมาก มีลักษณะ ขุ่นเล็กน้อย ไม่มีการแยกชั้น ของกลีเซอรินเกิดขึ้น แสดงว่า ไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ ริฟิเคชัน
3	3.0		มีสีเหลืองเข้มมาก มีลักษณะ ขุ่นเล็กน้อย ไม่มีการแยกชั้น ของกลีเซอรินเกิดขึ้น แสดงว่า ไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ ริฟิเคชัน

สรุปผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C , ความถี่ 35 kHz., เมทานอล 15 กรัม และเวลา 60 นาที ปรากฏว่าสีของน้ำมันตัวอย่างจะมีสีอ่อนกว่าการทำปฏิกิริยาที่ 30°C แต่ยังคงเป็นสีเหลืองเข้มอยู่ และไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอรินเกิดขึ้นเช่นกัน ดังนั้นแสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

4.2 ผลการทดลองการผลิตโดยใช้ต่าง (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C , เมทานอล 22 กรัม และเวลา 60 นาที

รอบ	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)	ผลการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพ
1	0.5		มีสีเหลืองใสมีการแยกชั้นของกลีเซอริน ซึ่งเป็นสีเหลืองเข้มถึงน้ำตาลอยู่ด้านล่าง แสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

สรุปผลของการทดลองโดยใช้เบส (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C , เมทานอล 22 กรัมและเวลา 60 นาที ปรากฏว่าสีของน้ำมันตัวอย่างจะมีสีเหลืองใสอยู่ด้านบน และมีการแยกชั้นของกลีเซอรินเกิดขึ้นอยู่ด้านล่างซึ่งเป็นสีเหลืองเข้ม ดังนั้นแสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 30°C, ความถี่ 35 kHz, เมทานอล 15 กรัม และเวลา 60 นาที ปรากฏว่าสีของน้ำมันตัวอย่างยังคงเป็นสีเข้มอยู่และไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอรินเกิดขึ้น ดังนั้นแสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริเฟเคชัน

ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C, ความถี่ 35 kHz, เมทานอล 15 กรัม และเวลา 60 นาที ปรากฏว่าสีของน้ำมันตัวอย่างจะมีสีอ่อนกว่าการทำปฏิกิริยาที่ 30°C แต่ยังคงไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอรินเกิดขึ้นเช่นกัน ดังนั้นแสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริเฟเคชัน

จากผลการทดลองทั้งหมดปรากฏว่า ทั้ง 2 สภาวะไม่มีการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริเฟเคชัน คาดว่าน่าจะเกิดจากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันมีปริมาณที่น้อยเกินไปที่จะใช้ทำปฏิกิริยา และไม่มีการกวนผสมระหว่างเมทานอล ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และน้ำมันในการทำปฏิกิริยา ซึ่งส่งผลให้ไม่มีการสัมผัสกันระหว่างสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมันตั้งต้น

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรจะเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันให้มากกว่า 4:1 โมล เพื่อจะทำให้เกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริเฟเคชัน

5.2.2 ควรจะมีการกวนผสมระหว่างเมทานอล ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และน้ำมันตลอดการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง เพื่อที่จะทำให้เนื้อสารนั้นสัมผัสกันกันได้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ริเฟเคชัน

เอกสารอ้างอิง

- ขวัญหทัย ทองแก้ว, วิไลวรรณ วินทะไชย และพรทิวา อินทร์ชำนาญ. "การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งชนิด CaO ร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิกในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2551
- ณัฐรินทร์ ศรีเอกกวีรัตน์ และคณะ. "การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันด้วยสารตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งเพื่อผลิตไบโอดีเซล." วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 29 (เมษายน-มิถุนายน 2553): 139-148.
- พจนาลัย ชาวช่วยหมาก และคณะ. "การใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการปรับปรุงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี และสาขาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2547
- อนุชา พรมวังขวา และประเสริฐ ฤกษ์เกรียงไกร. "ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์." งานวิจัยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และสถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545
- Hamed Mootabadi, Babak Salamatinia, Subhash Bhatia and Ahmad Zuhairi Abdullah. Ultrasonic-assisted biodiesel production process from palm oil using alkaline earth metal oxides as the heterogeneous catalysts. Fuel 2010; 89: 1818 – 1825.
- Masato Kouzu, Takekazu Kasuno, Masahiko Tajika, Yoshikazu Sugimoto, Shinya Yamanaka, Jusuke Hidaka. Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production. Fuel 2008; 87: 2798 – 2806.
- Xuejun Liu, Huayang He, Yujun Wang, Shenlin Zhu, Xianglan Piao. Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. Fuel 2008; 87: 216 – 221.



ภาคผนวก ก
ตารางแสดงมวลโมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวใน
น้ำมันปาล์มโอเลอิน

ตาราง ก.1 แสดงมวลโมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันปาล์มโอเลอิน

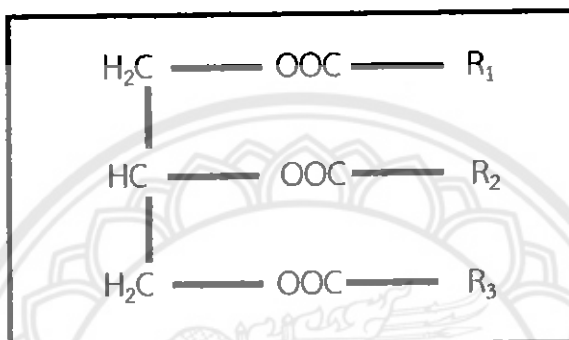
No.	Name	สูตรทางเคมี	มวล โมเลกุล (MW.)	เปอร์เซ็นต์ใน น้ำมันปาล์ม (% in PO.)	MW. * (% in PO.)
1	Caprylic	$C_8H_{16}O_2$	144	0.03	4.32
2	Capric	$C_{10}H_{20}O_2$	172	0.04	6.88
3	Lauric	$C_{12}H_{24}O_2$	200	0.46	92
4	Myristic	$C_{14}H_{28}O_2$	228	0.93	212.04
5	Palmitic	$C_{16}H_{32}O_2$	256	36.30	9292.8
6	Palmitoleic	$C_{16}H_{30}O_2$	254	0.17	43.18
7	Margaric	$C_{17}H_{34}O_2$	270	0.09	24.3
8	Margaraleic	$C_{17}H_{32}O_2$	268	0.03	8.04
9	Stearic	$C_{18}H_{36}O_2$	284	4.30	1221.2
10	Oleic	$C_{18}H_{34}O_2$	282	45.98	12966.36
11	Linolelaidic	$C_{18}H_{30}O_2$	278	0.12	33.36
12	Linoleic	$C_{18}H_{32}O_2$	280	10.53	2948.4
13	Alpha-linolenic	$C_{18}H_{30}O_2$	278	0.26	72.28
14	Arachidic	$C_{20}H_{40}O_2$	312	0.40	124.8
15	Gadoleic	$C_{20}H_{38}O_2$	310	0.18	55.8
16	Behenic	$C_{22}H_{44}O_2$	340	0.07	23.8
17	Lignoceric	$C_{24}H_{48}O_2$	368	0.11	40.48
SUM				100%	27170.04

ที่มา: American Journal of Food Technology 6 (5): 348-361, 2011

การคำนวณหาปริมาณโมเลกุลของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

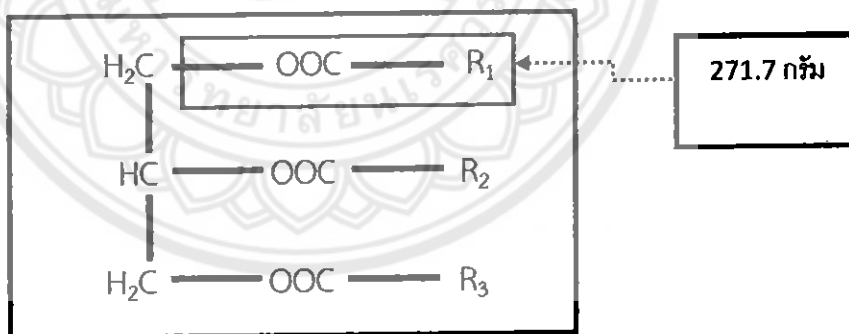
$$\begin{aligned}
 1. \text{ มวลโมเลกุลของ } &= \text{SUM} \{ \text{MW} \cdot (\% \text{ in PO.}) \} / \text{SUM} (\% \text{ in PO.}) && \text{(ก.1)} \\
 \text{น้ำมันปาล์มโอเลอิน} & && \\
 &= 27170.04 / 100\% \\
 &= 271.7 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

2. น้ำมันปาล์ม 1 โมล มีพันธะดังรูป



รูปที่ ก.1 พันธะน้ำมันปาล์ม 1 โมล

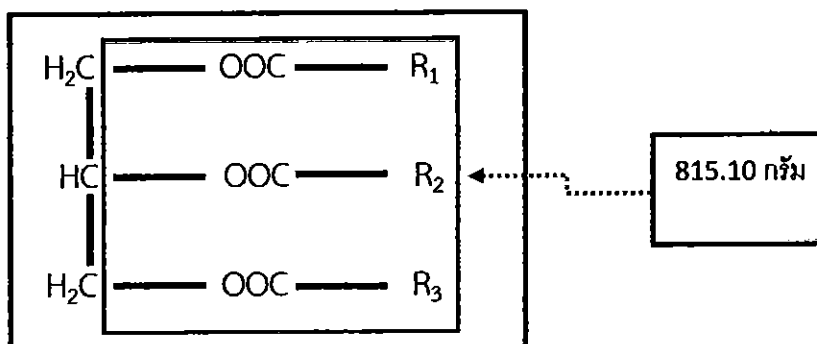
3. แต่ค่ามวลโมเลกุลที่หาได้เท่ากับ 271.7 กรัม เป็นแค่ค่าของพันธะเดี่ยวดังรูป



รูปที่ ก.2 ค่ามวลโมเลกุล 1 พันธะ

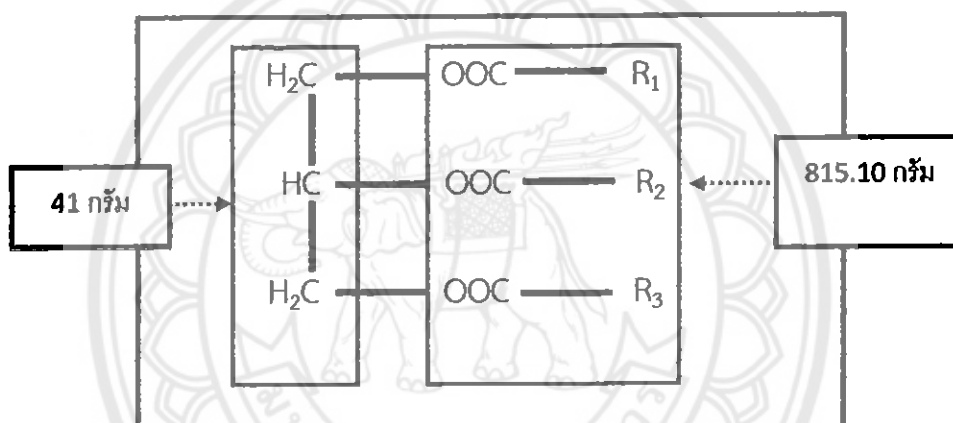
เพราะฉะนั้น พันธะเคมีของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวมี 3 พันธะ ค่ามวลโมเลกุลที่ได้ต้องคูณ 3 เสียก่อน จะได้

$$\begin{aligned}
 \text{ค่ามวลโมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว 3 พันธะ} &= 271.7 \text{ กรัม} \cdot 3 \text{ พันธะ} && \text{(ก.2)} \\
 &= 815.10 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$



รูปที่ ก.3 คำนวณโมเลกุล 3 พันธะ

4. นำมวลโมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของ 3 พันธะ ที่ได้ไปรวมกับมวลโมเลกุลของพันธะเคมีด้านหน้าดังรูป



รูปที่ ก.4 คำนวณโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม 1 โมล

$$\begin{aligned} \text{จะได้มวลโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม 1 โมล} &= 815.10 \text{ กรัม} + 41 \text{ กรัม} && (\text{ก.3}) \\ &= 856.10 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นมวลโมเลกุล (MW.) ของน้ำมันปาล์มโอเลอิน 1 โมล เท่ากับ 856.10 กรัม

การคำนวณหาปริมาณเมทานอล

- เนื่องจากโครงการนี้ได้ศึกษาปริมาณเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 4 : 1 โมล และน้ำมันที่ 100 กรัม เมื่อเราทราบแล้วว่าน้ำมันปาล์ม 1 โมล มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 856.10 กรัม แล้วต่อไปเราก็จะมาหาปริมาณเมทานอล

น้ำมันปาล์ม

โมลเมทานอล : โมลน้ำมันปาล์ม
4 โมล : 1 โมล

$$\begin{aligned} \text{โมลของน้ำมันปาล์ม} &= \text{น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม} / \text{มวลโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม} && \text{(ก.4)} \\ &= 100 \text{ กรัม} / 856.10 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ โมลของน้ำมันปาล์ม} &\longrightarrow \text{ใช้เมทานอล 4 โมล ดังนั้น} \\ 100 \text{ กรัม} / 856.10 \text{ กรัม} &\longrightarrow [(4/1) * (100/856.10)] * \text{มวลโมเลกุลของเมทานอล} \\ &= [400 / 856.10] * \text{MW. เมทานอล} && \text{(ก.5)} \end{aligned}$$

เมทานอล

1 โมล เมทานอล = CH_3OH \longrightarrow มวลโมเลกุลเท่ากับ 32 กรัม

จากสมการที่ (ก.5)

$$[400 / 856.10] * \text{MW. เมทานอล}$$

จะได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณเมทานอล} &= [400 / 856.10] * 32 && \text{(ก.6)} \\ &= 14.884 \text{ กรัม} \longrightarrow 15 \text{ กรัม} \end{aligned}$$



1.1 ความเป็นมาของ ASTM

ASTM (American Society for Testing and Materials) นับได้ว่าเป็นสมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่กำหนด และจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก สมาคม ASTM จัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1989 ทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุนทางด้านวิชาการ เพื่อเป็นการช่วยเหลืออุตสาหกรรม หน่วยงานของรัฐ และสาธารณชนทั่วไป โดยการพัฒนามาตรฐาน ที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะและการทำงาน ของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบการใช้งาน

ASTM ถือได้ว่าเป็นสมาคมที่ใหญ่ที่สุดในโลก ในด้านของระบบการพัฒนามาตรฐาน ที่ใช้โดยความสมัครใจมาตรฐาน ASTM จัดขึ้นโดยมติของคณะกรรมการทางวิชาการเฉพาะสาขาวิชาต่างๆ ถึง 132 คณะ และมีการจัดพิมพ์มาตรฐานมากกว่า 9,800 เรื่อง ในแต่ละปี โดยมีสมาชิกที่ทรงคุณวุฒิทางวิชาการถึง 35,000 คน ประกอบด้วย ตัวแทนกลุ่มของผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้สนใจทั่วไป รวมทั้งองค์กรที่เกี่ยวข้องต่างๆ ทั้งภาครัฐ และภาคเอกชน ทำให้เชื่อได้ว่า มาตรฐาน ASTM นี้ ครอบคลุมวิชาการต่างๆ มากมาย และมีความละเอียด ลึกซึ้ง นอกจากนี้ มาตรฐาน ASTM ยังได้รับการพิจารณา ทบทวนปรับปรุง และแก้ไขเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ทันสมัยอยู่เสมอ

1.2 การจัดแบ่งมาตรฐาน ASTM

มาตรฐาน ASTM ที่ผ่านการรับรองของสมาคมฯ และประกาศใช้เป็นมาตรฐาน สามารถแบ่งตามเนื้อหา ออกได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1. Classification เป็นมาตรฐานของ ระบบการจัดการ และการจัดแบ่ง วัสดุผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบ หรือการใช้งาน ออกเป็นกลุ่มๆ โดยอาศัยคุณลักษณะที่เหมือนกัน เช่น แหล่งกำเนิด ส่วนประกอบ คุณสมบัติหรือประโยชน์ใช้สอย
2. Specification เป็นข้อกำหนดที่ระบุแน่นอน ถึงคุณลักษณะและสมบัติต่างๆ ที่ต้องการของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ ระบบหรือการใช้งาน ข้อกำหนดเหล่านี้ มักจะแสดงค่าเป็นตัวเลข และมีข้อจำกัดกำหนดไว้ พร้อมทั้งวิธีหาค่าเหล่านั้นด้วย
3. Terminology เป็นเอกสารมาตรฐาน ที่กำหนดคำนิยาม คุณลักษณะ คำอธิบายของศัพท์ต่างๆ เครื่องหมาย ตัวอย่าง คำย่อที่ใช้ในมาตรฐานต่างๆ
4. Test method เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับกรรมวิธี ที่กำหนดให้ใช้ในการตรวจสอบ พิสูจน์วัด และปริมาณคุณภาพ คุณลักษณะ คุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างของวัสดุ ระบบหรือ การใช้งาน ซึ่งมีผลการทดสอบ ที่สามารถนำไปใช้ในการประเมินค่าตามข้อกำหนด
5. Guide เป็นคำแนะนำ หรือทางเลือกให้ผู้เลือกใช้เทคนิคต่างๆ ที่มีอยู่รวมทั้งสิ่งที่จะได้จากการประเมิน และการมาตรฐานที่ใช้นั้นๆด้วย

6. Practice เป็นวิธีการปฏิบัติเฉพาะ สำหรับงานเฉพาะอย่าง ได้แก่ การเขียนรายงาน การสุ่มตัวอย่าง ความแม่นยำ ความละเอียด การเลือก การเตรียม การประยุกต์ การตรวจสอบ ข้อควรระวังในการใช้ การกำจัดทิ้ง การติดตั้ง การบำรุงรักษา ตลอดจนการใช้เครื่องมือทดสอบ

นอกจากนี้ ASTM มีการจัดแบ่งมาตรฐานออกเป็นกลุ่มๆ เฉพาะเรื่อง โดยจะใช้ตัวอักษรเป็นสัญลักษณ์แทนกลุ่มของเนื้อเรื่อง เรียงตามลำดับดังนี้

A : Ferrous Metals

B : Nonferrous Metals

C : Cementitious, Ceramic, Concrete, and Masonry Materials

D : Miscellaneous Materials

E : Miscellaneous Subjects

F : Materials for Specific Applications

G : Corrosion, Deterioration, and Degradation of Materials

เดิม ASTM ได้แบ่งประเภทมาตรฐาน ตามลักษณะการกำหนดมาตรฐาน ออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. Standards เป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้น ตามมติเอกฉันท์ของสมาชิก และผ่านการรับรองตามขั้นตอน และกฎของสมาคมฯ เรียบร้อยแล้ว
2. ES.(Emergency Standard) เป็นเอกสารที่จัดพิมพ์ตามความต้องการเร่งด่วน แต่ยังไม่ผ่านการรับรองของสมาคมฯ เพียงแต่ผ่านการพิจารณา ของคณะกรรมการบริหาร
3. P. (Proposal) เป็นเอกสารมาตรฐานที่พิมพ์เพื่อเผยแพร่ แนะนำ ก่อนที่จะพิจารณา ลงมติให้ใช้เป็นมาตรฐาน

แต่ในปี ค.ศ. 1995 สมาคม ASTM ได้กำหนดให้ใช้ PS. (Provisional Standards) ซึ่งเป็นเอกสารที่ถูกจัดพิมพ์ขึ้นมา ใช้แทน ES. และ P.

1.3 การจัดพิมพ์ Annual book of ASTM standards

ASTM standards จัดพิมพ์รวมเล่มเป็นชุดประจำปี ใช้ชื่อว่า Annual book of ASTM standards มาตรฐานที่พิมพ์รวมเล่มนี้ ต้องผ่านการรับรองของสมาคมฯ มาแล้วอย่างน้อย 6 เดือน เมื่อใช้ไปครบทุก 5 ปี จะได้รับการพิจารณาทบทวนจาก คณะกรรมการวิชาการ ซึ่งอาจมีการปรับปรุงใหม่ มาตรฐานที่นำมาพิมพ์ในแต่ละปี จึงมีทั้งเรื่องที่พิมพ์ซ้ำรวมทั้งเรื่องใหม่ และเรื่องที่ได้รับการปรับปรุง ซึ่งมีประมาณร้อยละ 30 ของเรื่องทั้งหมดในแต่ละเล่ม ผู้ใช้สามารถทราบว่ามีมาตรฐานนั้นๆ เป็นเรื่องเดิม หรือปรับปรุงใหม่ ได้จากปีที่กำกับอยู่ ท้ายรหัสตัวอักษร ที่ ASTM กำหนดให้ใช้สำหรับมาตรฐานแต่ละเรื่อง การจัดพิมพ์รวมเล่ม เอกสารมาตรฐาน ASTM นี้ จะรวมเรื่องประเภทเดียวกันไว้ในเล่มเดียวกัน และมีการพัฒนาจัดแบ่งเล่มใหม่อยู่เสมอ และในระหว่างปี ค.ศ. 1974-1982

Annual book of ASTM standards มี 47 เล่ม และเล่มที่ 48 เป็นบรรณานุกรมเอกสารมาตรฐาน ASTM และในปี ค.ศ.1983 ได้ปรับปรุงรูปเล่มขึ้นใหม่ จำนวน 66 เล่ม โดยจัดเรื่องเป็นกลุ่มๆ รวม 16 กลุ่มดังนี้

Section 1 : Iron and Steel Products

Section 2 : Nonferrous Metal Products

Section 3 : Metals Test Methods and Analytical Procedures

Section 4 : Construction

Section 5 : Petroleum Products, Lubricants and Fossil Fuels

Section 6 : Paints, Related Coatings, and Aromatics

Section 7 : Textiles

Section 8 : Plastics

Section 9 : Rubber

Section 10 : Electrical Insulation and Electronics

Section 11 : Water and Environmental Technology

Section 12 : Nuclear, Solar, and Geothermal Energy

Section 13 : Medical Devices

Section 14 : General Methods and Instrumentation

Section 15 : General Products, Chemical Specialities, and End Use Products

Section 00 : Index

การจัดพิมพ์เรื่องราวรายละเอียดของมาตรฐานในแต่ละเล่มนั้น จะมีการจัดเรียงลำดับตามรหัสตัวอักษร และตัวเลข ยกเว้นเล่มที่ 05.04, 11.01 และ 11.02 จะเรียงเรื่องตามกลุ่มวิชา และเล่มที่ 06.03 จะเรียงเรื่องตามกลุ่มคณะกรรมการที่กำหนดเรื่อง แต่อย่างไรก็ตามในแต่ละกลุ่มยังคงเรียงลำดับรหัสตัวอักษร และตัวเลขที่กำกับประจำแต่ละเรื่อง ASTM ได้มีการจัดพิมพ์ และปรับปรุงรูปเล่มของ Annual book of ASTM standards อยู่ตลอดเวลา

1.4 การค้นหาสารนิเทศจากเอกสารมาตรฐาน ASTM

เล่มที่ 00.01 เป็นบรรณานุกรมของเอกสารมาตรฐานทั้งหมด โดยแบ่งเป็น 2 ตอน ตอนแรกเป็นบรรณานุกรมหัวข้อ (subject index) ตอนหลังเป็น บรรณานุกรมรหัส ตัวอักษร และตัวเลขประจำเรื่องมาตรฐาน (alphanumeric list) เรียงตามลำดับตัวอักษร และตัวเลข

1.4.1 บรรณานุกรมหัวข้อ (subject index)

ใช้ค้นหาหมายเลขมาตรฐาน ของเรื่องที่ต้องการ และเล่มที่ตีพิมพ์ เนื้อเรื่องเต็มของมาตรฐานหมายเลขนั้นๆ

ตัวอย่าง : Calcium chloride

Calcium chloride, spec.,

D 98 (04.03)

ความหมาย : หมายเลขของมาตรฐาน ASTM เรื่อง Standard specification for calcium chloride คือ ASTM D 98 เนื้อเรื่องเต็มได้มีการตีพิมพ์อยู่ใน Annual book of ASTM standards เล่มที่ 04.03

1.4.2 ครรชณืรหัสตัวอักษรและตัวเลข ประจำเรื่องมาตรฐาน (alphanumeric list)

ใช้ค้นหารายละเอียดของมาตรฐาน หมายเลขที่ต้องการ ชื่อเรื่อง ปีที่ประกาศใช้ การปรับปรุงการยกเลิก ปีที่มีการยกเลิกการระบุหมายเลขมาตรฐาน ที่ใช้แทนหมายเลขมาตรฐาน ที่ถูกยกเลิก และเล่มที่ตีพิมพ์เนื้อเรื่องเต็ม ของมาตรฐานหมายเลขนั้นๆ

ตัวอย่างที่ 1 : D 1042-93

Test method for linear dimensional changes of plastic under accelerated service conditions 08.01

ความหมาย : มาตรฐาน ASTM หมายเลข D 1042 ประกาศใช้ปี ค.ศ. 1993

ชื่อเรื่อง : Test method for linear dimensional changes of plastics under accelerated service conditions

เนื้อเรื่องเต็มตีพิมพ์อยู่ใน Annual book of ASTM standards เล่มที่ 08.01

ตัวอย่างที่ 2 : D 1089

Discontinued 1984 ; Method of test for carbonyl content of butadiene ; replace by D 4423

ความหมาย : มาตรฐาน ASTM หมายเลข D 1089 ยกเลิกเมื่อปี ค.ศ. 1984 โดยใช้หมายเลข D 4423 แทน

1.5 ASTM อันได้แก่เครื่องมือแบบ Redwood, Saybolt, Engler

ซึ่งใช้วิธีการวัดเวลาในการไหลของน้ำมันผ่านรูมาตรฐาน และนำไปใช้เวลาซึ่งเป็นหน่วยในการรายงาน เช่น แบบเรดวูดวัดเป็นวินาทีเรดวูด, เซย์โบลต์ วัดเป็นวินาทีเซย์โบลต์ แต่อิงเลอร์วัดเป็นดีกรีหรือองศา ปัจจุบันใช้เป็นการวัดเป็น Kinematic Viscosity โดยตรงตาม ASTM D445 ค่าที่ได้จะรายงานเป็น Centistoke ซึ่งนำมาใช้ในการคำนวณโดยตรงซึ่งต่างจากวิธีของ เรดวูด, เซย์โบลต์ และอิงเลอร์ที่นำค่าที่วัดได้มาคำนวณโดยตรงไม่ได้ แต่ต้องมาเปลี่ยนเป็นค่า Kinematic เสียก่อน เราสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$U = C * t \quad (\text{ข.1})$$

โดยที่ U = kinematic viscosity, mm²/s

C = calibration constant of the Ubbelohde tube ,mm²/s²

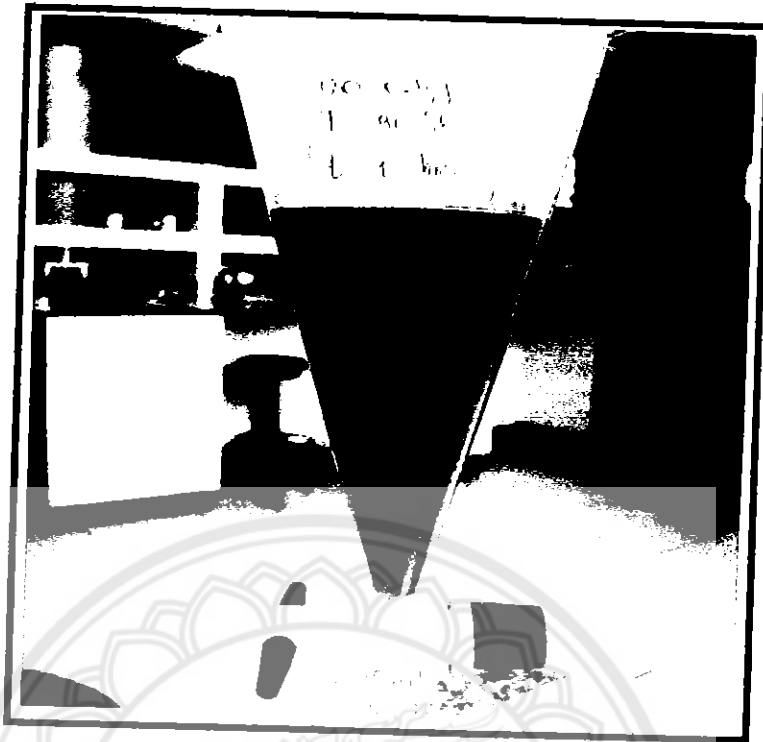
t = mean flow time,s



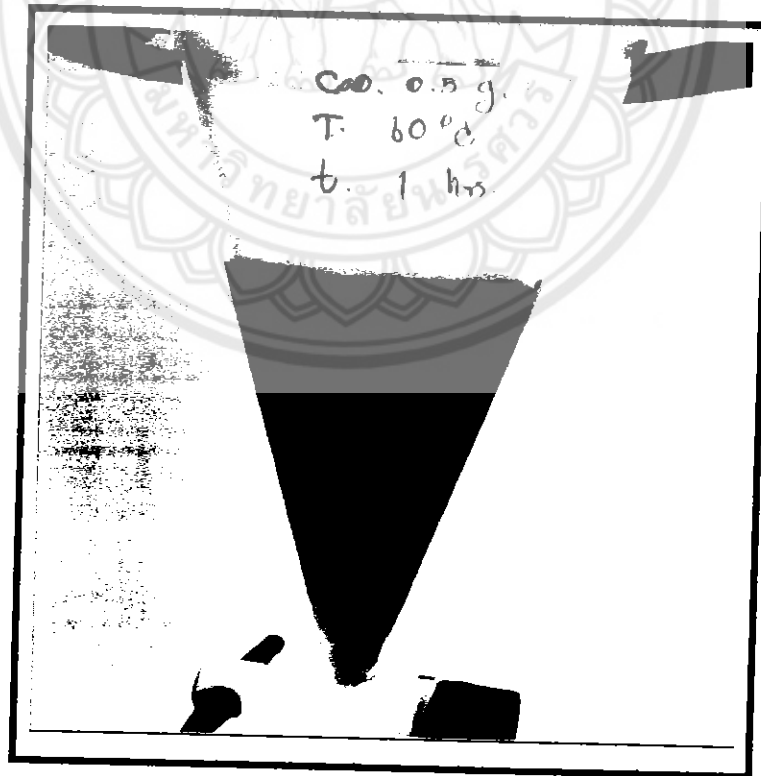
ภาคผนวก ค.

รูปภาพประกอบการทดลอง

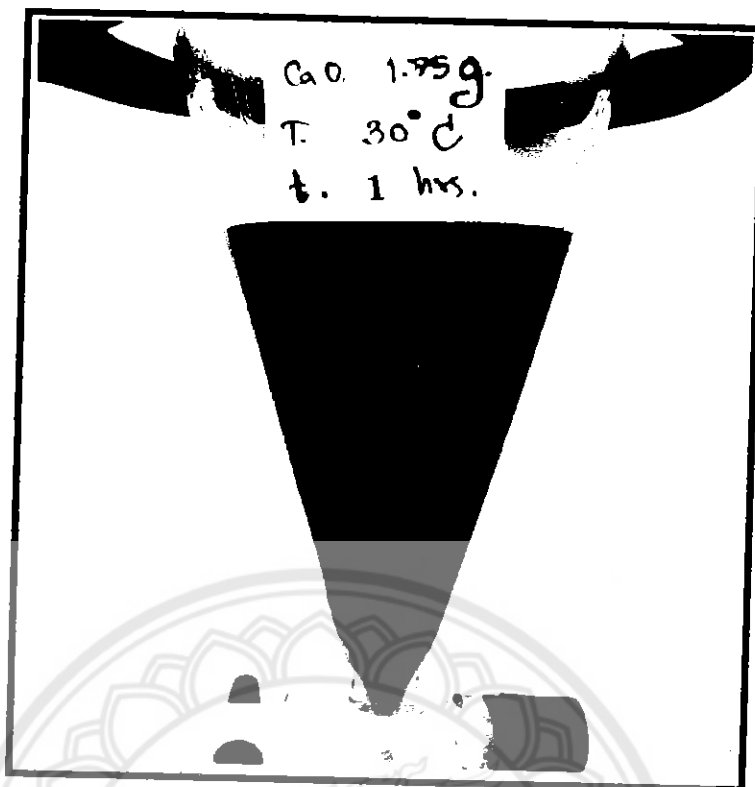
มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี



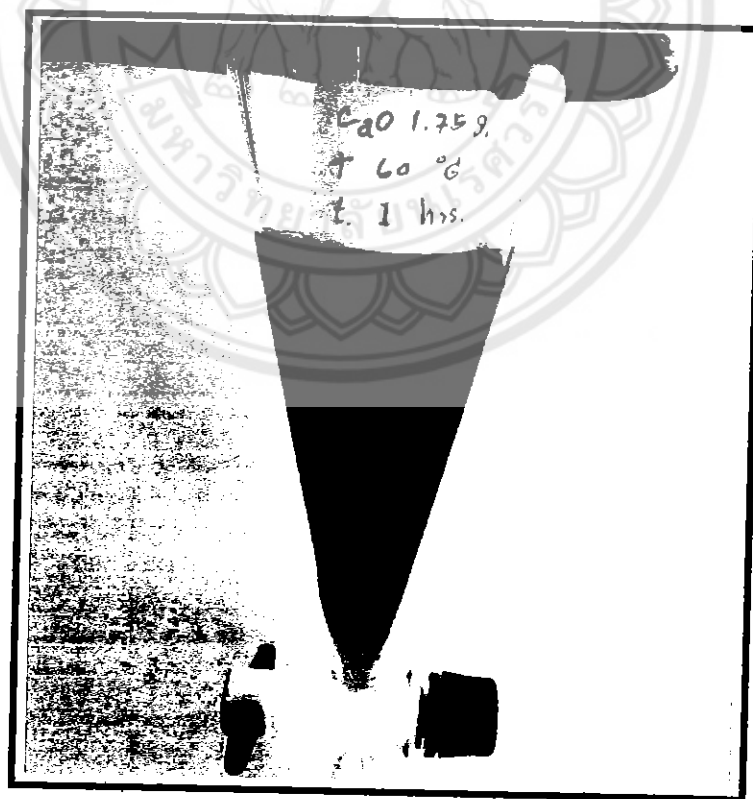
รูปที่ ค.1 CaO 0.5 กรัม ที่อุณหภูมิ 30°C



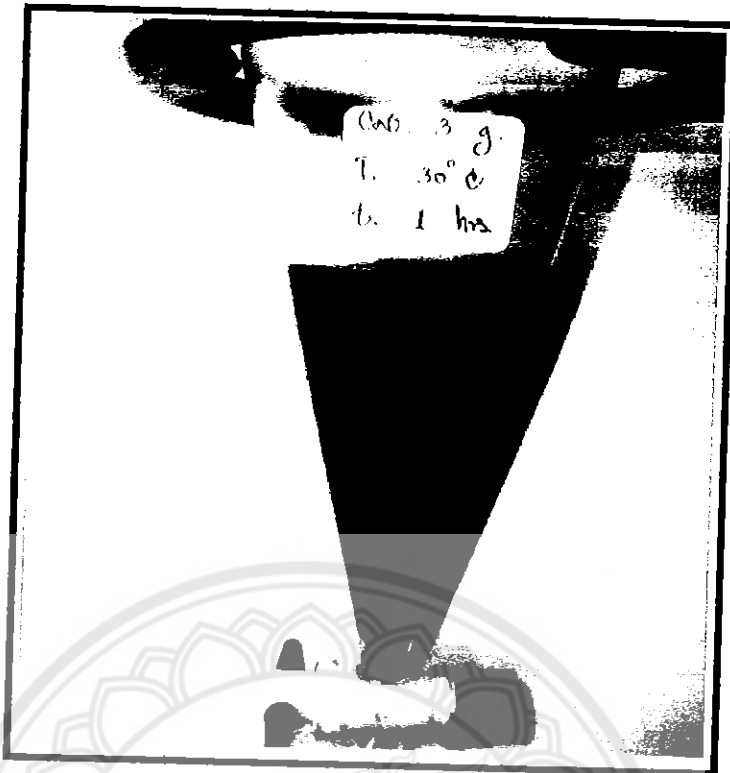
รูปที่ ค.2 CaO 0.5 กรัม ที่อุณหภูมิ 60°C



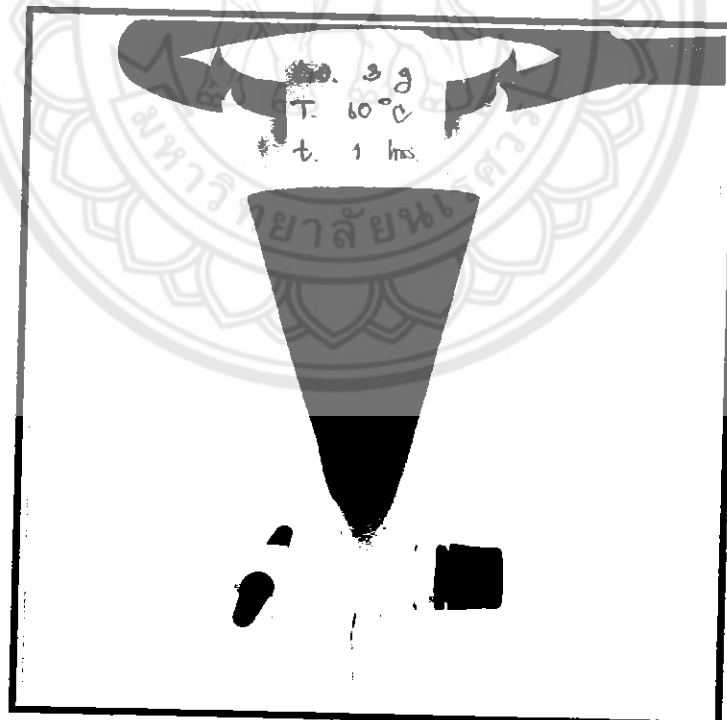
รูปที่ ค.3 CaO 1.75 กรัม ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ ค.4 CaO 1.75 กรัม ที่อุณหภูมิ 60°C



รูปที่ ค.5 CaO 3 กรัม ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ ค.6 CaO 3 กรัม ที่อุณหภูมิ 60°C