

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

โดยใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

SYNTHESIS OF BIODIESEL FROM USED VEGETABLE OIL
WITH LIME AS A CATALYST



T117303



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...117303
วันเดือนปี...20 ก.ค. 2554

12338b2x
b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS OF BIODIESEL FROM USED VEGETABLE OIL
WITH LIME AS A CATALYST**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL RESOURCES OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยใช้ปูนขาว
เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Synthesis of Biodiesel from Used Vegetable Oil
with Lime As a Catalyst

ชื่อนักศึกษา นางสาวศรณฉัตร สมรรคเสวี
นางสาวพุกยา กุ๋หมื่นไวย
นางสาวอาภรณ์ พุกอ่อน

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ	
ดร.มนตรี ทองคำ	
ดร.ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร	
อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการลิขสิทธิของคณะวิทยาศาสตร์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วโดยใช้ปุนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
ชื่อนักศึกษา	นางสาวอรุณฉัตร สมรรคเสวี นางสาวพุกษา ภู่มั่นไว นางสาวอรุณ พุกอ่อน
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้ปุนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ทำปฏิกิริยากับเมทานอลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เหตุที่เลือกใช้ปุนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากปุนขาวที่ขายตามท้องตลาดอยู่ในรูปของแคลเซียมออกไซด์อยู่แล้วไม่ต้องเสียเวลาและพลังงานในการเปลี่ยนรูปของแคลเซียมออกไซด์ และยังสะดวกต่อการใช้งาน ส่วนที่เลือกใช้น้ำมันที่ใช้แล้วมาทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล เนื่องจากน้ำมันที่ใช้แล้วมีปริมาณมาก ถ้าทิ้งลงสู่แหล่งน้ำก็จะเป็นมลพิษทางน้ำได้ ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของแคลเซียมออกไซด์ด้วยเครื่อง SEM จากการนำแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากปุนขาวมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM จะได้ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยคือ 1.509 ± 0.356 ไมครอน ในการทดลองได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลการทดลองที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ พบว่าที่เวลา 3 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% 2% 3% และ 4% ได้ปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด คือ 17.72, 14.05, 58.02 และ 62.89 ตามลำดับ เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า ที่เวลา 3 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2% และ 4% ได้ปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด คือ 28.42 และ 55.94 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน, ปุนขาว, แคลเซียมออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title of Special Project	Synthesis of Biodiesel from Used Vegetable Oil with Lime As a Catalyst
Students	Miss Daroonchud Samukkasawee Miss Pruksa Poomeonwai Miss Arphon Pookon
Degree	Bachelor of Science
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2010
Advisor	Dr.Pesak Rungrojchaipon
Co advisor	Mrs. Sujin Tuntipisitkul

ABSTRACT

This research, we used the lime as a catalyst in the synthesis of biodiesel with the transesterification between used vegetable oil and methanol. The lime that sold in the market was used as a catalyst because its original is in the form of calcium oxide, thus save us time, and energy. In this research, used vegetable oil was used in the synthesis of biodiesel because used vegetable oil is plenty. Also used vegetable are consider as a waste, if its was discarding into the water resource. Therefore, using used vegetable oil would reduce the water pollution cause from waste vegetable oil. The particles size of CaO was characterized with SEM. The average particle size of CaO which was obtained from lime is 1.509 ± 0.356 microns. This research was studied the variable that had effected to percent of methyl ester, by varying the amount of catalyst and reaction time. In the result from $^1\text{H-NMR}$, amount of catalysts were 1% , 2% , 3% and 4% in 3 hours, and the highest percent of methyl ester were 17.72, 14.05, 58.02 and 62.89 respectively . The result of biodiesel synthesized by using calcium oxide analytical reagent grade as a catalyst with the amount of catalyst were 2% and 4% in 3 hours and the percent of methyl ester were 28.42 and 55.94 respectively .

Keywords : Biodiesel, Transesterification, Lime, Calcium oxide

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำปรึกษา คำแนะนำ และข้อมูลต่างๆที่มีประโยชน์จาก ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร และ อาจารย์สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร. สามารถ คงทวีเลิศ และ อาจารย์มนตรี ทองคำ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบ โครงการพิเศษ ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิค NMR

ขอขอบพระคุณ แผนกการประกันคุณภาพของบริษัท ไมโครชิพ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) เป็นอย่างสูงที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของสารด้วยเทคนิค SEM

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อ และอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ สถานที่ และคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ผลในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้ความอุปการะมาตลอดและขอบคุณเพื่อนๆที่เป็นกำลังใจและคอยให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีของ โครงการพิเศษฉบับนี้ขอมอบให้แก่คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณต่อคณะผู้ทำวิจัยทุกท่าน

นางสาวอรุณฉัตร สมรรคเสวี

นางสาวพฤษยา ภู่มั่น ไวย

นางสาวอาภรณ์ พุกอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	X

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล	5
2.1.1 น้ำมันพืช (Vegetable oil)	5
2.1.2 คุณสมบัติ และองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ	5
2.1.3 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง	7
2.1.4 แนวทางการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล	8
2.2 เทคนิคการผลิตไบโอดีเซล	9
2.2.1 การใช้โดยตรงและการผสม	9
2.2.2 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)	10
2.2.3 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)	10
2.2.4 การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต	11
2.2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification)	11
2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	11
2.3.1 การทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	11
2.3.2 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.3 การทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนโดยใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	14
2.3.4 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	14
2.3.5 การทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	14
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	15
2.4.1 ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ	15
2.4.2 ผลของอัตราส่วน โดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน	15
2.4.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา	16
2.4.4 ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา	16
2.4.5 ผลของอัตราการกวนผสม	17
2.5 น้ำมันดีเซล	17
2.5.1 การผลิตน้ำมันดีเซล	18
2.5.2 คุณสมบัติน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมในการใช้งาน	18
2.5.3 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล	18
2.6 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์	20
2.6.1 ด้านสิ่งแวดล้อม	20
2.6.2 ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์	21
2.6.3 ด้านเศรษฐศาสตร์	21
2.6.4 ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ	21
2.6.5 ด้านความมั่นคง	22
2.6.6 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์	22
2.6.7 แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	24
2.7 การแบ่งวิธีทดสอบคุณสมบัติ	24
2.8 น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว	25
2.9 ปูนขาว หรือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	25
2.9.1 กระบวนการผลิตปูนขาว	28
2.9.2 ประโยชน์ของปูนขาว	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.10 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	29
2.10.1 Thermogravimetric Analyzer (TGA)	29
2.10.2 เครื่อง Scanning electron microscope (SEM)	29
2.10.3 เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance (NMR)	30
2.10.4 เครื่อง Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR)	31
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	33
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	33
3.2 สารเคมี	33
3.3 วิธีการทดลอง	34
3.3.1 การเตรียมน้ำมันที่ใช้แล้วก่อนการทดลอง	34
3.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40	34
3.3.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	35
3.3.4 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปูนขาว เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	36
3.3.5 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เร่งวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	38
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	40
4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้วก่อนนำมาทดลอง	40
4.2 การหาช่วงอุณหภูมิที่จะเปลี่ยนปูนขาวให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ด้วยเทคนิค TGA	41
4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของปูนขาวและแคลเซียมออกไซด์เร่งวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค FT-IR	42
4.4 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและภาพลักษณะสัณฐานของอนุภาคด้วยเทคนิค SEM	43
4.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไบโอดีเซล	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.6 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	45
4.7 การเก็บตัวอย่างจากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์และปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส	46
4.8 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	47
4.9 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	49
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	56
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	59
ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงสูตร โครงสร้างและสมบัติของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ	4
ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	6
ตารางที่ 2-3 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และน้ำมันดีเซล	7
ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และน้ำมันดีเซล	9
ตารางที่ 2-5 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด กรด เบส และเอนไซม์	16
ตารางที่ 2-6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลกับไบโอดีเซล	22
ตารางที่ 2-7 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษในการใช้ไบโอดีเซล เทียบกับน้ำมันดีเซล	23
ตารางที่ 2-8 มาตรฐานของไบโอดีเซล	24
ตารางที่ 2-9 แสดงสมบัติทางเคมีของแก๊สเชื้อเพลิงไฮโดรเจน	27
ตารางที่ 3-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาตรเมทานอล และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์	34
ตารางที่ 3-2 แสดงปริมาณสัดส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล เวลา อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	36
ตารางที่ 3-3 แสดงปริมาณสัดส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล เวลา อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	37
ตารางที่ 3-4 แสดงปริมาณสัดส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล เวลา อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	39
ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของกลีเซอรอลและปาล์มเมติก	41
ตารางที่ ก-1 แสดงปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์	56
ตารางที่ ก-2 แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระในรูปของกลีเซอรอลและปาล์มเมติก	57
ตารางที่ ข-1 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	59
ตารางที่ ข-2 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข-3 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้เกรควิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	61
ตารางที่ ข-4 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 ปฏิกริยาการเกิดไตรกลีเซอไรด์	5
รูปที่ 2-2 กระบวนการแตกสลายทางความร้อน	10
รูปที่ 2-3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	11
รูปที่ 2-4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด	12
รูปที่ 2-5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส	13
รูปที่ 2-6 ปฏิกริยาการเกิดสบู่	15
รูปที่ 2-7 แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	24
รูปที่ 2-8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	27
รูปที่ 3-1 การตั้งชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์สำหรับสังเคราะห์ไบโอดีเซล	35
รูปที่ 4-1 ผลการศึกษาช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนของปฏิกิริยาให้กลายเป็น แคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค TGA	41
รูปที่ 4-2 (A) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วย FT-IR โดยวิเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ เกรดวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแคลเซียมออกไซด์มาตรฐาน (B) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วย FT-IR โดยวิเคราะห์ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับแคลเซียมออกไซด์มาตรฐาน (C) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วย FT-IR โดยวิเคราะห์ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์	42
รูปที่ 4-3 ภาพแสดงการวิเคราะห์ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสด้วย เทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (A) และ 20,000 เท่า (B) ตามลำดับ	43
รูปที่ 4-4 ภาพแสดงการวิเคราะห์แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (A) และ 20,000 เท่า (B) ตามลำดับ	44
รูปที่ 4-5 แสดงสูตร โครงสร้างและสัญญาณโปรตอนของ (Methyl palmitate) จากโปรแกรม ChemDraw Ultra.	44
รูปที่ 4-6 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ ของน้ำมันปาล์มก่อนที่นำมาสังเคราะห์ (A) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (B) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (C) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (D)	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2% และ 3% โดยน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	46
รูปที่ 4-8 แสดงลักษณะของสารละลายที่ปีเปตออกมาจากขวดก้นกลมสามคอ	47
รูปที่ 4-9 แสดงลักษณะของการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลหลังจากผ่านการปั่นเหวี่ยงแล้ว	47
รูปที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ในปริมาณต่าง ๆ กันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	48
รูปที่ 4-11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ปูนขาวในปริมาณต่าง ๆ กัน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	49
รูปที่ 4-12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสในปริมาณต่าง ๆ กัน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	50
รูปที่ ก-4 กราฟแสดงปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$	58
รูปที่ ข-5 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ ของปาล์มก่อนที่นำมาสังเคราะห์(A) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา(B) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา(C) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา(D)	63
รูปที่ ค-1 เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (TGA) Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA	64
รูปที่ ค-2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) Bruker รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกกะเฮิร์ต	65
รูปที่ ค-3 วิธีการใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR)Jasco รุ่น 4100	66
รูปที่ ค-4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด NOVA รุ่น nano 400	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันการเพิ่มจำนวนประชากรมีแนวโน้มสูงขึ้นซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการดำเนินชีวิตของมนุษย์ต้องอาศัยพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นการใช้ยานพาหนะในการเดินทาง การใช้ไฟฟ้าในกิจกรรมต่างๆที่อยู่ในชีวิตประจำวัน และยังมี การใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงทางอ้อมจากการบริโภคสินค้าและบริการต่างๆอีกมากมาย จึงเป็นสาเหตุให้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงมีความต้องการมากขึ้นในภาคของการดำเนินชีวิตของประชากร

ส่วนภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมก็มีแนวโน้มในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วและมีการพัฒนาเทคโนโลยีให้ทันสมัยต่อความต้องการของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการผลิตสินค้าและบริการออกมาให้ทันความต้องการของผู้บริโภคและเศรษฐกิจที่มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง

จากสาเหตุทั้งสองที่กล่าวมาทำให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากความต้องการในการบริโภคสวนทางกับปริมาณน้ำมันที่มีอยู่เพราะพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ในการจัดสรรปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ยังต้องคำนึงถึงราคาที่เหมาะสมและสภาพแวดล้อมด้วย เนื่องจากการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มสูงขึ้นจะทำให้แนวโน้มของคุณภาพอากาศลดลงเพราะการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งก๊าซเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้เกิดการวิจัยเกี่ยวกับพลังงานทดแทนหลายอย่าง เช่น พลังงานชีวมวล แก๊สโซฮอลล์ และที่รู้จักกันดี คือ ไบโอดีเซล ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลนี้เหมาะสมกับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกพืชน้ำมันหลายชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง ปาล์ม มะพร้าว ละหุ่ง งา มะกอก และทานตะวัน เป็นต้น ถ้าเรานำพืชเหล่านี้มาผลิตน้ำมันจะเป็นการเพิ่มมูลค่าพืชผลทางการเกษตร ลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศและยังช่วยลดมลพิษทางอากาศ เมื่อมีการส่งเสริมให้ปลูกพืชน้ำมันมากขึ้นอาจจะทำให้เกิดการบุกรุกพื้นที่ป่าทำให้พื้นที่กัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
เก็บก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ลดน้อยลง และอาจจะทำให้เกิดอุทกภัยจากน้ำท่วมเนื่องจาก ไม่มีพื้นที่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ป่าคอยดูดซับและกักเก็บน้ำ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงคิดวิธีการลดปัญหาดังกล่าวโดยการนำน้ำมัน

พืชที่ใช้แล้วมาผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำมันที่ใช้แล้ว ช่วยลดมลพิษที่อาจจะเกิดจากการทิ้งน้ำมันพืชที่ใช้แล้วลงในแหล่งน้ำ ส่งผลให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรมและไม่เหมาะต่อการอยู่อาศัยของสัตว์น้ำ ถ้าทิ้งน้ำมันที่ใช้แล้วลงพื้นดินจะทำให้เกิดมลพิษทางดินได้ด้วย และยังช่วยลดโรคภัยไข้เจ็บจากการใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ได้แก่ โรคมะเร็ง ไข้ฉี่หนู

นอกจากนี้การใช้ไบโอดีเซลไม่จำเป็นต้องทำการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ คุณสมบัติของไบโอดีเซลในการเผาไหม้ไม่มีความแตกต่างจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล เพราะไบโอดีเซลผลิตมาจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยในปฏิกิริยาจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ Sodium hydroxides, Potassium hydroxides และ Alkoxides แต่สารที่กล่าวมานั้นเมื่อใส่เป็นตัวเร่งจะรวมตัวกับผลิตภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ยากต่อการกำจัดหรือล้างออกและยังก่อให้เกิดน้ำเสียขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงได้มีการวิจัยที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งเพื่อให้ง่ายต่อการแยกออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาทำการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากหาง่ายและสะดวกต่อการนำมาทำการทดลอง และทำการศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการผลิตได้แก่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของปุนขาวที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล
2. เพื่อศึกษากระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยมีปุนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลที่ใช้ปุนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา
4. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้ปุนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กับการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ เกรดวิเคราะห์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. วิเคราะห์โครงสร้างของปุนขาวด้วย เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR)
2. วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
3. สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและใช้ปุนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
4. ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนการการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ได้แก่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา
5. วิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล
 - a. ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล ด้วยเทคนิค $^1\text{H-Nuclear Magnetic Resonance}$ ($^1\text{H-NMR}$)
 - b. ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty acid) จากมาตรฐาน AOCs official Method Ca 5a-40

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว
2. สามารถลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลด้วยการใช้ปุนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ชุมชนสามารถนำความรู้จากการวิจัยมาประยุกต์ใช้ภายในชุมชนได้
4. ทำให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วโดยใช้ปุนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
5. ทำให้สิ่งแวดล้อมรอบชุมชนดีขึ้น และลดภาวะโลกร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล[2]

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากน้ำมันจากพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ ซึ่งน้ำมันจากพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่มีความหนืดสูง มีองค์ประกอบของกรดไขมันต่างชนิดกัน และยังมีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งได้แสดงสูตรโครงสร้างและสมบัติของกรดไขมันชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงสูตรโครงสร้างและสมบัติของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ [2]

กรดไขมัน	จำนวน อะตอม ของคาร์บอน และพันธะคู่	สูตรโครงสร้าง	จุด หลอมเหลว (°C)	จุด เดือด (°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	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	89.9	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	-
Eicosenoic	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	23	-
Benenic	C21:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	80	-
Eurcic	C21:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	34	-

ที่มีค่าไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิง จะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรซ์ในเครื่องยนต์ได้ในเบื้องต้น ซึ่งการแบ่งชนิดของน้ำมันพืชตามค่าไอโอดีน แบ่งเป็น 3 พวกดังนี้

1. น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 160-230 เป็นน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรซ์ได้มาก หรือเรียกว่าเป็นน้ำมันชักแห้ง (drying oils)
2. น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 125-150 เป็นน้ำมันกึ่งชักแห้ง (semi-drying oils)
3. น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 120 เป็นน้ำมันไม่ชักแห้ง (non-drying oils)

ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติ และองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ[4]

น้ำมันชนิดดิบ	ค่าไอโอดีน	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก						
		C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
น้ำมันปาล์ม	14.1-	ND-	0.5-	39.3-	3.5-	36.0-	9.0-	ND-
	21.0	0.5	2.0	47.5	6.0	44.0	12.0	0.5
น้ำมันปาล์มโอสลิน	> 56	0.1-	0.5-	38.0-	3.5-	39.8-	10.0-	ND-
		0.5	1.5	43.5	5.0	46.0	13.5	0.6
น้ำมันปาล์มสเตียรีน	< 48	0.1-	1.0-	48.0-	3.9-	15.5-	3.0-	0.5
		0.5	2.0	74.0	6.0	36.0	10.0	
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	50.0-	45.0-	14.0-	6.5-	1.0-	12.0-	1.0-	ND-
	55.0	55.0	18.0	10.0	3.0	19.0	3.5	0.2
น้ำมันมะพร้าว	6.3-10.6	45.1-	16.8-	7.5-	2.0-	5.0-	1.0-	ND
		53.2	21.0	10.2	4.0	10.0	2.5	
น้ำมันถั่วลิสง	86-107	ND-	ND-	8.0-	1.0-	35.0-	13.0-	ND-
		0.1	0.1	14.0	4.5	67.0	43.0	0.3
น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	101	ND	ND	14.9	6.0	41.2	37.4	ND
น้ำมันเมล็ดเรป	94-120	ND	ND-	1.5-	0.5-	8.0-	11.0-	5.0-
			0.2	6.0	3.1	60.0	23.0	13.0
น้ำมันถั่วเหลือง	124-139	ND-	ND-	8.0-	2.0-	17.7-	49.8-	5.0-
		0.1	0.2	13.5	5.4	28.0	59.0	11.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หมายเหตุ: ND ไม่พบ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง

น้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณ 83-85% ของน้ำมันดีเซล แต่มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลเป็น 10 เท่า ที่อุณหภูมิค่าน้ำมันพืชยิ่งมีความหนืดสูงขึ้นเป็นลำดับ จนเกิดเป็นไข เช่น น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว สำหรับน้ำมันมะพร้าว จะเริ่มเป็นไขที่อุณหภูมิ 24-26 องศาเซลเซียส และมีปริมาณไขถึง 36% ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส[5] ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการป้อนเชื้อเพลิง และใช้งานในพื้นที่และบางฤดูกาลที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นแล้ว น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวได้น้อยมาก (low volatility) ทำให้เมื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้จุดระเบิดได้ช้ากว่า และมีกาการรับโอนผลเหลือหลังการเผาไหม้สูงกว่าน้ำมันดีเซล

การที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมัน ฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นแล้ว น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้า และน้อยมาก (slow/low volatility) ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยาก และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีดผนังลูกสูบ แหวนและวาล์ว จากคุณสมบัติที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูง และ ระเหยตัวได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยาก เมื่อใช้น้ำมันพืชส่วน ๆ โดยตรงในเครื่องยนต์ ดังในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และน้ำมันดีเซล[4]

น้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ(21°C) (กรัม/มล.)	ความหนืด(21°C) (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (กิโลจูลด์/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 (38°C)	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 แนวทางในการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล [15]

2.1.4.1 ดัดแปลงน้ำมันพืช

เนื่องจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติแตกต่างจากน้ำมันดีเซลมาก ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้ในเครื่องยนต์ธรรมดา ที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์เลย จำเป็นต้องดัดแปลงน้ำมันพืช โดยการลดความหนืด และเพิ่มการระเหยตัวเป็นไอของน้ำมันพืช ให้ใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกต่อการป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ และให้เกิดการสันดาปได้อย่างสมบูรณ์ และต่อเนื่อง ในแนวทางนี้ทำได้ 2 ทาง คือ

1.1 ใช้น้ำมันดีเซล หรือน้ำมันก๊าดเป็นตัวทำละลายผสมกับน้ำมันพืชโดยตรง เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง โดยผสมในสัดส่วนที่เหมาะสม และไม่เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว อย่างไรก็ตาม สัดส่วนน้ำมันพืชที่ผสมในน้ำมันดีเซล และชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้ ขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ และภูมิภาคของแหล่งที่ใช้ด้วย เนื่องจากน้ำมันพืช มีคุณสมบัติไม่อยู่ตัว เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความหนืดจะสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนั้นแล้ว ในน้ำมันพืชบางชนิด จะเกิดเป็นไข ที่อุณหภูมิต่ำด้วย ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้น การใช้น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด เพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ จึงต้องเลือกชนิดน้ำมันพืช ชนิดของตัวทำละลาย และสัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับพื้นที่ และฤดูกาลที่ใช้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้ และไม่เกิดความยุ่งยากต่างๆตามมา เช่น การเกิดไขในท่อส่งน้ำมัน ทำให้เกิด การอุดตัน เป็นต้น

1.2 นำน้ำมันพืชมาสังเคราะห์เป็นเมทิลหรือเอทิลเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่า ไบโอดีเซล ด้วยจุดประสงค์เดียวกันคือ ลดความหนืดของน้ำมันพืช และให้น้ำมันมีความคงตัวมากขึ้น ในการผลิตไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจำหน่ายในต่างประเทศ เชื้อเพลิงชนิดนี้ มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมาก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง จุลวาทไฟของไบโอดีเซล มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้ว ค่าซีเทนที่เป็นดัชนีบอกถึงคุณภาพการติดไฟของไบโอดีเซล ยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และน้ำมันดีเซล[4]

ไบโอดีเซลจากน้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (กรัม/มล.)	จุดวาบไฟ (°C)	ค่าซีเทน	ค่าความร้อน (กิโลจูลล์/กก.)
ปาล์ม	0.887	167	62-65	39,300
เมล็ดเรพ	0.883	> 170	58	37,100
ถั่วเหลือง	na	na	51-53	na
ทานตะวัน	na	na	52	na
น้ำมันดีเซล	0.81-0.87	>52	>47	46,800

2.1.4.2 การดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซล

เนื่องจากข้อจำกัดของน้ำมันพืชที่ใช้โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดาจะก่อให้เกิดปัญหาความยุ่งยากเมื่อใช้งาน แต่การที่น้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณ 83-85% ของน้ำมันดีเซล ทำให้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดี เครื่องของ DMS Dieselmotoren-und Geratebau GmbH (DMS) [4] และเครื่องยนต์ ELSBETT technology[5] เป็นตัวอย่างของเครื่องยนต์ที่ออกแบบมาใช้กับน้ำมันพืชโดยตรง เนื่องจากต้องการลดปัญหาที่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านคุณสมบัติของน้ำมันพืช และหากต้องดัดแปลงน้ำมันพืชให้เหมาะกับเครื่องยนต์ธรรมดา ก็ต้องผ่านกระบวนการ และต้องมีการลงทุนเพิ่ม ในการออกแบบได้เน้นดัดแปลงในส่วนของลูกสูบ ระบบหัวฉีด และห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ให้ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันพืช เพื่อเปลี่ยนเป็นแรงบิดได้อย่างคุ้มค่า

2.2 เทคนิคการผลิตไบโอดีเซล [6]

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้หลายวิธีคือ การใช้โดยตรงและการผสม ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต นอกจากนั้นยังมีการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ วิวิธพันธ์ในการผลิตไบโอดีเซลด้วย วิธีการผลิตไบโอดีเซลดังกล่าวข้างต้นแสดงรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การใช้โดยตรงและการผสม

การใช้โดยตรงคือ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันหมู ซึ่งสามารถนำเอามาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ต้องผสมหรือผสมสารเคมีอื่นหรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน ส่วนแบบ

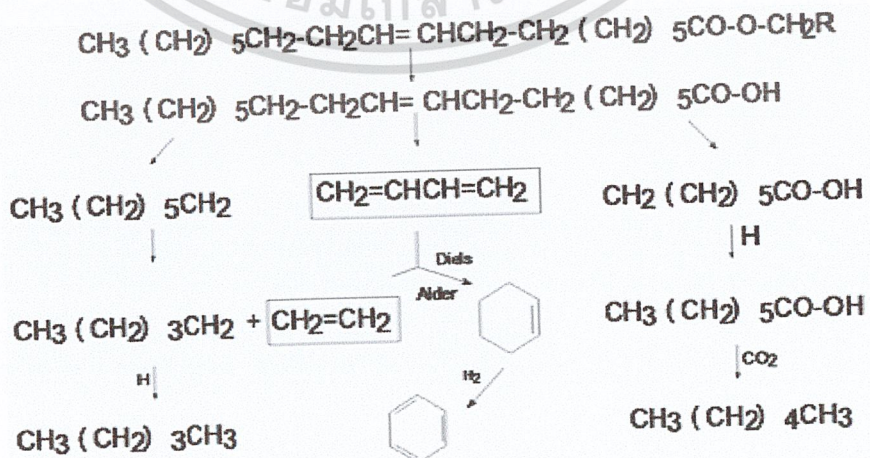
ผสมคือเป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช (หรือไขมันสัตว์) กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลหรืออื่นๆ เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น โคลโคดีเซลที่ประจวบคีรีขันธ์ซึ่งเป็นการผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือที่เรียกปล้ำดีเซล

2.2.2 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

ไมโครอิมัลชัน คือ คอลลอยด์ที่กระจายตัวในสภาวะสมดุลโดยมีอนุภาคในคอลลอยด์ส่วนมากอยู่ในช่วง 1 - 150 นาโนเมตร ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งเพื่อแก้ปัญหาค่าความหนืดสูงในน้ำมันพืชให้มีค่าความหนืดลดลง โดยใช้ควมคู่กับตัวทำละลายเช่น เมทานอล, เอทานอล และ 1-บิวทานอล ไมโครอิมัลชันที่เกิดจากเมทานอลกับน้ำมันพืชจะได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่เมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่ามีการสะสมตัวของคราบ (ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอน) เกาะรอบๆ หัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นข้อเสียของน้ำมันที่ผลิตโดยวิธีนี้

2.2.3 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนจากสารประกอบหนึ่งชนิดไปเป็นสารประกอบอื่นๆมากกว่าหนึ่งชนิด โดยใช้ความร้อนหรือใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้จะต้องจำกัดปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการประมาณ 450 - 600 องศาเซลเซียส สารประกอบที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งกระบวนการนี้ยากที่จะกำหนดหรือควบคุมให้ได้ผลิตตามที่ต้องการเนื่องด้วยความหลากหลายทางปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ (Natural Fatty Acid) และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน กลไกของกระบวนการแตกสลายทางความร้อนแสดงในรูปที่ 2-2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

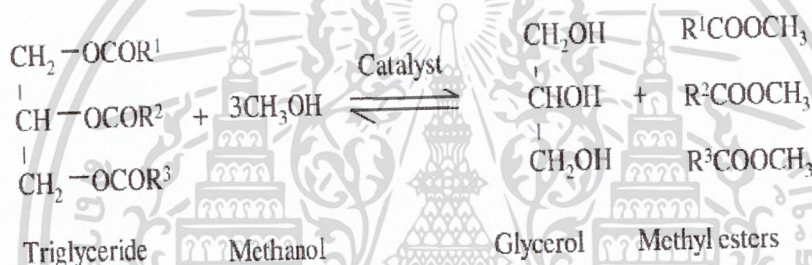
รูปที่ 2-2 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน[6]

2.2.4 การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต

เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวิธีนี้เป็นกรนำเอาน้ำมันวัตถุดิบมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย พร้อมทั้งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกล่าวคือ ไม่มีของเสียจากกระบวนการ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะต้องใช้ อุณหภูมิและความดันในระดับที่ค่อนข้างสูงประมาณ 512.2 เคลวิน และ 8.1 เมกะปาสคาลตามลำดับ เพื่อต้องทำให้เมทานอลอยู่ในสถานะเหนือวิกฤต

2.2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) [7]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์และแอลกอฮอล์เพื่อเกิดเป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตด้วย ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน[8]

เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่สามารถย้อนกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาไปทางผลิตภัณฑ์ได้ดี ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน[7]

2.3.1 การทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

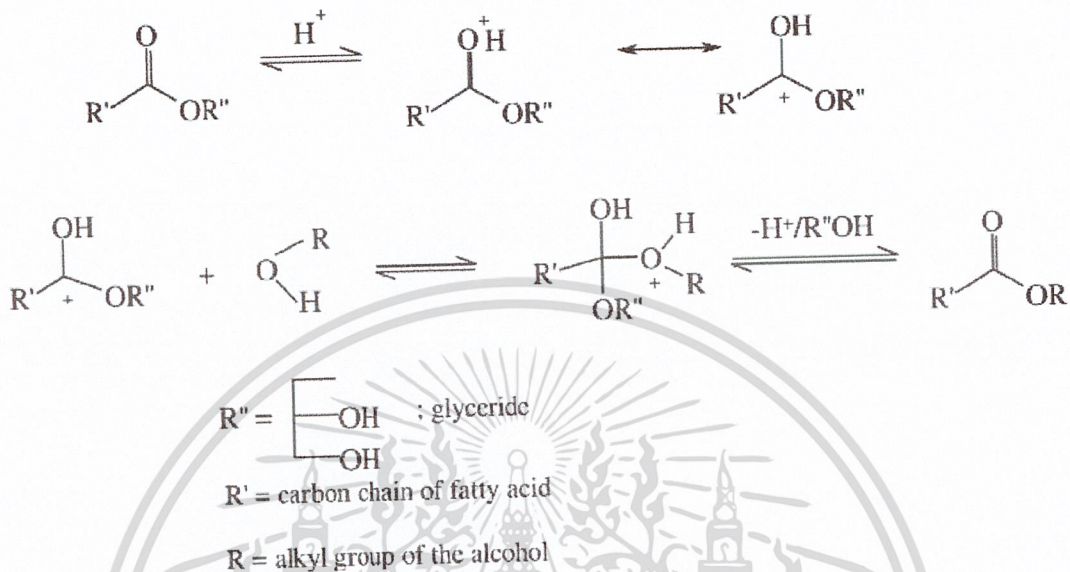
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยกรด เช่น กรดซัลโฟนิค กรดซัลฟิวริก เป็นต้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง และสามารถใช้น้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ได้ แต่ปฏิกิริยาเกิดช้ามาก โดยต้องใช้ อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 3 ชั่วโมง เพื่อทำให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เริ่มจากโปรตอนไปโปร โตนดที่หมู่คาร์บอนิกของเอสเทอร์ทำให้เกิดคาร์โบแคทไอออน หลังจากนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของโรงเรียนพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้เพื่อการศึกษาท่านอื่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการชนด้วยนิวคลีโอไฟล์ของแอลกอฮอล์ จะเกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล โดยสารมัธยันต์นี้จะปล่อยกลีเซอรอลออกมาทำให้เกิดเอสเทอร์ตัวใหม่และตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2-4



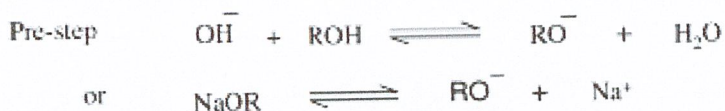
รูปที่ 2-4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด[9]

2.3.2 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

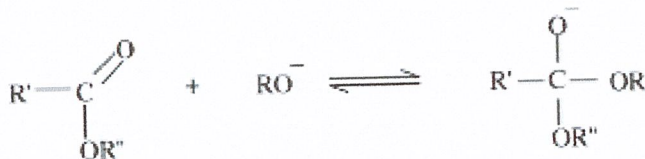
เบสที่ใช้กันมาก ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งการทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานี้ จะเกิดเร็วกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 4000 เท่า และจะใช้ได้ดีกับน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์

กลไกปฏิกิริยาเริ่มจากขั้นแรก แอลกอฮอล์ไอออน จะเข้าชนที่ตำแหน่งคาร์บอนิลของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งทำให้เกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล ขั้นที่สองเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารมัธยันต์กับแอลกอฮอล์ทำให้เกิดแอลกอฮอล์ไอออน และขั้นสุดท้ายเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของสารมัธยันต์เกิดเป็นเอสเทอร์และไตรกลีเซอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 2-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



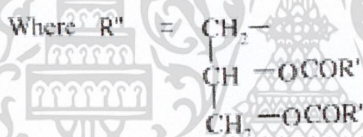
Step. 1.



Step. 2.



Step. 3.



R' = Carbon chain of fatty acid

R = Alkyl group of alcohol

รูปที่ 2-5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส[8]

ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสจะให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์สูง โดยใช้เวลาที่สั้น แต่ปฏิกิริยานี้มีข้อเสีย คือ การนำกลีเซอรอลกลับมาใช้ใหม่ทำได้ยาก ต้องกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์ก่อน น้ำเสียที่มีสภาวะเป็นเบสจะต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนที่จะทำการปล่อยทิ้ง กรดไขมันและน้ำจะรบกวนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน กล่าวคือ กรดไขมันอิสระและน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันพืชใช้แล้วจะทำปฏิกิริยากับเบส เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน และเกิดเป็นสบู่ ซึ่งจะทำให้การแยกกลีเซอรอลเกิดได้ไม่ดี ส่งผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนโดยใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเบสมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน โดยนำเฉพาะคุณสมบัติที่ดีของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดมาใช้ เพื่อช่วยให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมากขึ้น

ในขั้นแรกจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระไปเป็นเอสเทอร์ก่อน เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันให้ต่ำกว่าหรือเท่ากับหนึ่งเปอร์เซ็นต์ก่อน จากนั้นในขั้นตอนที่สองเป็นการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทำปฏิกิริยาดังวิธีนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกรดที่ใช้

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิด โดยที่การกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยากรดที่ใช้ในขั้นตอนแรกนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสในขั้นตอนที่สองในปริมาณที่มาก ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลให้มากขึ้นด้วย

2.3.4 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การใช้สารเคมี(กรดและเบส) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน มักจะมีปัญหาเกิดขึ้น เช่น การปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลก่อนนำไปใช้ การนำกลีเซอรอลกลับมาใช้ใหม่ การกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยา และสิ้นเปลืองพลังงาน (ความเร็วในการปั่นกววนและอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา) การใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เอนไซม์ไลเปส มีข้อดีมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือ ไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ร่วม นำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย สภาวะในการเกิดปฏิกิริยา ไม่รุนแรง สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ กรดไขมันอิสระและน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและมักจะได้อัตราผลผลิตเอสเทอร์ที่สูง

2.3.5 การทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

เป็นการทำปฏิกิริยาในสภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล โดยจะทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้พันธะไฮโดรเจนของเมทานอลอ่อนลง และเมทานอลมีสภาพขั้วลดลง ซึ่งจะทำให้เมทานอลกับน้ำมันพืชสามารถรวมกันเป็นเฟสเดียวกันได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีความบริสุทธิ์สูงและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเพียง 2-4 นาที

ตัวเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานที่ใช้ประกอบด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์(Homogeneous catalysts) และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์(Heterogenous catalysts) โดยทั่วไปมักใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ เช่น NaOH, KOH และ alkoxides ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันมักใช้

เอกสารพวักต่างซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด และต้องใช้น้ำในปริมาณมากในไม่ว่าการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารละลาย ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์

มีจุดเด่น คือ ไม่กัดกร่อน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และไม่มีปัญหาในการกำจัดตัวเร่งออกจากผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเนื่องจากสามารถแยกออกได้ง่าย สามารถออกแบบให้มีการเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว และตัวเร่งชนิดนี้ยังมีอายุการใช้งานที่นาน แคลเซียมออกไซด์(CaO)เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งซึ่งมีจุดเด่น เช่น เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว อายุการใช้งานนาน และราคาถูก

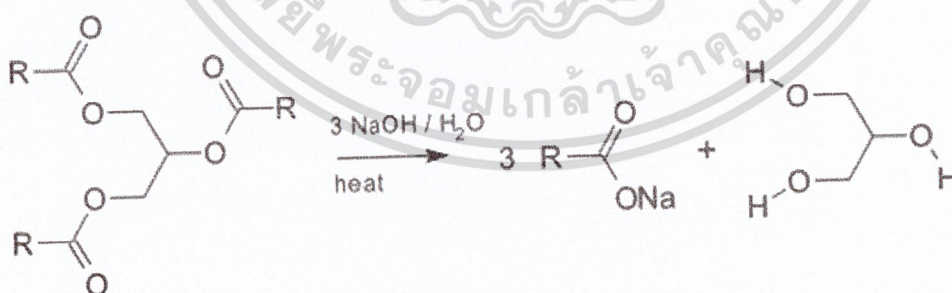
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.4.1 ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสมเพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของไบโอดีเซลคือทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล และยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอล[2]

กรดไขมันอิสระ(Free Fatty Acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ไบโอดีเซลน้อยลง[9]

สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่ค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid esterification) แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ[8] ดังแสดงในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)[30]

2.4.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล[10] เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับ เพราะฉะนั้นค่าไม่وازنใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้อัดแปลงเป็นค่าที่ต้องคำนึงถึงคือค่าของอัตราส่วนที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวา

มากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน สัดส่วนที่ใช้ในปฏิกิริยา คือ 3 โมลของแอลกอฮอล์ ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นยิ่งใช้อัตราส่วนมากเท่าไรก็จะทำให้ได้ไบโอดีเซลมากขึ้นเท่านั้น และภายในเวลาที่สั้นลงด้วย อัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ถูกใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมพบว่าได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ [11]

2.4.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งสามารถแบ่งได้เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด หรือ เอนไซม์ กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่ง แต่อย่างไรก็ตาม กลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ด้วยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า [12] เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่ความเข้มข้น 0.5 – 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ 94 – 99 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบสไม่ได้เป็นการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์ [10] ดังในตารางที่ 2-5

ตัวแปร	ตัวเร่งชนิดเบส	ตัวเร่งชนิดกรด	เอนไซม์ไลเปส
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60 – 70	55 – 80	30 – 40
กรดไขมันอิสระในน้ำมัน น้ำในน้ำมัน	เกิดสบู่ มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา	เกิดเอสเทอร์ มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา	เกิดเอสเทอร์ ไม่มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง
การ Recovery กลีเซอรอล	ยาก	ยาก	ง่าย
การทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้องล้าง
ราคา	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง

ตารางที่ 2-5 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด กรด เบส และเอนไซม์ [6]

2.4.4 ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา [8] ถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้น

อุณหภูมิมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันอย่างมาก [10] ถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอ ปฏิกิริยาก็จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่ไม่จำเป็นเสมอไป ทั้งสิ้น อีกทั้งหาบให้ตัดแบ่ง บอหนุและต้องลั้งถึงนี้ ถ้าวงเอกสารพดครั้งที่มีอกรลที่ใส่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เว้น ถ้าเป็นเมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60 – 70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) ซึ่งเมทานอลจุดเดือดเท่ากับ 64.7 องศาเซลเซียส

2.4.5 ผลของอัตราการกวนผสม

การกวนผสมนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพราะน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกันปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจึงจะเกิดและได้เป็นไบโอดีเซล [8]

2.5 น้ำมันดีเซล[13]

น้ำมันดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ได้จากโรงกลั่นเช่นเดียวกับน้ำมันเบนซินซึ่งเป็นน้ำมันที่เรียกว่า น้ำมันใส หรือ Distillate Fuel มีช่วงจุดเดือดประมาณ 180 - 370 องศาเซลเซียส น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูง (High Compression) และจุดระเบิดเอง (Self Ignition Engine) ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบโดยไม่ต้องใช้หัวเทียนที่มีจำหน่ายในปัจจุบันนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนเร็วที่ใช้กับยานยนต์ (Automotive Diesel Oil หรือ Gas Oil เช่น รถยนต์, รถบรรทุก, เรือประมง, เรือโดยสาร, รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนักทุกชนิดที่มีรอบหมุนเร็วเกิน 1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้จำเป็นต้องใช้น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูง และมีการระเหยเร็ว มิฉะนั้นเครื่องยนต์จะเดินไม่สะดวก น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้เรียกว่าน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (HSD; High Speed Diesel Oil) แต่ในตลาดเป็นที่รู้จักกันในชื่อของน้ำมันโซล่า ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า Marine Gas Oil

2. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนปานกลางหรือหมุนช้า (Industrial Diesel Oil) เช่นเครื่องยนต์ดีเซลขับเคลื่อนกังหันไต้เรือตามโรงงานต่างๆ ซึ่งมีรอบการทำงานต่ำประมาณ 500-1,000 รอบต่อนาทีเครื่องยนต์ประเภทนี้ไม่ต้องการน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงมากนักและการระเหยอาจช้ากว่าได้ น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้เรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนช้า (LSD; Low Speed Diesel Oil) ซึ่งในตลาดเป็นที่รู้จักกันว่า น้ำมันจีไอ ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า Marine Diesel Oil เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (Distillate Fuel) และน้ำมันเตา (Fuel Oil, FO หรือ Heavy Fuel Oil, HFO) ในอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การผลิตน้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซลเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากน้ำมันดิบ ทำการกลั่นแยกส่วนในหอกลั่นบรรยากาศหรือส่วนกลั่นตรง (Crude Distillation Unit) โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด ซึ่งจุดเดื่อน้ำมันดีเซลอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 150-360°C แต่เนื่องจากปริมาณความต้องการใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณสูงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถผลิตน้ำมันที่มีคุณภาพและเพียงพอต่อความต้องการ จึงมีการปรับปรุงคุณภาพโดยการแตกตัวโมเลกุลของน้ำมันหนักให้เป็นน้ำมันที่เบาขึ้น ซึ่งกระบวนการที่ใช้โดยทั่ว ๆ ไปมีหลายแบบด้วยกัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละโรงกลั่น กระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ ได้แก่ การแตกตัวโดยใช้ความร้อน (Thermal Cracking) การแตกตัวโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) และการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจน (Hydro Cracking)

2.5.2 คุณสมบัติน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมในการใช้งาน

1. แยกตัวเป็นละอองละเอียดได้
2. มีจุดติดไฟด้วยตนเองต่ำ
3. เผาไหม้ได้หมดที่สุดเท่าที่เป็นได้
4. ให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูง
5. หล่อลื่นระบบน้ำมันดีเซล
6. ไม่แข็งตัวเมื่อเย็นจัด
7. มีส่วนผสมของกำมะถันน้อย

2.5.3 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล [13]

1. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เป็นการวัดความหนักเบาของน้ำมันถ้าน้ำมันหนักมากค่าความร้อนของน้ำมันต่อหน่วยน้ำหนักจะลดลงค่าซีเทนลดลง การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดคราบเขม่าคาร์บอนสะสมได้มาก

2. ค่าซีเทน (Cetane Number) เป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพในการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง กล่าวคือเป็น ค่าที่บอกถึงความสามารถในการจุดระเบิดและการลุกติดไฟได้เร็ว ยิ่งค่าซีเทนสูงเท่าไรก็ยังมีช่วงเวลาความล่าช้าในการจุดระเบิดสั้นลงและทำให้มีปริมาณของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการจุดระเบิดมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนสูงกว่าจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันที่น้อยกว่า และทำให้ควบคุมการเผาไหม้ได้ดีกว่า นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์ด้วยเนื่องจากมีช่วงเวลาความล่าช้าในการจุดระเบิดสั้น ทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมในห้องเผาไหม้ลดลงก่อนถึงการลุกติดไฟ และยังลดปริมาณการปล่อย

เอกสารนี้ไฮโดรคาร์บอนและก๊าซจำพวกไนโตรเจนออกไซด์ได้อีกด้วย นอร์มัลเฮกซะเดเคน(ซีเทน) ไม่สามารถติดไฟได้ง่าย ได้ถูกกำหนดให้มีค่าซีเทนเป็น 100 และให้เฮปตะเมทิลโนเนนที่ติดไฟยากมี

ค่าซีเทนเป็น 15 ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนสูงจะมีความสามารถในการดันการน็อคของเครื่องยนต์ที่มากขึ้นด้วย[15]

3. ดัชนีซีเทน (Cetane Index) เป็นค่าประมาณสำหรับซีเทน เนื่องจากการหาค่าซีเทนต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลพิเศษ โดยเฉพาะในการเปรียบเทียบคุณภาพในการจุดระเบิดกับเชื้อเพลิงมาตรฐาน ซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและสิ้นเปลืองเวลาจึงได้มีการประมาณค่าซีเทนด้วยดัชนีซีเทน[15]

4. จุดวาบไฟ (Flash Point) เป็นอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงที่ได้รับความร้อนซึ่งจะเกิดส่วนผสมของไอน้ำมันและอากาศที่ติดไฟได้เหนือผิวหน้าของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อน้ำมันเป็นตัวต่อ จุดวาบไฟมีความสำคัญในการขนส่งและการสำรองเชื้อเพลิงในแง่ของอันตรายจากอัคคีภัย นอกจากนี้ น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำยังก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเนื่องจากจะมีการระเหยเมื่อไปเกาะอยู่ตามผนังกระบอกสูบ[15]

5. จุดไหลเท (Pour point) จะบอกถึงอุณหภูมิต่ำที่สุดที่น้ำมันยังไหลได้โดยจะมีผลต่อการใช้งานน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันที่มีไขเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ไขจะแยกตัวออกมาเป็นผลึกและจับตัวกันหุ้มส่วนที่ยังไหลได้ไว้ภายในทำให้น้ำมันหยุดไหล[15]

6. อุณหภูมิการกลั่น เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการระเหยของน้ำมัน มีผลต่อเครื่องยนต์ ดังนี้

6.1 อุณหภูมิที่มือน้ำมันกลั่นออกมา 10 เเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แสดงถึงความยากง่ายในการติดเครื่องยนต์ ยิ่งมีค่ามากเครื่องยนต์จะยิ่งติดยาก

6.2 อุณหภูมิที่มือน้ำมันกลั่นออกมา 50 เเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นจุดที่จะทำให้การอุ่นเครื่องยนต์ทำได้เร็ว การกระจายไอน้ำมันไปยังกระบอกสูบต่างๆเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและปรับส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศได้ถูกต้องตลอดเวลา ทำให้แรงเครื่องได้ดี เครื่องยนต์มีพลังงานสูง

6.3 อุณหภูมิที่มือน้ำมันกลั่นออกมา 90 เเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ต้องมีการกำหนดค่าสูงสุดไว้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานให้ได้พลังงานสูงสุดและประหยัดเชื้อเพลิง

6.4 อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุดและส่วนที่เหลือจากการกลั่น มีการกำหนดค่าสูงสุดไว้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันที่ไม่เผาไหม้เกิดการผสมกับน้ำมันเครื่องมากเกินไป[15]

7. ปริมาณกำมะถัน กำมะถันในน้ำมันดีเซลนั้นอยู่ในรูปต่างๆ เช่น เมอร์แคปแทน ซัลไฟด์ และไดซัลไฟด์ เป็นต้น กำมะถันเมื่อผ่านห้องเผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้นจะกลายเป็นกรดกำมะถันก่อให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย[15]

8. ความหนืด หรือ ความข้นใส (Viscosity) คือ แรงต้านทานภายในตัวของน้ำมันต่อการไหล น้ำมันที่หนืดเกินไป น้ำมันที่หนืดเกินไปจะไหลช้าความหนืดต้องเหมาะสม เพื่อให้ระบบการฉีดน้ำมัน (Injection System) ฉีดเป็นฝอยได้ละเอียดดี ในขณะเดียวกันก็ช่วยหล่อลื่นปั๊มหัวฉีดด้วยดี

น้ำมันข้นเกินไปจะกระจายตัวเป็นฝอยไม่ดี แต่ถ้าใสเกินไปก็จะให้การหล่อลื่นไม่พอถูกปั๊มหัวฉีด อาจติดตายหรือเกิดความสึกหรองทำให้ปั๊มรั่วได้ค่าความหนืดวัดเป็น Kinematic Viscosity[13]

9. กากถ่านหรือกากคาร์บอน (Carbon Residue) คือปริมาณสารคาร์บอนที่เหลือตกค้างอยู่ หลังจากน้ำมันได้ระเหยออกไปหมดแล้วที่อุณหภูมิสูงๆ ในช่วงเวลาหนึ่งน้ำมันที่มีปริมาณกากคาร์บอนสูงจะมีแนวโน้มการเกิดควันและคาบเขม่าคาร์บอนก็สะสมในห้องเผาไหม้บริเวณร่องแหวนลูกสูบและหัวฉีดได้

10. น้ำและตะกอน (Water and Sediment) ถ้ามีมากเกินไปมาตรฐานเป็นผลให้เกิดสัดตั้งจุดตันที่หม้อกรองน้ำมันได้น้ำเป็นอันตรายต่อระบบปั๊มและหัวฉีดเพราะไม่มีคุณสมบัติหล่อลื่น[13]

11. ปริมาณเถ้า (Ash) ในน้ำมันดีเซลจะประกอบด้วยสารพวกที่ไม่สามารถเผาไหม้หมดได้ อยู่ในรูปของของแข็ง สารอนินทรีย์ต่างๆ และในรูปของสารประกอบโลหะ ที่ละลายในน้ำมันได้ สารพวกที่เป็นของแข็ง ซึ่งจะขีดข่วนผิวโลหะของเครื่องยนต์ให้เป็นรอยได้ ทำความสึกหรอให้กับปั๊มหัวฉีด และหัวฉีดส่วนสารประเภทสบู่ของโลหะที่ละลายได้จะทำให้เกิดคราบ ตกตะกอน เกาะติดในเครื่องยนต์เพิ่มการสึกหรอ[13]

12. มีคุณสมบัติในการหล่อลื่น ทดสอบโดยวิธี HFRR โดยเหตุที่รัฐบาลกำหนดให้มีปริมาณกำมะถันได้ไม่เกิน 0.05 % โดยน้ำหนักการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลลงทำให้คุณสมบัติการหล่อลื่นโดยธรรมชาติของน้ำมันดีเซลลดลงไปมากเป็นผลให้ปั๊มหัวฉีดสึกหรอและติดตายได้ในระยะยาว จึงกำหนดให้ต้องเติมสารเพิ่มคุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity Additive) ทดสอบโดยวิธี HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) โดยมีรอยสึกหรอ WSD (Wear Scar Diameter) ต้องไม่สูงกว่า 460 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นใหม่[13]

2.6 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ [14]

การใช้ไบโอดีเซลเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลนั้น สามารถทำได้หลายแนวทาง สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ต้องลดความหนืดของไบโอดีเซลให้ต่ำลงมาอยู่ในระดับเดียวกับน้ำมันดีเซล (โดยทั่วไป ความหนืดควรต่ำกว่า 4.2 เซนติสโตกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ผู้ใช้ก็ควรคำนึงถึงคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของไบโอดีเซลด้วย เช่น ค่าซีเทน ค่าจุดไหลเท เป็นต้น การใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ มีประโยชน์หลายด้าน ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

2.6.1 ด้านสิ่งแวดล้อม

1. การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม (US Environment Protection Agency) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำวิจัยและทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่างๆ กับเครื่องยนต์ดีเซล และได้รายงานว่ไบโอดีเซลสูตร B100 และ B20 สามารถลด

มวลปลดปล่อยจากการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในกรมอุทการเรือ กองทัพเรือ ก็ได้รายงานผลการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้า ว่าสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 40

2. การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก เนื่องจากผลิตจากพืช

3. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันไม่ให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ (มีสารไดออกซินเป็นสารก่อมะเร็ง)

2.6.2 ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

1. การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล จากผลการทดลองของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) พบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าวในอัตราร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า

2. ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากในไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมัน ได้เป็นอย่างดีจึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น

3. ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อดีของนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

2.6.3 ด้านเศรษฐศาสตร์

1. การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค

2. การใช้ไบโอดีเซลสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 300,000 ล้านบาท

2.6.4 ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ

1. ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก ตลาดน้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซินกว่า 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้ในประเทศ ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การผสมน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 1-2 สามารถเพิ่มความหล่อลื่นในน้ำมันดีเซลได้ โดยเฉพาะกรณีที่จะมีการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

2.6.5 ด้านความมั่นคง

การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ถือเป็น การเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ

2.6.6 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์

น้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลกับไบโอดีเซล [16]

Fuel Property	Diesel	Biodiesel
Fuel Standard	ASTMD975	ASTMD6751
Lower Heating Value , Btu/gal	~129,050	~118,170
Kinematic Viscosity.@ 40° C	1.3-1.4	4.0-6.0
Specific Gravity kg/l @ 60° F	0.85	0.88
Density, lb/gal @ 15° C	7.079	7.328
Water and Sediment, vol %	0.05 max	0.05max
Carbon, wt%	87	77
Hydrogen, wt%	13	12
Oxygen, by dif.Wt%	0	11
Sulfur, wt%	0.05 max	0.0-0.0024
Boiling Point, ° C	180-340	315-350
Flash Point, ° C	60-80	100-170
Cetane Number	40-55	48-65
Lubricity SLBOCLE, grams	2,000-5,000	>7,000
Lubricity HFRR, micron	300-600	<300
Acid number, mg KOH/g	N/A	<0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยให้ติดต่อขอข้อมูลเพิ่มเติมจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือว่าไม่มีผลทางด้านลบ กรณีเครื่องยนต์เก่า อาจต้องเปลี่ยนซีลยางบางส่วน โดยทั่วไปในต่างประเทศนิยมนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมเป็นสูตรต่างๆ เช่น

B2 (ไบโอดีเซล 2% : ดีเซล 98%) มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา และจะบังคับใช้ทั้งมลรัฐ ในปี พ.ศ. 2548

B5 (ไบโอดีเซล 5% : ดีเซล 95%) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส โดยกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายเป็นน้ำมันสูตร B5

B20 (ไบโอดีเซล 20% : ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติและสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ (Alternative Motor Fuels Act : AMFA 1988) ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะรถของบริษัทและรถของหน่วยงานราชการกว่า 147 แห่ง รวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษ เช่น รถรับส่งนักเรียน รถประจำทาง เรือหรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในเมืองแร่ ทั้งนี้ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตระบบหัวฉีดน้ำมันและเครื่องยนต์ ดังตารางที่ 2-7 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษในไอเสียของไบโอดีเซล 100% กับน้ำมันดีเซลที่มีไบโอดีเซล 20%

B40 (ไบโอดีเซล 40% : ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อผลในการลดมลพิษ

B100 (ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ใช้ในประเทศเยอรมนีและออสเตรีย โดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์รายใหญ่ของประเทศ

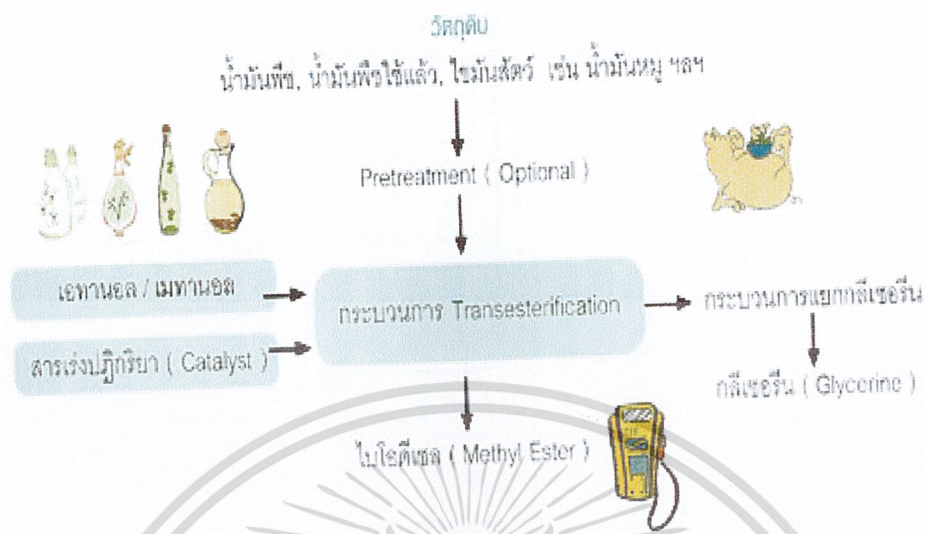
ตารางที่ 2-7 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษในการใช้ไบโอดีเซล เทียบกับน้ำมันดีเซล

ผลการทดลอง	น้ำมันดีเซล	ไบโอดีเซล
- มลพิษจากสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	พบ	ไม่พบ
- การทำลายชั้นโอโซน	ไม่ลดลง	ลดได้ 50 %
- การเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก	ไม่ลดลง	ลดได้ 30%
- การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO)	ไม่ลดลง	ลดได้ 50%
- เกิดสารไฮโดรคาร์บอน	ไม่ลดลง	ลดได้ 80%
- ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์	มี	ไม่มี

(ที่มา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7 แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 2-7 แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล [18]

2.7 การแบ่งวิธีทดสอบคุณสมบัติ

การแบ่งวิธีทดสอบคุณสมบัติไบโอดีเซลออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การตรวจสอบคุณสมบัติทั่วไปที่เป็นข้อกำหนดคุณภาพที่ดีของน้ำมัน ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ ปริมาณกำมะถัน ปริมาณกากถ่าน จำนวนซีเทน ปริมาณเถ้าซัลเฟต ปริมาณน้ำ สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด การกักคร่อนแผ่นทองแดง ค่าความเป็นกรด และปริมาณโลหะอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ทที่ปนเปื้อน ดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 มาตรฐานของไบโอดีเซล [17]

คุณสมบัติต่างๆ	มาตรฐาน	ค่ามาตรฐาน ASTM
เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์	ASTM D1298	ไม่ต่ำกว่า 96.5
ความหนืด ที่ 40 °C (เซนติสโตก)	ASTM D445	3.5-5.0
ความหนาแน่น ที่ 15 °C (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ASTM D1298	860-890
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ASTM D6751	-15 ถึง 10
จุดหมอกควัน (องศาเซลเซียส)	ASTM D6752	-3 ถึง 12
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ASTM D93	มากกว่า 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ได้แก่

2.1 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์และกรดคลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (สัดส่วนของปริมาณกรดคลิโนเลนิก-เมทิลเอสเทอร์ในเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันทั้งหมด) ซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้ว

2.2 ปริมาณเมทานอล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมด ตามมาตรฐานกำหนดให้มีสารเหล่านี้อยู่ในปริมาณน้อยเพราะเป็นการบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่าง ไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์กับ เมทานอล และกระบวนการแยกกลีเซอรินที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกได้อย่างดี

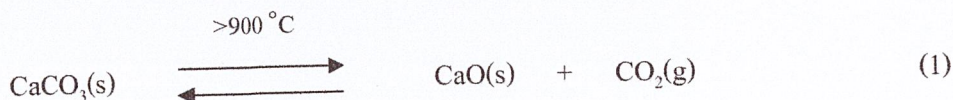
2.3 ทดสอบการมีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสและค่าไอโอดีนเนื่องจากไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพต่อการเก็บ

2.8 น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว[19]

การใช้น้ำมันพืชเก่ากลับมาประกอบอาหารซ้ำมีความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ เนื่องจากในน้ำมันพืชใช้แล้วที่นำกลับมาใช้ซ้ำมีสารพิษก่อมะเร็ง (carcinogen) อยู่ 2 กลุ่ม คือ อนุมูลอิสระ (free radicals) และ ไดออกซิน จึงสมควรนำน้ำมันเก่าเหล่านั้นมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์เป็นพลังงานแทนการนำกลับไปใช้บริโภค และจากปัญหาราคาน้ำมันแพงในปัจจุบันทำให้ต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม

2.9 ปูนขาว หรือ แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide, CaO)

ปูนขาว (lime) มีลักษณะเป็นผง หรือเป็นก้อนสีขาว ได้จากการเผาวัสดุที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เช่น หินปูน หินอ่อน และ เปลือกหอย เป็นต้น[20] มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 2572 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 2-9 ปูนขาว(แคลเซียมออกไซด์) เตรียมได้จากการให้ความร้อนแก่หินปูน หินปะการัง เปลือกของสัตว์ทะเล เป็นต้น ปูนขาวอาจอยู่ในรูปของ CaCO_3 โดยสลายเอาคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป ดังสมการที่ 1

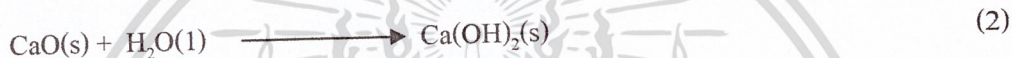


ปฏิกิริยาข้างต้นนี้สามารถผันกลับได้ คือ แคลเซียมออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากปูนขาวเป็นส่วนหนึ่งในการเปลี่ยนรูปที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์ทำขึ้น ภาษาที่ใช้เรียกทั่วไปคือ Calcium Oxide ในภาษาละตินเรียก chalcis จากชื่อของแคลเซียมซึ่งถูกใช้ในชื่อภาษาอังกฤษยุคโบราณเรียกว่า lime อย่างไรก็ตามชื่อเรียกดั้งเดิมในทางการค้าของ Calcium Oxide หรือปูนขาวคือ lime ในปัจจุบันปูนขาวมีใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยุ้กันเพิ่มมากขึ้น

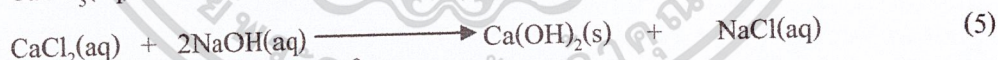
การใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เก่าแก่ที่สุด คือ การนำแคลเซียมออกไซด์นี้ไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อให้เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อปูนขาวผสมกับน้ำและทรายผลที่ได้ก็คือปูนดิบ ซึ่งปูนดิบก็คือปูนที่ใช้ในการก่ออิฐหรือหินนั่นเอง ที่อุณหภูมิห้องปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นได้ช้ามาก แต่หากผสมน้ำลงไปปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อปูนขาวผสมกับน้ำจะเกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือเรียกว่า Slaked Lime ดังสมการที่ 2



ปฏิกิริยาของแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นได้เร็ว เพื่อเกิดเป็นปูนดิบ ดังสมการที่ 3

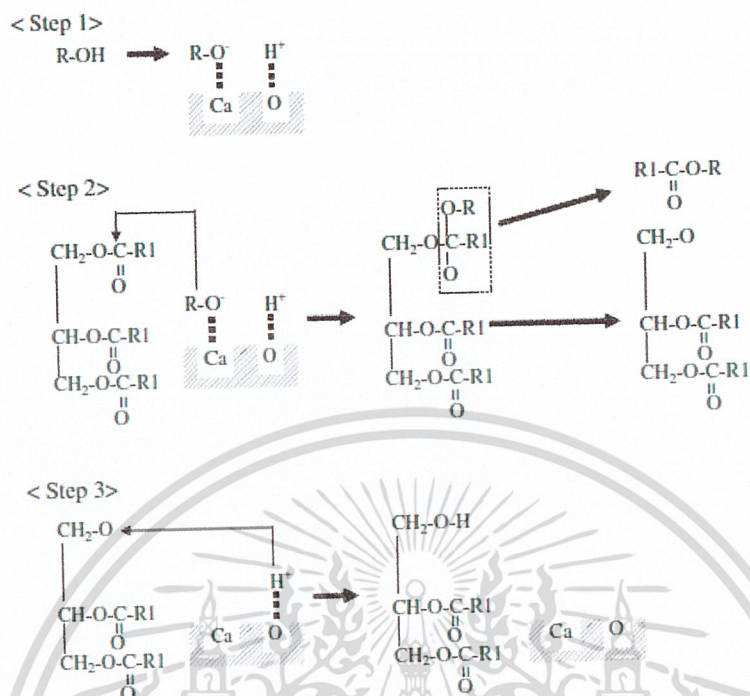


แคลเซียมออกไซด์สามารถนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยแคลเซียมออกไซด์สามารถเตรียมได้จากแคลเซียมคาร์บอเนต ดังสมการที่ 4-6



กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ของแข็งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แคลเซียมออกไซด์ โดยแคลเซียมออกไซด์จะเข้าไปแยกโปรตอนจากเมทิลแอลกอฮอล์ที่ตำแหน่งพื้นฐานในขั้นแรกของปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดเมทอกซีไอออน จากนั้นเมทอกซีไอออนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนของหมู่คาร์บอนิลในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งทำให้เกิดสารตัวกลางแอลคอกซีคาร์บอนิล แบ่งออกเป็น 2 โมเลกุล ได้แก่ fatty acid methyl esters และไอออนของไดกลีเซอไรด์ ดังรูปที่ 2-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้แคลเซียมออกไซด์
เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา[31]

ตารางที่ 2-9 แสดงสมบัติทางเคมีของแคลเซียมออกไซด์ [23]

รายการ	รายละเอียด
IUPAC Name	Calcium oxide
Other Name	Quicklime
Molecular formula	CaO
Molar mass	56.077 g/mol
Appearance	White to pale yellow powder
Density	3.35 g/cm ³
Melting point	2572 °C (2845 K)
Boiling point	2850 °C (3123 K)
Solubility in water	Reacts
Solubility in [acids, glycerol, sugar]	Soluble

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

solution]	
Solubility in [methanol, diethyl ether, n-octanol]	Insoluble
Acidity (pK _a)	12.5
Flash point	Non-flammable

2.9.1 กระบวนการผลิตปูนขาว[21]

2.9.1.1 นำหินปูนเรียงใส่เตาให้เต็ม ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ ๒ วัน หลังจากนั้นใช้อิฐและดินก่อประตูเตา หินที่ใช้จะเลือกเอาชนิดที่มีสีเข้ม

2.9.1.2 เเผาไฟ ขึ้นตอนนี้จะมีการใช้เครื่องเป่าลมช่วยตลอดระยะเวลาการเผา ซึ่งใช้เวลาประมาณ 6 วัน 6 คืน สำหรับเตาเผาขนาดเล็กสมัยก่อนการจะดูว่าหินสุกหรือยังจะสังเกตจากเปลวไฟคือ ถ้าสีของเปลวไฟที่ออกจากหินเป็นสีทองก็แสดงว่าหินนั้นสุกได้ที่แล้ว

2.9.1.3 เมื่อหินสุกดีแล้วรอให้เย็นตัวลงประมาณ 1 วัน จะได้เป็นก้อนปูน

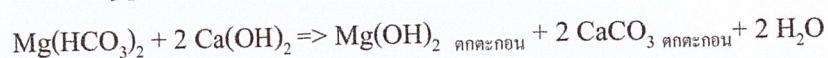
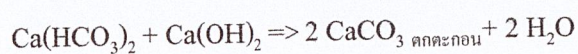
2.9.1.4 นำออกจากเตามาฉีดน้ำให้ทั่วเพื่อให้ปูนแตกออกเป็นก้อนเล็กๆ และอ่อนตัวลงง่ายต่อการโม่บด หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้หมดไอความร้อน (หินปูนที่เผาแล้วเมื่อโดนน้ำจะเกิดปฏิกิริยาความร้อน)

2.9.1.5 นำไปเข้าเครื่องโม่บดให้ละเอียดอีกครั้ง จะได้ปูนผงคุณภาพสูงพร้อมที่จะบรรจุถุงเพื่อจำหน่ายต่อไป ซึ่งเตาฯ หนึ่งจะได้ปูนขาวถึงราว 50-80 ตัน

2.9.2 ประโยชน์ของปูนขาว[22]

2.9.2.1 ด้านการเกษตร ปูนขาวช่วยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน ทำให้แบคทีเรียบางชนิดในดินเปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ที่ให้โทษซึ่งชอบเจริญในดินกรด รวมทั้งช่วยปรับโครงสร้างดินให้ร่วน ไถพรวนได้ง่ายขึ้น

2.9.2.2 ด้านการบำบัดน้ำ ช่วยแก้ปัญหาน้ำกระด้าง โดยปูนขาวเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่เป็นสาเหตุให้เกิดน้ำกระด้าง กลายเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำตกตะกอนออกมา ตามสมการดังนี้ กรณีน้ำกระด้างชั่วคราวที่เกิดจากไบคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม



2.9.2.3 อุตสาหกรรมก่อสร้าง หินปูนและปูนขาวนำไปใช้ในการก่อสร้างโดยตรงเช่น การ

สร้างถนน ใช้เป็นสารตัวเติมในยางแอสฟัลต์สำหรับลาดถนน ใช้ผสมทราย ทำปูนฉาบ ปูนสอ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติมหรือต้องการแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2.4 อุตสาหกรรมกระดาษ ปูนขาวใช้ในการผลิตสารที่ใช้ในการผลิต เช่น ใช้ผลิต Sodium hydroxide (โซดาไฟ) ที่ใช้ในกระบวนการย่อย ใช้ผลิตสารฟอกขาว (Bleaching liquor) โดยเติมคลอรีนผสมกับน้ำปูนขาว ใช้ผลิต Satin White โดยผสม Aluminium sulfate กับน้ำปูนขาว และใช้ผลิต Precipitated chalk หรือ Precipitated calcium carbonate (PPC) ที่ใช้เคลือบกระดาษโดยการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในน้ำปูนขาว

2.9.2.5 อุตสาหกรรมเคมี ปูนขาวถูกใช้ในกระบวนการผลิตสารเคมีหลายชนิด เช่น โซดาไฟ (Sodium hydroxide) จาก Lime-soda process โดยปูนขาวทำปฏิกิริยากับโซดาแอช (Sodium carbonate) ได้โซดาไฟและแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกตะกอน แคลเซียมคาร์ไบด์ได้จากการผสมปูนขาวกับถ่านโค้กแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 2000°C การทำให้กรดซิตริกบริสุทธิ์ขึ้น โดยเติมปูนขาวในสารละลายกรดซิตริกที่กรองแล้ว ทำให้ Calcium citrate ตกตะกอนออกมา นำตะกอนนั้นไปทำปฏิกิริยากับ Sulfuric acid อีกทีหนึ่ง ผลิตโซดาแอช (Sodium carbonate) ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว สบู่ สิ่งทอ และสารเคมี โดย Solvay

2.9.2.6 อุตสาหกรรมอาหาร ยา เครื่องสำอาง ปูนขาวเข้าไปมีบทบาททั้งทางตรงและทางอ้อม ใช้ปูนขาวดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ผักและผลไม้สดปล่อยออกมา เพื่อยืดอายุการเก็บ การผลิตน้ำตาล เติมน้ำปูนขาวลงในน้ำเชื่อม เพื่อสะเทินกรด ทำให้สิ่งเจือปนที่ละลายในน้ำเชื่อมตกตะกอน ใช้ผลิตสารที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ เช่น Calcium phosphate ที่เป็น food additive Calcium lactate, Calcium mandelate ที่ใช้ผลิตยา ปูนขาวที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์สูง

2.9.2.7 อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า ต้องใช้ปูนขาวที่มีความบริสุทธิ์สูง เป็นตัวช่วยดีสารเจือปนต่างๆ เพื่อผลิตเหล็กคุณภาพสูง

2.10 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.10.1 Thermogravimetric Analyzer (TGA) [24]

เครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อน วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสารเมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนสูง และเกิดการสลายตัว เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณของตัวอย่าง เช่น เซรามิกส์ เป็นต้น ใช้ศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของสาร เช่น ปริมาณตัวทำละลาย ความชื้น และสารเติมแต่ง การศึกษาความเสถียรภาพทางความร้อนของตัวอย่างโพลิเมอร์ ยาง วิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งสถานะของแข็งของเหลว ผง แผ่นฟิล์ม และเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) [25]

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายประมาณ 10 นาโนเมตรการสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น หลักการทำงานของเครื่อง SEM แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย

2.10.3 เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance (NMR) [26]

มีประโยชน์ในการศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบ โดยการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นวิทยุกับนิวเคลียสที่เกาะอยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในโมเลกุลขณะวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก นิวเคลียสเหล่านี้มีคุณสมบัติทางสนามแม่เหล็กต่างกัน เนื่องจากมีสถานะแวดล้อมทางเคมีต่างกัน เมื่อนำสารเคมีที่ต้องการวิเคราะห์หาสูตร โครงสร้างเข้าเครื่องจะได้สเปกตรัมซึ่งเป็นผลของการดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ต่าง ๆ ผลของสเปกตรัมจะบอกได้ว่านิวเคลียสที่ถูกดูดกลืนพลังงานนั้นมีสถานะแวดล้อมทางเคมีอย่างไร หรืออีกนัยหนึ่งนิวเคลียสนั้น ๆ อยู่ที่ตำแหน่งใดใน โมเลกุล รวมทั้งสามารถบอกจำนวนนิวเคลียสที่อยู่ในตำแหน่งนั้น ๆ ได้ด้วย

2.10.4 เครื่อง Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR) [26]

ใช้วิเคราะห์ ตรวจสอบ พิสูจน์ และศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสาร ซึ่งอาจอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ข้อมูลที่ได้จากวิธีนี้ เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการสั่น และการหมุนของโมเลกุล โมเลกุลของสารเคมีจะดูดกลืนแสงในช่วงของอินฟราเรด โมเลกุลจะถูกกระตุ้นเป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าที่อยู่สภาวะพื้น ซึ่งเป็นพลังงานพอที่จะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นและเกิดการหมุนได้ การศึกษาเอกลักษณ์ของสารตัวอย่างเชิงคุณภาพด้วยเครื่อง FT-IR เพื่อทำให้ทราบหมู่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหาว่ามีให้ดูดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ฟังก์ชันที่สำคัญภายใน โครงสร้าง โมเลกุล

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Xuejun และคณะ [27]

ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของ Calcium Methoxide เพื่อใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง โดยใช้เครื่องมือประยุกต์ใช้วิเคราะห์ต่างๆ อาทิเช่น วิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยวิธี BET วัดขนาดอนุภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope) และการจำแนกขนาดอนุภาค หลังจากนั้นจึงใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Transesterification ของน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อให้เป็นไบโอดีเซลกับเมทานอล ผลของหลายปัจจัย เช่นอัตราส่วนมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมัน อุณหภูมิของปฏิกิริยา และอัตราส่วนปริมาตรของเมทานอลต่อน้ำมันถูกศึกษาเพื่อแสดงถึงสภาวะที่เหมาะสมของการทดลอง ผลแสดงให้เห็นว่า Calcium Methoxide มีความเป็นเบสแก่ และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง เมื่อถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง ชนิดเบส และได้ผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 98 ที่เวลา 2 ชั่วโมงในการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีอายุการใช้งานนาน และสามารถรักษาอัตราการเกิดสูงแม้หลังจากถูกใช้ซ้ำหลายครั้งสามารถใช้งานได้ถึง 20 รอบ

Xuejun และคณะ[28]

ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองเป็นไบโอดีเซล ใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็งที่เป็นเบส เสนอกลไกการเกิดปฏิกิริยา และพิจารณาผลของอัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิของปฏิกิริยา อัตราส่วนมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมัน และปริมาณน้ำ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ 8% อุณหภูมิของปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำ 2.03% ในเมทานอลจะให้ผลดี และให้ผลิตไบโอดีเซลมากกว่า 95% ในเวลา 3 ชั่วโมง อายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า การเผาของตัวเร่งปฏิกิริยา $K_2CO_3/\gamma-Al_2O_3$ and $KF/\gamma-Al_2O_3$ แคลเซียมคาร์บอเนตรักษาอัตราการเกิดสูงได้ยาวนาน แม้หลังจากถูกใช้หลายครั้งสามารถใช้งานได้ถึง 20 รอบ และการทดลองซ้ำไม่เกิดผลกระทบต่อผลิตไบโอดีเซลที่เวลา 1.5 ชั่วโมง

Guoqing และคณะ[29]

ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านการทำอาหารแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็งคือ ไตรโพแทสเซียมฟอสเฟต ซึ่งมีร้อยละเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 97.3% โดยใช้ไตรโพแทสเซียมฟอสเฟตที่ปริมาณ 4% ของน้ำหนักน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที และทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านการทำอาหารแล้วโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์เพียง 88% จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งทั้งสองชนิดทำให้ทราบว่า

ไครโทแทสเซียมฟอสเฟตมีประสิทธิภาพดีกว่าเนื่องจาก ใด้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากกว่า และแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่า

กัณยารัตน์ นวมโคกสูง และคณะ[1]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากเปลือกไข่ด้วยวิธีทางเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับเมทานอลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาของเปลือกไข่บดละเอียดกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และนำมาทดลองด้วยเทคนิค TGA พบว่าเราสามารถที่จะลดอุณหภูมิของการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาได้จากอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสลดลงเป็น 700 องศาเซลเซียสด้วยการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีทางเคมีก่อนนำไปผ่านการเผา และจากการนำแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากเปลือกไข่ทดลองด้วยเทคนิค SEM พบว่าแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากเปลือกไข่ด้วยวิธีทางเคมีมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย คือ 0.509 ± 0.099 ไมครอน จากนั้นศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลการทดลองด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ พบว่า ที่เวลา 3 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%, 2% และ 3% ใด้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 12.18, 15.65 และ 97.17 ตามลำดับ ส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 4% ที่เวลา 2 ชั่วโมง ใด้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 98.76 เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า ที่เวลา 3 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%, 2%, 3% และ 4% ใด้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 11.58, 19.69, 25.95 และ 13.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอนาไลเซอร์ (TGA) Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA
- 2) เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) NOVA รุ่น nano 400
- 3) เตาเผา Nabertherm GmbH รุ่น Bahnhofstr. 20, 28865 Lilienthal/Bremen, Germany
- 4) เครื่องทรานส์ฟอร์มมิงนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (NMR) BRUKER รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกะเฮิรต์
- 5) เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) Jasco รุ่น 4100
- 6) เครื่องปั่นเหวี่ยงแรงหนีศูนย์กลาง Centrifuge
- 7) เครื่องปั่นกวน
- 8) แม่เหล็ก
- 9) ตู้อบสูญญากาศ
- 10) เครื่องชั่งไฟฟ้า
- 11) เทอร์โมมิเตอร์
- 12) ขวดก้นกลมสามคอ
- 13) กระจกตวง
- 14) กรวยแยก
- 15) บิวเรต
- 16) ปิเปต
- 17) เครื่องแก้วต่างๆ

3.2 สารเคมี

- 1) น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (น้ำมันปาล์ม)
- 2) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ได้จากปูนขาว
- 3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Italmer
- 4) เมทานอล 99.99% (Methanol CH₃OH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Apex
- 5) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH) เกรดวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท Labscan จำกัด สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด 6) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Italmer

7) ฟีนอล์ฟทาเลิน (phenolphthalein) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Apex

8) โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogenphthalate ; KHP) เกรดวิเคราะห์
บริษัท Apex

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมน้ำมันที่ใช้แล้วก่อนการทดลอง

3.3.1.1 แหล่งที่มาของน้ำมัน

น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วที่ได้มาจากกิจกรรมการทอดไก่

3.3.1.2 การเตรียมน้ำมันก่อนนำมาทำการทดลอง

นำน้ำมันที่ผ่านการทอดมากรองด้วยผ้าขาวบางแล้วนำไปกรองด้วยสำลีอีกครั้ง
เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่มีอยู่ออกไป

3.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40

พิจารณาน้ำมันที่นำมาทดลองว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณเท่าใด ดังตารางที่ 3-1
ตารางที่ 3-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาตรเมทานอลและความเข้มข้นของ โซเดียม
ไฮดรอกไซด์

กรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำมัน (กรัม)	เมทานอล (มิลลิลิตร)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)
0.00-0.2	56.4 ± 0.2	50	0.1
0.2-1.0	28.2 ± 0.2	50	0.1
1.0-30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25
30.0-50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 หรือ 1.0
50.0-100	3.525 ± 0.001	100	1.0

เนื่องจากน้ำมันที่จะนำมาทดลองต้องมีกรดไขมันอิสระไม่เกิน 2.5% ดังนั้นจึงเลือกช่วง
กรดไขมันอิสระในน้ำมัน 1.0-30.0% โดยทำการทดลองดังนี้

- 1) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกซ์ 0.25 นอร์มอล
- 2) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยนำไปไทเทรตกับ
สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโดรเจนพทาเลต 0.25 นอร์มอล ใช้ฟีนอล์ฟทาเลิน
เป็นอินดิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์
3) ชั่งน้ำมัน 7.05 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ 4) เติมน้ำตาลลงไป 75 มิลลิลิตร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ให้ความร้อนจนสารละลายเข้ากันดี (ไม่เกิน 60 °C)
- 6) เติมฟีนอล์ฟทาลิน 2 มิลลิลิตร
- 7) ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว
- 8) บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

3.3.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

- 1) นำน้ำมันไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C เพื่อนำไประเหยน้ำออกเป็นเวลา 30 นาที
- 2) ชั่งน้ำมัน 100 กรัม ที่ผ่านการระเหยน้ำออกแล้วลงในขวดก้นกลมสามคอ
- 3) นำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1, 2, 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน ผสมกับเมทานอลที่อัตราส่วน 1:12 โดยโมลของน้ำมันแล้วผสมกับน้ำมันในขวดก้นกลมสามคอ
- 4) ตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์ โดยต่อขวดก้นกลมสามคอเข้ากับคอนเดนเซอร์และเทอร์โมมิเตอร์ ให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในขวดก้นกลมสามคออยู่ที่ 60 °C และปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 3-1 การตั้งชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์สำหรับสังเคราะห์ไบโอดีเซล

- 5) เก็บตัวอย่างที่เวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 60 นาที 120 นาที และ 180 นาที โดยใช้ปิเปตดูดขึ้นมา 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปใส่กรวยแยกเพื่อรอให้แยกชั้น
- 6) ไขส่วนที่อยู่ด้านล่างออก ซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรอลและเมทานอลออก

7) ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่น จนกว่าผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลจะมีสถานะเป็นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

8) ทำการตรวจวัดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

ไม่ว่ากรณีใดๆ หงสน อักษรห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-2 แสดงปริมาณสัดส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล เวลา อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Catalyst	Molar ratio of methanol to oil	%catalyst (%wt oil)	Reaction Time(min)	Temperature (°C)
KOH	1:12	2%	10 min	60
			20 min	
			30 min	
			60 min	
			120 min	
			180 min	
	3%	10 min		
		20 min		
		30 min		
		60 min		
		120 min		
		180 min		

3.3.4 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยา เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

- 1) นำน้ำมันไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C เพื่อไประเหยน้ำออกเป็นเวลา 30 นาที
- 2) ชั่งน้ำมัน 100 กรัม ที่ผ่านการระเหยน้ำออกแล้วลงในขวดก้นกลมสามคอ
- 3) นำปฏิกิริยา 1, 2, 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันผสมกับเมทานอลที่อัตราส่วน 1:12 โดยโมลของน้ำมันแล้วผสมกับน้ำมันในขวดก้นกลมสามคอ
- 4) ตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์ โดยต่อขวดก้นกลมสามคอเข้ากับคอนเดนเซอร์และเทอร์โมมิเตอร์ ให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในขวดก้นกลมสามคออยู่ที่ 60 °C และปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 5) เก็บตัวอย่างที่เวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 60 นาที 120 นาที และ 180 นาที โดยใช้ปิเปตดูดขึ้นมา 10 มิลลิลิตร แล้วใส่ในหลอดเซนติฟิว
- 6) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 4000 รอบเป็นเวลา 5 นาที เมื่อมีการแยกตัวออกจากกันแล้วใช้หลอดหยดดูดเฉพาะชั้นเมทิลเอสเทอร์
- 7) ทำการตรวจวัดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค ¹H-NMR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-3 แสดงปริมาณสัดส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล เวลา อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Catalyst	Molar ratio of methanol to oil	%catalyst (%wt oil)	Reaction Time(min)	Temperature (°C)
CaO from lime	1:12	1%	10 min	60
			20 min	
			30 min	
			60 min	
			120 min	
			180 min	
		2%	10 min	
			20 min	
			30 min	
			60 min	
			120 min	
			180 min	
		3%	10 min	
			20 min	
			30 min	
			60 min	
			120 min	
			180 min	
		4%	10 min	
			20 min	
			30 min	
			60 min	
			120 min	
			180 min	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

- 1) นำน้ำมันไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C นำไประเหยน้ำออกเป็นเวลา 30 นาที
- 2) ชั่งน้ำมัน 100 กรัม ที่ผ่านการระเหยน้ำออกแล้วลงในขวดก้นกลมสามคอ
- 3) นำแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เกรดวิเคราะห์ 1, 2, 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันผสมกับเมทานอลที่อัตราส่วน 1:12 โดยโมลของน้ำมันแล้วผสมกับน้ำมันในขวดก้นกลมสามคอ
- 4) ตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์ โดยต่อขวดก้นกลมสามคอเข้ากับคอนเดนเซอร์และเทอร์โมมิเตอร์ ให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในขวดก้นกลมสามคออยู่ที่ 60 °C และปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 5) เก็บตัวอย่างที่เวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 60 นาที 120 นาที และ 180 นาที โดยใช้ปิเปตดูดขึ้นมา 10 มิลลิตร แล้วใส่หลอดเซนติฟิว
- 6) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 4000 รอบเป็นเวลา 5 นาที เมื่อมีการแยกตัวออกจากกันแล้วใช้หลอดหยดดูดเฉพาะชั้นเมทิลเอสเทอร์
- 7) ทำการตรวจวิเคราะห์ของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-4 แสดงปริมาณสัดส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล เวลา อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Catalyst	Molar ratio of methanol to oil	%catalyst (%wt oil)	Reaction Time(min)	Temperature (°C)
CaO Lab grade	1:12	2%	10 min	60
			20 min	
			30 min	
			60 min	
			120 min	
			180 min	
		3%	10 min	
			20 min	
			30 min	
			60 min	
			120 min	
			180 min	
		4%	10 min	
			20 min	
			30 min	
			60 min	
			120 min	
			180 min	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว มาทำปฏิกิริยากับเมทานอลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอน คือ ตอนที่ 1 วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชที่ใช้ในงานวิจัย ตอนที่ 2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตอนที่ 3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตอนที่ 4 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้วก่อนนำมาทดลอง

เนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ ถ้าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่นำมาสังเคราะห์ไบโอดีเซลมีค่ามากกว่า 2.5% จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณลดลงและผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นไขสบู่และน้ำ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ดังสมการ



ปริมาณกรดไขมันอิสระสามารถรายงานได้ในรูปของกรดลอริก เนื่องจากน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีกรดไขมันอิสระในรูปของกรดลอริกเป็นองค์ประกอบ [25] และในน้ำมันพืชที่ใช้แล้วส่วนใหญ่มีปาล์มเมติกเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากเป็นน้ำมันปาล์มจึงรายงานในรูปของปาล์มเมติกด้วย

ในการทดลองสามารถวิเคราะห์ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ 0.2382 นอร์มอล แล้วทำการไทเทรตน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันในรูปของกรดลอริก และปาล์มเมติก ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40 ได้ผลดังตารางที่ 4-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของกรดลอริกและกรดปาล์มเมติก

ปริมาณกรดไขมันอิสระ(%)		
ตัวอย่างที่	ในรูปของกรดลอริก	ในรูปของกรดปาล์มเมติก
1	0.81	1.04
2	0.91	1.71
3	0.88	1.12
เฉลี่ย	0.87	1.11

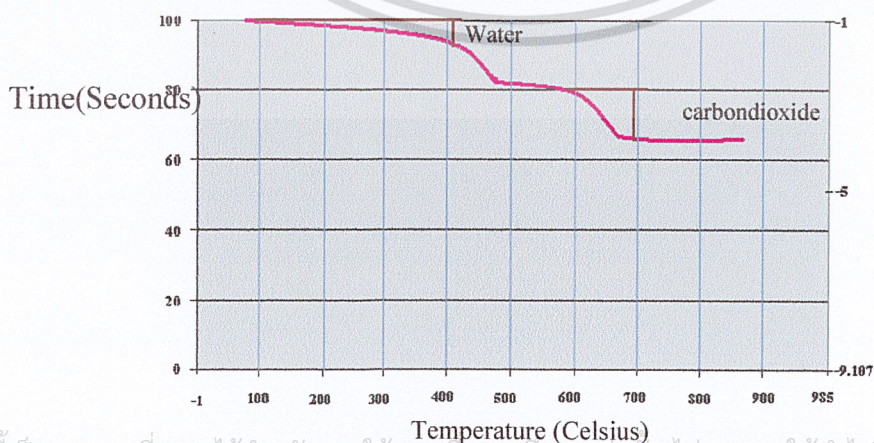
จากตารางที่ 4-1 พบว่าน้ำมันพืชที่ใช้แล้วที่นำมาทดลองมีปริมาณร้อยละของกรดไขมันอิสระในรูปของกรดลอริกและกรดปาล์มเมติก คือ 0.87 และ 1.11 ซึ่งเมื่อนำร้อยละของกรดไขมันอิสระทั้งสองมารวมกันแล้วจะได้ 1.98 % พบว่าไม่เกิน 2.5% แสดงว่าน้ำมันปาล์มนี้มาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ

4.2 การหาช่วงอุณหภูมิที่จะเปลี่ยนปูนขาวให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์(CaO)ด้วย

เทคนิค TGA

การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis : TGA) ซึ่งจะวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทุกช่วงอุณหภูมิ การทดลองจะทำในระบบปิด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (Thermogravimetric Analyzer) ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสาร ตัวอย่างที่ทดสอบ เช่น การสลายตัวของค้ประกอบ(Decomposition)การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นสารใหม่(Formation)

ผลของการศึกษาช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนของปูนขาวให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค TGA ดังรูปที่ 4-1

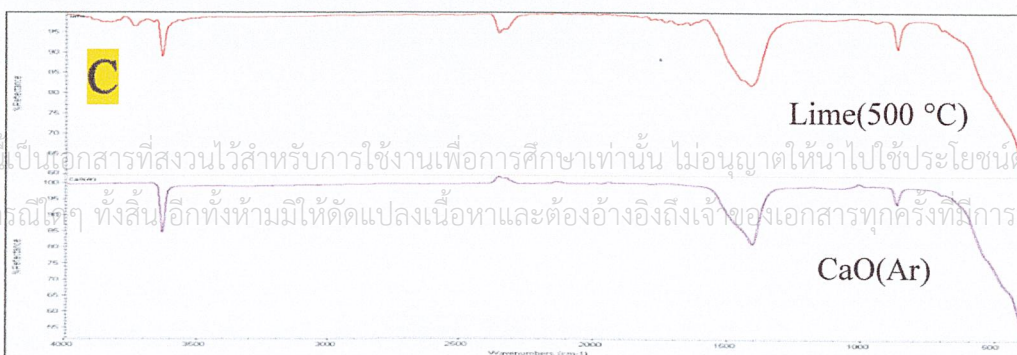
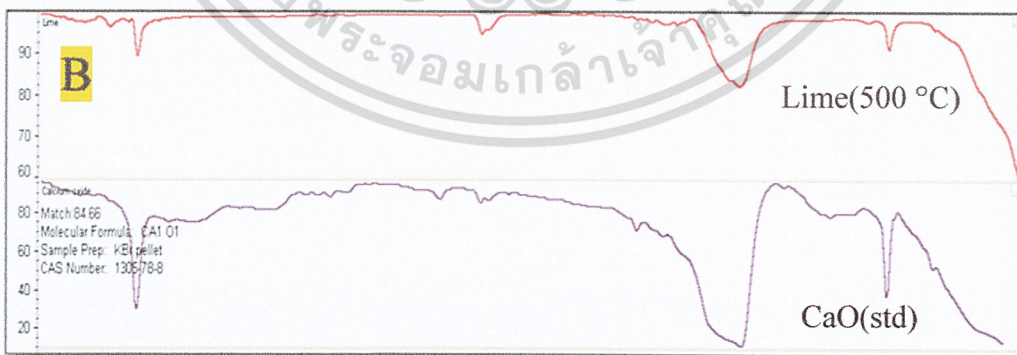


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4-1 ผลการศึกษาช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงของปูนขาวให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้
ด้วยเทคนิค TGA

จากรูปที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่ามีการสลายออกไปของน้ำ เนื่องจากแคลเซียมออกไซด์สัมผัสกับความชื้นในอากาศเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการ $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงจากปูนขาวเป็นแคลเซียมออกไซด์อย่างสมบูรณ์จึงต้องให้ความร้อนเพื่อให้ น้ำ หลุดออกมาที่อุณหภูมิประมาณ 453.40 องศาเซลเซียส แต่เพื่อความแน่นอนจึงเลือกใช้ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เพื่อเปลี่ยนปูนขาวให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นสมการ $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$ ส่วนการสลายไปของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงที่สองนั้นอาจจะมาจากการปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์บอเนตในปูนขาวที่ร้อนมาจึงทำให้มีการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของปูนขาวและแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค FT-IR

จากการนำปูนขาวที่อบแล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแคลเซียมออกไซด์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเผา และแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4-2



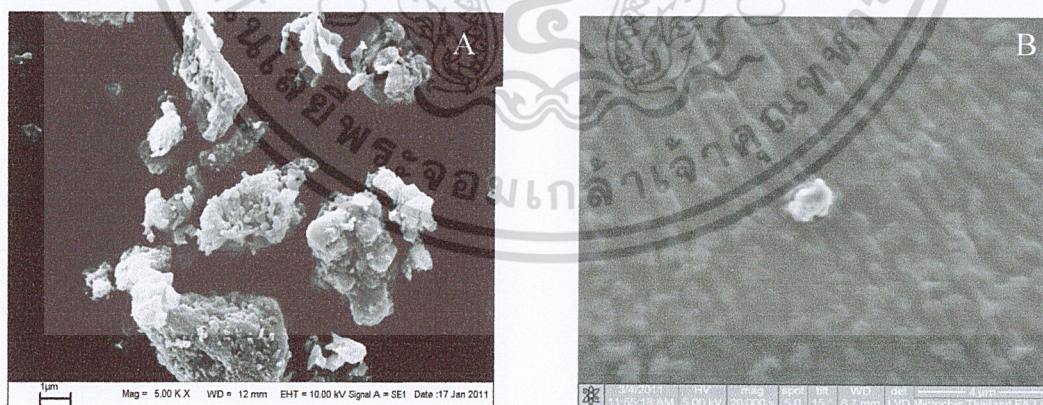
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 4-2** (A) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วย FT-IR โดยวิเคราะห์แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแคลเซียมออกไซด์มาตรฐาน
- (B) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วย FT-IR โดยวิเคราะห์ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับแคลเซียมออกไซด์มาตรฐาน
- (C) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วย FT-IR โดยวิเคราะห์ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์

จากรูปที่ 4-2 (A) ถึง (B) แสดงให้เห็นว่า แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์มีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับแคลเซียมออกไซด์มาตรฐานประมาณ 91.43 % ส่วนปูนขาวผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นั้นมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับแคลเซียมออกไซด์มาตรฐานประมาณ 84.66 และรูปที่ 4-2(C) แสดงให้เห็นว่าปูนขาวที่ใช้ในการทดลองมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับแคลเซียมออกไซด์เนื่องจากสเปกตรัมส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

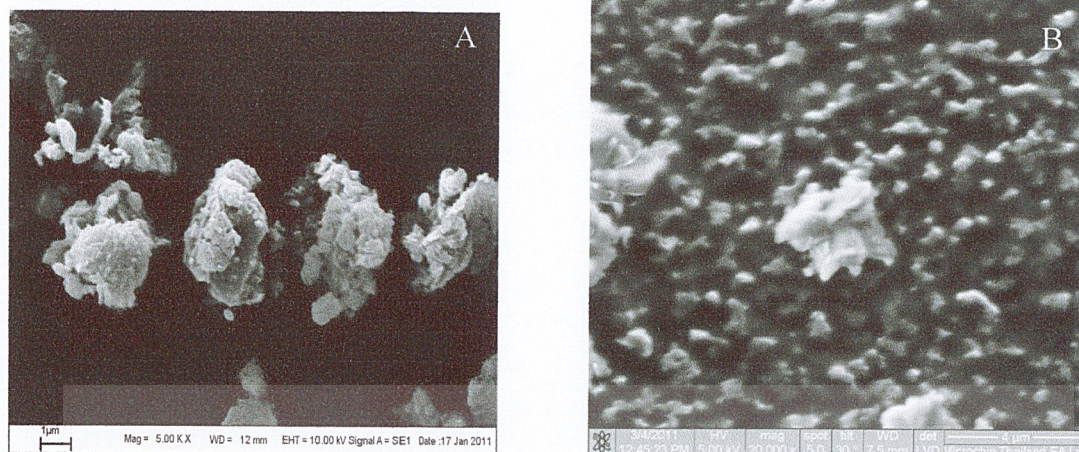
4.4 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและภาพลักษณะลักษณะฐานของอนุภาคด้วยเทคนิค SEM

จากการนำปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแคลเซียมออกไซด์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเผา และแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM ได้แสดงผลดังรูปที่ 4-3 และ 4-4



รูปที่ 4-3 ภาพแสดงการวิเคราะห์ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (A) และ 20,000 เท่า (B) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

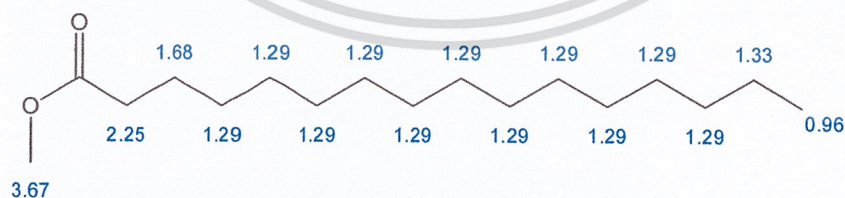


รูปที่ 4-4 ภาพแสดงการวิเคราะห์แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (A) และ 20,000 เท่า (B) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4-3 และ รูปที่ 4-4 เมื่อนำภาพที่ได้ไปหาขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม ImageJ พบว่าขนาดของอนุภาคที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสนั้นโดยเฉลี่ย คือ 1.509 ± 0.356 ไมครอน และขนาดอนุภาคของแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์โดยเฉลี่ย คือ 3.509 ± 0.406 ไมครอน

4.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไบโอดีเซล

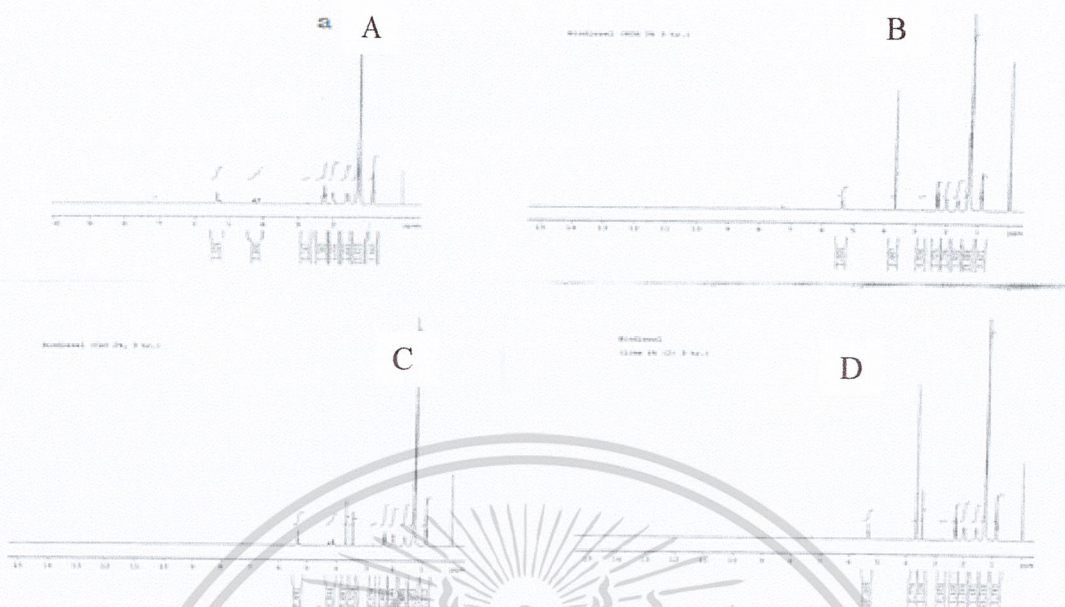
จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มจะได้เมทิลเอสเทอร์ที่ชื่อว่า เมทิลปาล์มมิเทจ (Methyl palmitate) ออกมา จึงได้ทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค $^1\text{H-Nuclear Magnetic Resonance}$ ($^1\text{H-NMR}$) ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ซึ่งเมทิลปาล์มมิเทจมีสูตร โครงสร้างและสัญญาณโปรตอน ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 แสดงสูตร โครงสร้างและสัญญาณ โปรตอนของ (Methyl palmitate)

จากโปรแกรม ChemDraw Ultra.

เมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลไปหาหมู่ฟังก์ชัน พบว่าสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ของทั้งสามตัวเร่ง ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ไม่ปรากฏค่าที่เสีย อีกทั้งยังมีใช้ดัดแปลงเนื้อยาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แคลเซียมออกไซด์ เกรดวิเคราะห์ และอนุภาคนิวเคลียส ดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ ของน้ำมันปาล์มก่อนที่นำมาสังเคราะห์ (A) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (B) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์เร่งปฏิกิริยา (C) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (D)

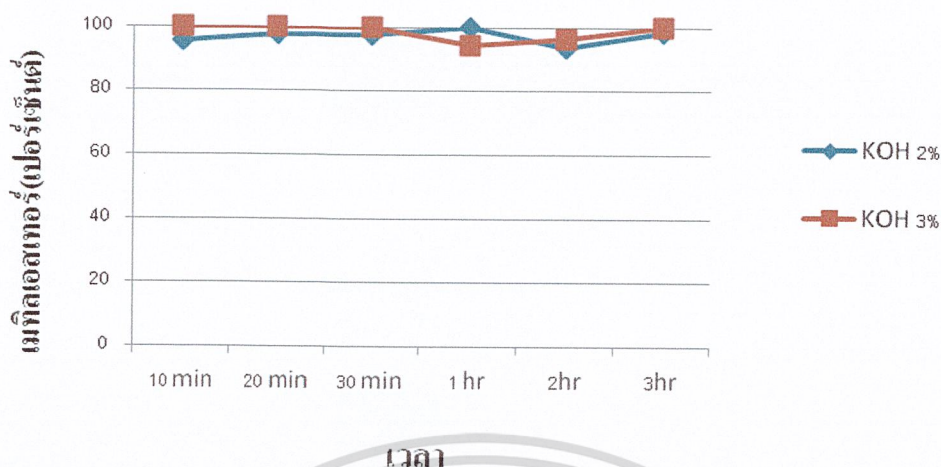
จากรูปที่ 4-5 และรูปที่ 4-6 พบว่าสเปกตรัมของน้ำมันปาล์มก่อนที่นำมาสังเคราะห์ (A) ไม่มีสัญญาณโปรตอนปรากฏ ซึ่งสัญญาณโปรตอนของหมู่ฟังก์ชัน $-\text{OCH}_3$ ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของเมทิลปาล์มเมทิล ส่วนสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (B) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์เร่งปฏิกิริยา (C) และสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (D) จะปรากฏสัญญาณโปรตอนที่ 3.67 จึงสามารถบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล)

4.6 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของ

เมทิลเอสเทอร์จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้น้ำมัน 100 กรัม และเมทานอลในอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล คือ 1:12 (43.94 กรัม) นำไปทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 60 องศา

เซลเซียส และมีการปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง แล้วนำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ได้ดังรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2% และ 3% โดยน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

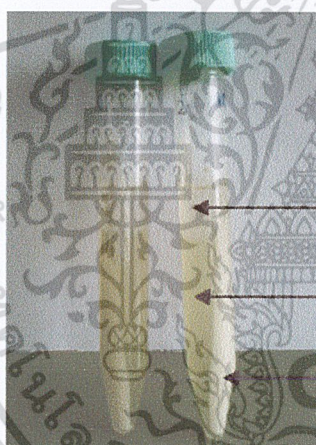
จากรูปที่ 4-7 พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับเมทานอล โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ปริมาณของร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่เพิ่มขึ้นทีละน้อยและได้ ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ เท่ากับ 98.57% ที่เวลา 3 ชั่วโมง แล้วยังพบอีกว่าถ้าใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลาเพียง 10 นาที ก็จะได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ถึง 100

4.7 การเก็บตัวอย่างจากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์และปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส

การเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ ทำโดยบีบอัดสารละลายออกมาจากขวดก้นกลมสามคอ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 5 นาทีที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาทีเพื่อที่จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในชั้นของเมทิลเอสเทอร์ตกลงสู่ด้านล่าง จะได้ผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 4-8 ซึ่งจะเห็นว่าชั้นของสารละลายได้แบ่งชั้นเป็นสามชั้นคือ ชั้นเมทานอล ชั้นเมทิลเอสเทอร์ และชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาดังรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-8 แสดงลักษณะของสารละลายที่บีบเปิดออกมาจากขวดก้นกลมสามคอ



ชั้นเมทานอล

ชั้นเมทิลเอสเทอร์

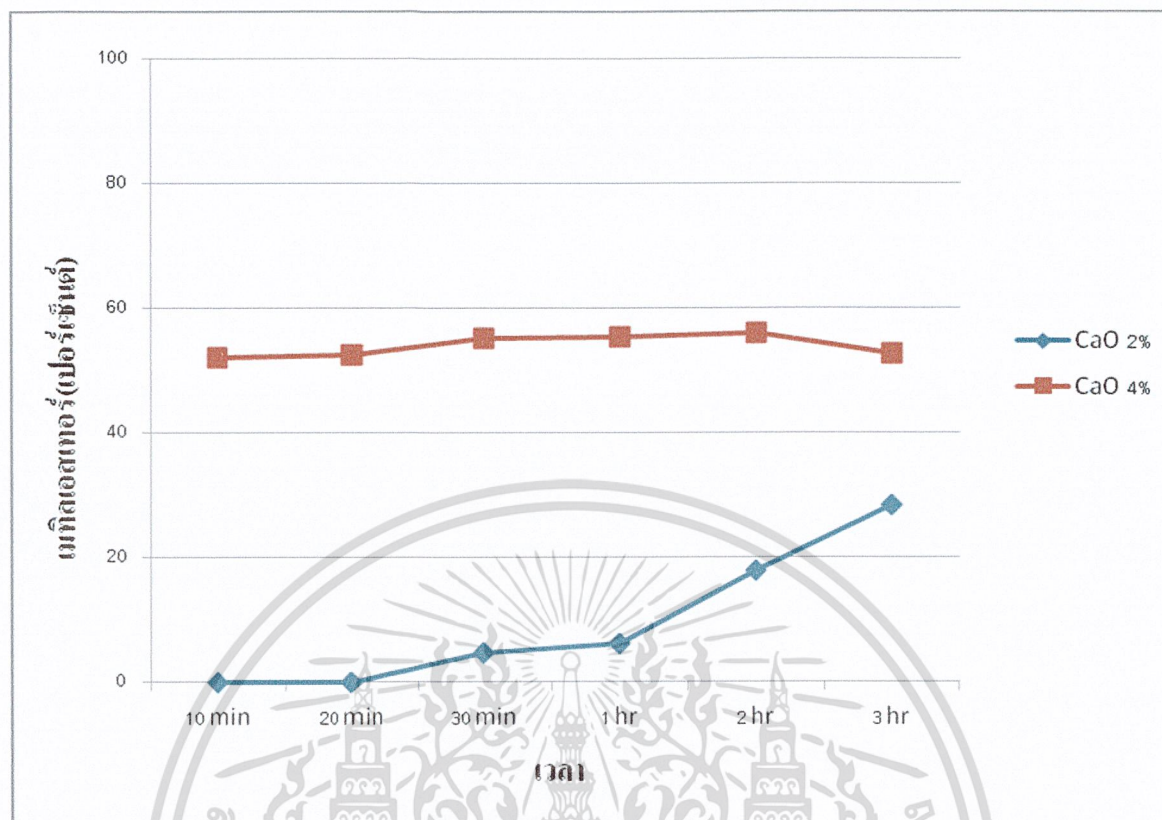
ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา

รูปที่ 4-9 แสดงลักษณะของการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลหลังจากผ่านการปั่นเหวี่ยงแล้ว

4.8 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้น้ำมัน 100 กรัม และเมทานอลในอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล คือ 1:12 (43.94 กรัม) นำไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และมีการปั่นกวอย่างต่อเนื่อง แล้วนำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ได้ดังรูปที่ 4-1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ในปริมาณต่าง ๆ กันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

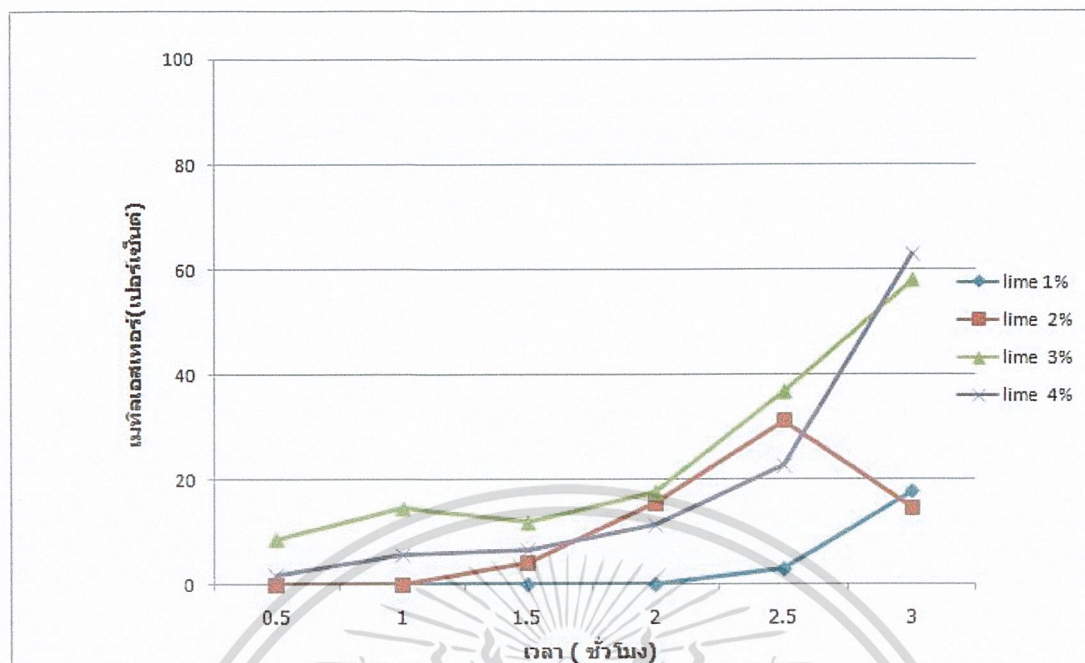
จากรูปที่ 4-10 พบว่าการใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผลร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีลักษณะข้อมูลที่เกาะกลุ่มกัน โดยร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่สังเคราะห์ได้จากปริมาณแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ คือ 2% และ 4% คือ 28.42 และ 52.60 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น

4.9 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของ

เมทิลเอสเทอร์จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปุนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้น้ำมัน 100 กรัม และเมทานอลในอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล คือ 1:12 (42.92 กรัม) นำไปทำปฏิกิริยากับปุนขาวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และมีการปั่นควนอย่างต่อเนื่อง แล้วนำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ได้ดังเอกสารรูปที่ 4-11

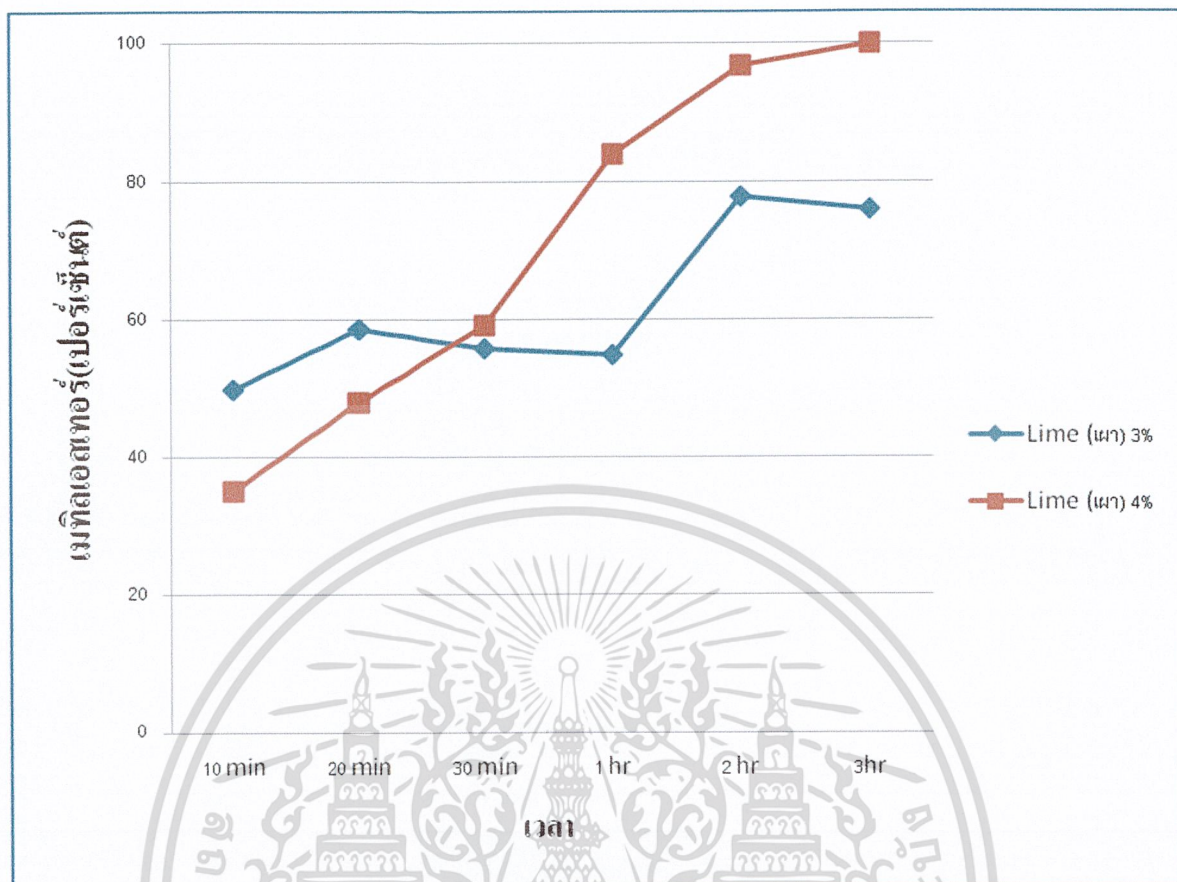
เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ปูนขาวในปริมาณต่าง ๆ กันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4-11 พบว่าการใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผลร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้สูงสุดจากปริมาณแคลเซียมออกไซด์ คือ 1% 2% 3% และ 4% คือ 17.72, 14.50, 58.02 และ 62.89 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดยังไม่ถึงร้อยละ 80 จึงได้มีการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการนำปูนขาวที่ขายตามท้องตลาดมาทำการวิเคราะห์ TGA เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสม จึงเลือกใช้อุณหภูมิของการเผาที่ 500 องศาเซลเซียส แล้วเลือกทำการทดลองสังเคราะห์ไบโอดีเซลเพิ่มในอัตราส่วนของปูนขาวที่ 3% และ 4% แล้วนำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ได้ดังรูปที่ 4-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสในปริมาณต่าง ๆ กัน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4-12 พบว่าการใช้ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผลร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้สูงสุดจากปริมาณปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส คือ 3% และ 4% คือ 75.90 และ 100 ตามลำดับ

จากผลร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์มีร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ไม่ต่างกับปูนขาวที่ขายตามท้องตลาดมากนัก แต่ถ้านำปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จากปฏิกิริยาพบว่าได้ปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์และปูนขาวที่ยังไม่เผา สาเหตุเนื่องมาจากปูนขาวที่ยังไม่ได้เผานั้น ไม่ได้อยู่ในรูปของแคลเซียมออกไซด์ แต่อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์แทน เพราะมีความชื้นทำให้แคลเซียมออกไซด์ทำปฏิกิริยากับความชื้นจึงกลายเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้ไขมันพืชที่ไขแล้วมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ในขั้นแรกได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันก่อนนำมาทดลอง และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยเปรียบเทียบร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ระหว่าง โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ และ ปูนขาวที่ขายตามท้องตลาด พบว่า

5.1.1 การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มที่นำมาทดลองด้วยการไทเทรต ซึ่งจากมาตรฐาน AOCS official Method Ca 5a-40 ไม่ควรเกิน 2.5% ซึ่งผลที่ได้เท่ากับ 1.98 % จึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้

5.1.2 จากการศึกษาหาช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในปูนขาวให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 500 องศาเซลเซียส

5.1.3 จากการนำแคลเซียมออกไซด์ไปถ่ายภาพขนาดของอนุภาคด้วยเทคนิค SEM พบว่าขนาดอนุภาคของปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสมิขนาด โดยเฉลี่ย คือ 1.509 ± 0.356 ไมครอน และขนาดอนุภาคของแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์โดยเฉลี่ย คือ 3.509 ± 0.406 ไมครอน

5.1.4 การหาปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยการใช้น้ำมันพืชที่ไขแล้ว 100 กรัม ทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล 1:12 โดยโมล (43.94 กรัม) โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส และมีการปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง แล้วใช้ตัวเร่งและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน เมื่อคำนึงถึงการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่น้อยที่สุดพบว่า

1. เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด คือ 100 โดยใช้ปริมาณตัวเร่ง 3% และระยะเวลา 10 นาที
2. เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด คือ 55.94 โดยใช้ปริมาณตัวเร่ง 3% และระยะเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับ เมื่อใช้ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ร้อยละการคำนวณเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด คือ 100 โดยใช้ปริมาณตัวเร่ง 4% และระยะเวลา 3 ชั่วโมงกรณีที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลควรใช้ขวดก้นกลมสามคอโดยเจาะรูข้างเพื่อใส่ที่สำหรับดูดสารเพื่อทำให้เป็นระบบปิดอย่างสมบูรณ์

5.2.2 การเก็บสารเคมีควรมีการควบคุมความชื้นตลอดเวลาเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารเคมีและจะทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้

5.2.3 ควรศึกษาเวลาในการเผาปูนขาวที่ระยะเวลาต่างๆเพื่อความเหมาะสมในการใช้งานและประหยัดค่าใช้จ่ายในการเผา

5.2.4 ควรทำการศึกษาเพิ่มเกี่ยวกับเวลาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยมีปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กัญยรัตน์ นวมโลกสูง,กาญจนา ชิพนุรัตน์ และเทพอนันต์ เฟื่องฟู. 2552. การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] [Online]. Available : <http://www.istc.illinois.edu/tech/small-scale-biodiesel.pdf>
- [3] [Online]. Available : <http://www.barascientific.com/article/Biodiesel/biodiesel.php>
- [4] [Online]. Available : http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=90&i2=10000
- [5] ธนวัฒน์ อุตตมธรรูป และธิตี เขียวฤทธิ์. 2544. การศึกษาเบื้องต้นการเกิดอิมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] [Online]. Available : http://www.biodiesel.rdi.ku.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=12
- [7] ขนิษฐา สิงห์ไทยสมบูรณ์,จิรพันธ์ รัมโพธิ์เย็น และนฤมล ภายะวรรณ. 2550. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้วด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] L.C. Meher, D. Vidya Sagar, S.N. Naik. 2004. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 248-268.
- [9] A. Ramadhas, S. Jayaraj and C. Muraleecharan. 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. Fuel. 84: 335-340.
- [10] A.K. Agarwal. 2006. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Sciene. (Unpublished manuscript).
- [11] H.Fukuda, A. Kondo and H. Noda. 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. Journal of Bioscience and Bioengineering. 92:405-416.

- [12] F. Ma, L.D. Clements and M.A. Hanna. 1999. The effect of mixing on transesterification of beef tallow. *Bioresource Technology*. 69:289–293.
- [13] [Online]. Available : http://www.topboosters.net/wizContent.asp?wizConID=90&txtmMenu_ID=52
- [14] [Online]. Available : http://teenet.tei.or.th/Knowledge/biodiesel_useful.html
- [15] จันทร สารทอง, นันทวิวัฒน์ ตระการสุข และปฐมิกา พิริยะอังกูร. 2551. การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. *ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
- [16] J. Sheehan, V. Camobreco, J. Duffield, M. Grabosboski, H. Shapouri. 1998. Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus: Final Report. National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO. 314.
- [17] [Online]. Available : <http://pirun.ku.ac.th/~b4755395/8.html>
- [18] [Online]. Available : <http://itc.cric.ac.th/users/5122010037/com51t2/sataworm/project/imgae/A374p5x3.jpg>
- [19] [Online]. Available: <http://www.filterinternational.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=5331361&Ntype=3>
- [20] [Online]. Available: www.thapra.lib.su.ac.th
- [21] [Online]. Available: <http://www.paktho.ac.th/ratchaburi/ratchaburi1/the%20way%20produces%20lime%20and%20red%20lime.html>
- [22] [Online]. Available: <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9B%E0%B8%B9%E0%B8%99%E0%B8%82%E0%B8%B2%E0%B8%A7>
- [23] [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_oxide.
- [24] [Online]. Available : <http://www.sec.psu.ac.th/tga.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] [Online]. Available :
http://www.bestsci.com/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail&cid=25511&pid=107163.
- [26] รัตติกาล ชันช์เครือ. 2550. ระบบนำส่งที่มีพอลิเมอร์เป็นตัวกลาง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [27] L. Xuejun, P. Xianglan, W. Yujun, Z. Shenlin, H. Huayang. 2008. Calcium methoxide as a solid base catalyst for the transesterification of soybean oil to biodiesel with methanol. *Fuel*. 87. 1076–1082
- [28] L. Xuejun, H. Huayang, W. Yujun, Z. Shenlin, P. Xianglan. 2008. Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as solid base catalyst. *Fuel*. 87. 216-221.
- [29] Guoqing Guan, Katsuki Kusakabe, Satoko Yamasaki. 2009. Tri-potassium phosphate as a solid catalyst for biodiesel production from waste cooking oil. *Fuel Processing Technology* 90 . 520–524
- [30] [Online]. Available :
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:SaponificationGeneral.svg>
- [31] K. masata, K. Takekazu, T. Masahiko, S. Yoshikazu. 2008. Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production. *Fuel*. 87. 2798-2806.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างการคำนวณ

ก-1 แสดงการคำนวณหาอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล

อัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเป็น 1:12

น้ำมัน 874 กรัม ใช้เมทานอล 12×32 = 384 กรัม

น้ำมัน 100 กรัม ใช้เมทานอล $(384 \times 100) / 874$ = 43.94 กรัม

ก-2 แสดงการคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์

- เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25M โดยชั่ง NaOH 10 กรัม ละลายน้ำ 1000 มิลลิลิตร ไทเทรตกับ KHP น้ำหนัก 1.0213 กรัมละลายในน้ำ 20 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก-1 แสดงปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์

น้ำหนัก KHP (กรัม)	KHP (นอร์มอล)	NaOHที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)	NaOH (นอร์มอล)
1.0213	0.2500	20.90	0.2392
1.0216	0.2501	21.00	0.2382
1.0218	0.2502	21.10	0.2372
	เฉลี่ย		0.2382

ตัวอย่างการคำนวณ

- การหาความเข้มข้นของสารละลาย KHP

จาก $g/MW = MV/1000$

$$1.0213/204.22 = M(20)/1000$$

$$M = 0.2500 \text{ โมลาร์}$$

- การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$\text{mol NaOH} = \text{mol KHP}$$

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$M_1(20.90) = (0.2500)(20)$$

$$M = 0.2392 \text{ โมลาร์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ = $(0.2392 + 0.2382 + 0.2372) / 3 = 0.2382$ นอร์มอล

ก-3 การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

ตารางที่ ก-2 แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระในรูปของลอริกและปาล์มเมติก

น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	NaOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)	กรดไขมันอิสระ (%)	
		ในรูปของลอริก	ในรูปของปาล์มเมติก
7.05	1.20	0.81	1.04
7.05	1.35	0.91	1.17
7.05	1.30	0.89	1.12
เฉลี่ย		0.87	1.11

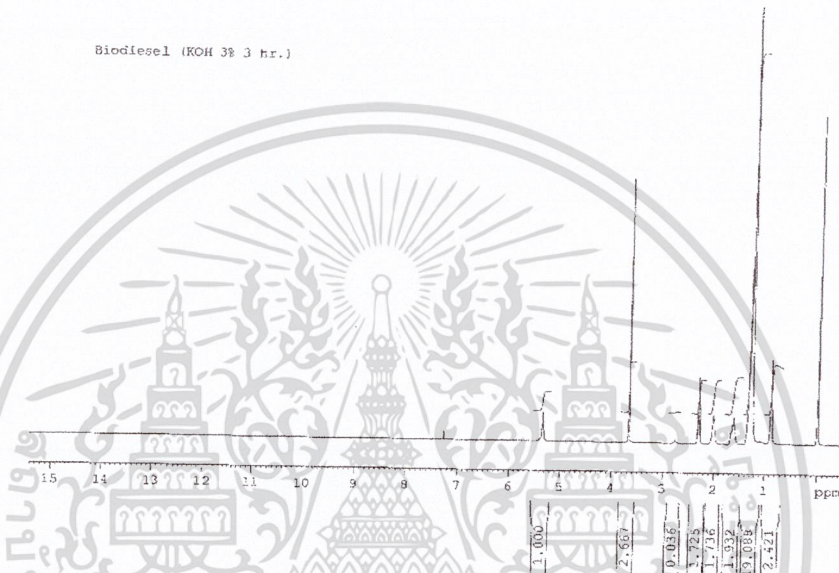
ตัวอย่างการคำนวณ

- กรดไขมันอิสระในรูปของลอริก(%) = $(\text{ปริมาณNaOH} \times M \times 20.0) / \text{น้ำหนักน้ำมัน}$
 $= (1.20 \times 0.2392 \times 20.0) / 7.05$
 $= 0.81 \%$
 เฉลี่ย $= (0.81 + 0.91 + 0.89) / 3$
 $= 0.87 \%$
- กรดไขมันอิสระในรูปของปาล์มเมติก = $(\text{ปริมาณNaOH} \times M \times 25.6) / \text{น้ำหนักน้ำมัน}$
 $= (1.20 \times 0.2392 \times 25.6) / 7.05$
 $= 1.04 \%$
 เฉลี่ย $= (1.04 + 1.17 + 1.12) / 3$
 $= 1.1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-4 การหาปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

เทคนิค $^1\text{H-NMR}$ เป็นการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตทันทีที่ได้ (% yield) ของเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม ดังรูปที่ ก.1 ซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก



รูปที่ ก-1 กราฟแสดงปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \% \text{เมทิลเอสเทอร์} &= \frac{100 \times (2 \times \text{พื้นที่ใต้พีคของ } -\text{OCH}_3)}{3 \times \text{พื้นที่ใต้พีคของ } \alpha\text{-CH}_2} \\
 &= \frac{100 \times (2 \times 2.667)}{3 \times 1.725} \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ผลการทดลอง

ข-1 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่ง และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ ข-1 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (ชม.)	2%			3%		ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์
	พื้นที่ใต้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์	พื้นที่ใต้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้ พีคของ -CH ₂	
10 min	2.813	1.957	95.83	3.095	1.955	100
20 min	3.145	2.144	97.79	2.630	1.687	100
30 min	2.827	1.929	97.70	2.651	1.693	100
1 hour	2.738	1.790	100	2.924	2.067	94.31
2 hour	2.712	1.889	95.71	2.714	1.876	96.45
3 hour	2.543	1.720	98.57	2.667	1.725	100

ข-2 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่ง และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ ข-2 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (ชม.)	1%			2%			3%			4%		
	พื้นที่ใต้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์	พื้นที่ใต้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์	พื้นที่ใต้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์	พื้นที่ใต้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์
10 min	0.000	1.441	0.00	0.000	1.708	0.00	0.086	1.499	8.59	0.039	1.447	1.796
20 min	0.000	1.517	0.00	0.000	1.467	0.00	0.241	1.108	14.50	0.118	1.417	5.55
30 min	0.000	1.459	0.00	0.089	1.456	4.07	0.242	1.370	11.78	0.143	1.451	6.57
1 hour	0.000	1.266	0.00	0.344	1.489	15.40	0.400	1.515	17.60	0.261	1.551	11.22
2 hour	0.076	1.802	2.81	0.760	1.632	31.05	0.864	1.566	36.78	0.712	2.099	22.61
3 hour	0.453	1.704	17.72	0.362	1.664	14.50	1.927	2.214	58.02	1.518	1.609	62.89

ข-3 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่ง และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ ข-3 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

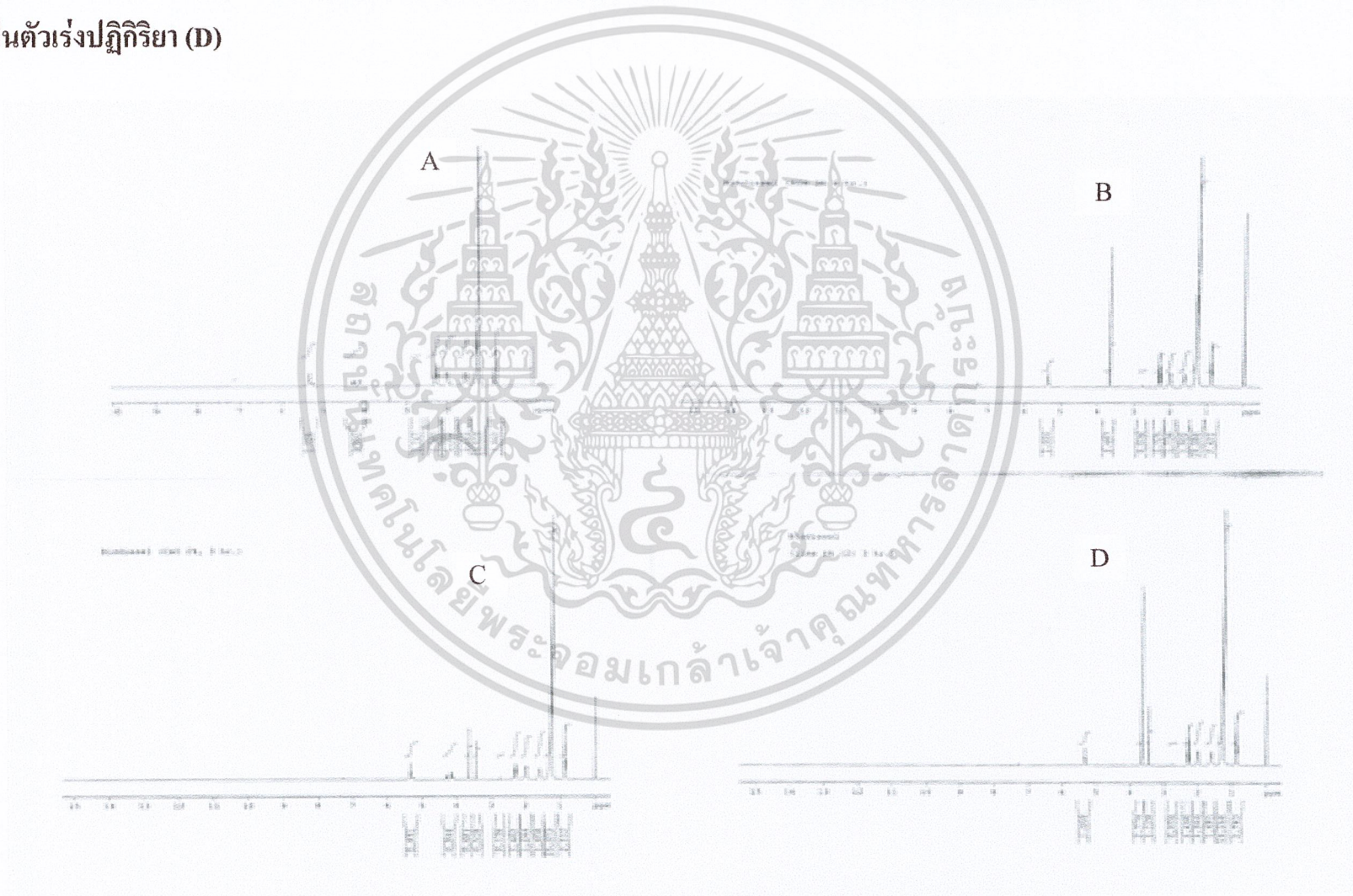
เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (ชม.)	2%			4%		
	พื้นที่ใต้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์	พื้นที่ใต้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์
	ปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยา					
10 min	0.000	1.260	0.00	2.660	3.410	52.00
20 min	0.000	1.432	0.00	2.460	3.120	52.56
30 min	0.101	1.432	4.70	2.750	3.320	55.22
1 hour	0.129	1.409	6.10	2.860	3.450	55.27
2 hour	0.355	1.256	17.78	2.920	3.480	55.94
3 hour	0.683	1.602	28.42	2.580	3.270	52.60

ข-4 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่ง และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ ข-4 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ปูนขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (ชม.)	3%			4%		
	พื้นที่ใต้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์	พื้นที่ใต้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์
	ปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยา					
10 min	2.460	3.290	49.84	0.881	1.676	35.04
20 min	2.930	3.330	58.66	1.379	1.918	47.93
30 min	2.810	3.360	55.75	1.686	1.902	59.09
1 hour	2.720	3.310	54.78	2.317	1.840	83.95
2 hour	3.450	2.960	77.70	2.608	1.796	96.81
3 hour	3.370	2.960	75.90	2.778	1.696	100

ข-5 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิค¹H-NMR ของน้ำมันปาล์มก่อนที่นำมาสังเคราะห์ (A) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (B) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (C) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ปูนขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (D)



ภาคผนวก ค.

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ค-1 วิธีการใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอนาไลเซอร์(TGA)Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA

1. เปิดวาล์วที่ถังแก๊ส N_2 และถัง Air
2. เปิดวาล์วสำหรับให้แก๊สเข้าเครื่อง TGA โดยตั้งฝาปิดปรับไปที่ความดัน 20 Psi สำหรับ purge ตัวอย่าง และ 40 Psi สำหรับ purge ระบบ เสร็จแล้วดันตัวฝาปิด
3. เปิดเครื่อง TGA และเครื่องคอมพิวเตอร์
4. ตั้งค่าสถานะที่ใช้ในการวัดตัวอย่าง ดังนี้ อุณหภูมิ, อัตราเร็วของการเพิ่มอุณหภูมิ (องศา/นาที)
5. ใส่สารตัวอย่างลงใน pan โดยใช้ฐานรอง pan ไม้ (ใส่น้ำหนักสารไม่เกิน 100 มิลลิกรัม)
6. คลิกที่รูป Raise Furnace ยกเตาเผาขึ้น
7. คลิกที่รูป go to temperature รอจนอุณหภูมิถึง Initial Temp.
8. คลิกที่รูป Get sample weight
9. คลิกที่รูป Star/ Stopa Method เพื่อที่จะสั่งให้อุณหภูมิขึ้นตามต้องการ

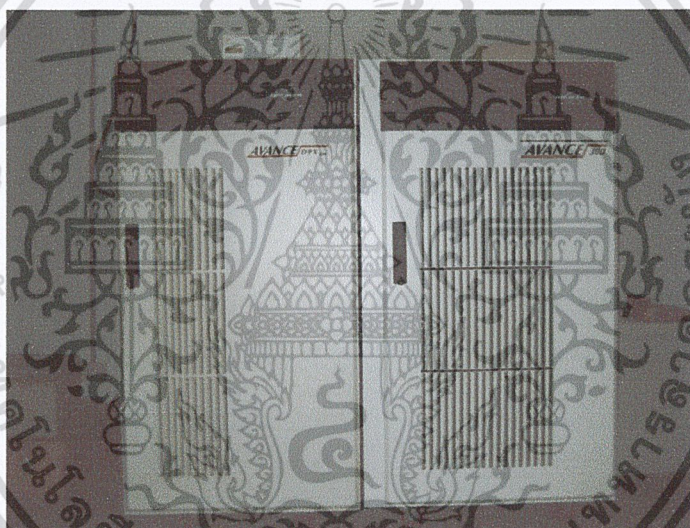


รูปที่ ค-1 เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอนาไลเซอร์(TGA)Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-2 วิธีการใช้เครื่องทรานส์ฟอร์ม์นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (NMR) BRUKER รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ต

1. calibrate เครื่อง NMR ด้วยสารละลาย TMS
2. เตรียมสารตัวอย่าง นำสารตัวอย่างใส่หลอด NMR ที่มี \varnothing 5 mm
3. ใช้สารละลาย CDCl_3 เป็นตัวทำละลาย
4. นำหลอดสารตัวอย่างใส่เข้าเครื่อง NMR โดยที่สเปกตรัม ถูกบันทึกด้วย เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม์นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ Bruker รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ต สารตัวอย่างถูกละลายโดยใช้ตัวทำละลาย CDCl_3 โดยมี TMS เป็นสารมาตรฐาน สเปกตรัม ^1H NMR ปรากฏตำแหน่งสัญญาณโปรตอนของ CHCl_3 ที่ 87.26 ppm



รูปที่ ค-2 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม์นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ Bruker รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3 วิธีการใช้เครื่องฟูรีเยรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด(FT-IR) Jasco รุ่น 4100

1. เปิดเครื่อง UPS และเครื่อง computer
2. เข้า spectrum
3. หน้าจอจะขึ้น login name ไม่ต้องใส่ให้คลิก OK
4. เครื่องจะขึ้น READY
5. เช็ค ENERGY
6. การ ALIGN ต้องแน่ใจไม่มี SAMPLE อยู่ในช่องใส่ CELL
7. ก่อนการ run sample ควร run standard polystyrene (กำหนด rang start 900.0 End 20)
8. หลังจากนั้น run sample
9. หลังจาก Scan ได้ Spectrum คลิก Peaks จะมีตัวเลขบอกความยาวคลื่นในแต่ละ Peak
10. เมื่อเสร็จสิ้นการวัดแล้วให้นำตัวอย่างออกจากช่อง CELL ของเครื่อง แล้วปิดหน้าต่าง computer



รูปที่ ก-3 วิธีการใช้เครื่องฟูรีเยรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด(FT-IR)Jascoรุ่น 4100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-4 วิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

(Scanning electron microscope)NOVA รุ่น nano400

1. นำตัวอย่างซึ่งเป็นผง ไปอบให้แห้ง
2. เมื่อแน่ใจว่าตัวอย่างแห้งแล้ว จึงนำไปแปะติดบน stub โดยพยายามติดให้อนุภาคเรียงตัวในลักษณะชั้นเดียวไม่เกาะกลุ่มกัน
3. นำไปเรียงบนตัวยึดเพื่อเตรียมนำเข้าทำการถ่ายภาพ
4. นำเข้าเครื่อง SEM เพื่อทำการถ่ายภาพ



รูปที่ ก-4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด NOVA รุ่น nano 400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้