

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของ
อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

SYNTHESIS OF BIODIESEL USING CALCIUM OXIDE SUPPORTED
ON MESOPOROUS ALUMINIUM OXIDE
AS CATALYSTS



T117353



เลขที่
เลขทะเบียน 117353
วันเดือนปี 20 ก.ค. 2554

b. 123 10112
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS OF BIODIESEL USING CALCIUM OXIDE SUPPORTED
ON MESOPOROUS ALUMINIUM OXIDE
AS CATALYSTS**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของ
อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Synthesis of biodiesel using calcium oxide supported on mesoporous
aluminium oxide as catalysts

ชื่อนักศึกษา นางสาวกนกพร คำมัน

นางสาวทิพาพร อยู่ศรี

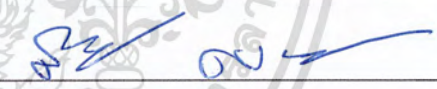


ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ	
ดร.มนตรี ทองคำ	
ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกนกพร คำมัน นางสาวทิพาพร อยู่ศรี
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.สุจินต์ ต้นติพิสิฐกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยวิธีทางเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับเมทานอลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์บอเนตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำอะลูมิเนียมออกไซด์จุ่มลงไปแล้วทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง จะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ และนำมาทดลองด้วยเทคนิค TGA พบว่าอุณหภูมิที่สามารถเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้เป็นแคลเซียมออกไซด์คือ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเผา และจากการนำแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ทดลองด้วยเทคนิค SEM พบว่ามีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย คือ 0.511 ± 0.094 ไมครอน จากนั้นศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลการทดลองด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ พบว่า ที่เวลา 3 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%, 2%, 3% และ 4% ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 11.58, 19.69, 89.42 และ 98.76 ตามลำดับ เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า ที่เวลา 3 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%, 2% และ 4% ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 52.27, 67.29, 91.98 ส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3% ที่เวลา 2 ชั่วโมง ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 99.64

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน, แคลเซียมออกไซด์, อะลูมิเนียมออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title of Special Project	Synthesis of Biodiesel Catalyzed Using Calcium Oxide Prepared by Chemistry Method from Eggshell
Students	Miss. Kanokporn Kamman Miss. Tiphaporn Yusri
Degree	Bachelor of Science
Program	Industrail Chemistry
Academic Year	2010
Advisor	Dr.Pesak Rungrojchaipon
Co advisor	Mrs. Sujin Tuntipisitkul

ABSTRACT

In this research, the calcium oxide supported on aluminium oxide which was prepared by chemistry method from calcium carbonate, was catalyst in synthesis biodiesel by using transesterification reaction between palm oil and methanol . Calcium oxide supported on aluminium oxide was prepared by a reaction of calcium carbonate with hydrochloric acid and precipitation with sodium hydroxide to be calcium hydroxide. From TGA, the temperature is 700 °C, that can change from calciumhydroxide to calcium oxide. The average particle size of CaO which was prepared from egg shell, is 0.511 ± 0.094 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 percent of methyl ester were 11.58, 19.69, 89.42 and 98.76 respectively. The result of biodiesel synthesized by using calcium oxide analytical reagent grade as a catalyst with the amount of catalyst were 1%, 2% and 4% in 3 hours, and the highest percent of methyl ester were 52.27, 67.29 and 91.98 respectively. Amount of catalysts were 3% in 2 hours highest percent of methyl ester was 99.64.

Keywords : Biodiesel, Transesterification, Calcium oxide, Aluminium oxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำปรึกษา คำแนะนำ ทักษะการทำงาน และข้อมูลต่างๆ ที่มีประโยชน์จาก ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร และ อ.สุจินต์ ดันติพิสิษฐกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ จึงขอขอบพระคุณ ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณดร. สามารถ กงทวีเลิศ และดร.มนตรี ทองคำ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปได้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิค NMR

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อ และอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ สถานที่ และคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ผลในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอบคุณความพยายาม ความรับผิดชอบ ความอดทน และความกล้า ที่เป็นแรงผลักดันให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้ความอุปการะมาตลอด และขอบคุณเพื่อนๆที่เป็นกำลังใจ เป็นที่ปรึกษาเมื่อเกิดปัญหาขึ้น และคอยให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีของโครงการพิเศษฉบับนี้ขออุทิศให้แด่คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณต่อคณะผู้ทำวิจัยทุกท่าน

นางสาวกนกพร คำมัน

นางสาวทิพาพร อยู่ศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

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

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 น้ำมันดีเซล	4
2.5.1 คุณสมบัติน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมในการใช้งาน	5
2.5.2 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล	5
2.2 น้ำมันที่ใช้ในการผลิต ไบโอดีเซล	7
2.1.1 น้ำมันพืช (Vegetable oil)	8
2.1.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ	8
2.1.3 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง	9
2.1.4 แนวทางในการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล	10
2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification)	12
2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	12
2.4.1 การทำปฏิกิริยา โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	12
2.4.2 การทำปฏิกิริยา โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	13
2.4.3 การทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน โดยใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	14
2.4.4 การทำปฏิกิริยา โดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	15
2.4.5 การทำปฏิกิริยา โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	15
2.5.1 ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ	15
2.5.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน	16
2.5.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา	16
2.5.4 ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา	16
2.5.5 ผลของอัตราการกวนผสม	17
2.5.6 ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น	17
2.5.7 ผลกระทบของตัวทำละลายร่วม	17
2.6 การแบ่งวิธีทดสอบคุณสมบัติ	17
2.7 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์	18
2.8 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์	19
2.9 แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	20
2.10 อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	22
2.10 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	24
2.10.1 Thermogravimetric Analyzer (TGA)	24
2.10.2 เครื่อง X-ray diffraction techniques (XRD)	24
2.10.3 เครื่อง Scanning electron microscope (SEM)	24
2.10.4 เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance (NMR)	25
2.10.5 เครื่อง Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR)	25
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	27
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	27
3.2 สารเคมี	27
3.3 วิธีการทดลอง	28
3.3.1 การเตรียมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ จากแคลเซียมคาร์บอเนต	28
3.3.2 การเตรียมแคลเซียมคลอไรด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ จากแคลเซียมคาร์บอเนต	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ พึงสงวนไว้ทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.3 การเตรียมแคลเซียมออกไซด์จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์	29
3.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันตามวิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40	29
3.3.5 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	30
3.3.6 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เกรดวิเคราะห์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	31
3.3.7 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ได้จากเปลือกไข่ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	35
4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มก่อนนำมาทดลอง	35
4.2 การหาช่วงอุณหภูมิที่จะเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH) ₂) ให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ด้วยเทคนิค TGA	36
4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยเทคนิค XRD	37
4.4 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและภาพลักษณะสัณฐานของอนุภาคด้วยเทคนิค SEM	38
4.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไบโอดีเซล	40
4.6 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	41
4.7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	42
4.8 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	54
ภาคผนวก ค	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติต่างๆเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซล	1
ตารางที่ 2-1 แสดงสูตร โครงสร้างและสมบัติของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ	7
ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	9
ตารางที่ 2-3 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และน้ำมันดีเซล	10
ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และน้ำมันดีเซล	11
ตารางที่ 2-5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลกับไบโอดีเซล	19
ตารางที่ 2-6 แสดงสมบัติทางเคมีของแคลเซียมออกไซด์	22
ตารางที่ 2-7 แสดงสมบัติทางเคมีของอะลูมิเนียมออกไซด์	23
ตารางที่ 3-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาตรเมทานอล และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์	29
ตารางที่ 3-2 แสดงปริมาณสัดส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล เวลา อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรควิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	32
ตารางที่ 3-3 แสดงปริมาณสัดส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล เวลา อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	34
ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของลอริกและปาล์มเมติก	36
ตารางที่ ก-1 แสดงปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์	48
ตารางที่ ก-2 แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระในรูปของลอริกและปาล์มเมติก	49
ตารางที่ ก-3 แสดงปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเตรทเพื่อหาปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในการละลายแคลเซียมคาร์บอเนตและปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอน Ca(OH)_2	50
ตารางที่ ก-4 แสดงปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเตรทเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก	50
ตารางที่ ก-5.1 แสดงน้ำหนักของแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ (จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์)	51
ตารางที่ ก-5.2 แสดงน้ำหนักของแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ (จากแคลเซียมคลอไรด์)	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก-5.3 แสดงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมัน และเมทานอล ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์)	52
ตารางที่ ก-5.4 แสดงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมัน และเมทานอล ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (จากแคลเซียมคลอไรด์)	53
ตารางที่ ข-1 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	54
ตารางที่ ข-2 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	55
ตารางที่ ข-3 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของ อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

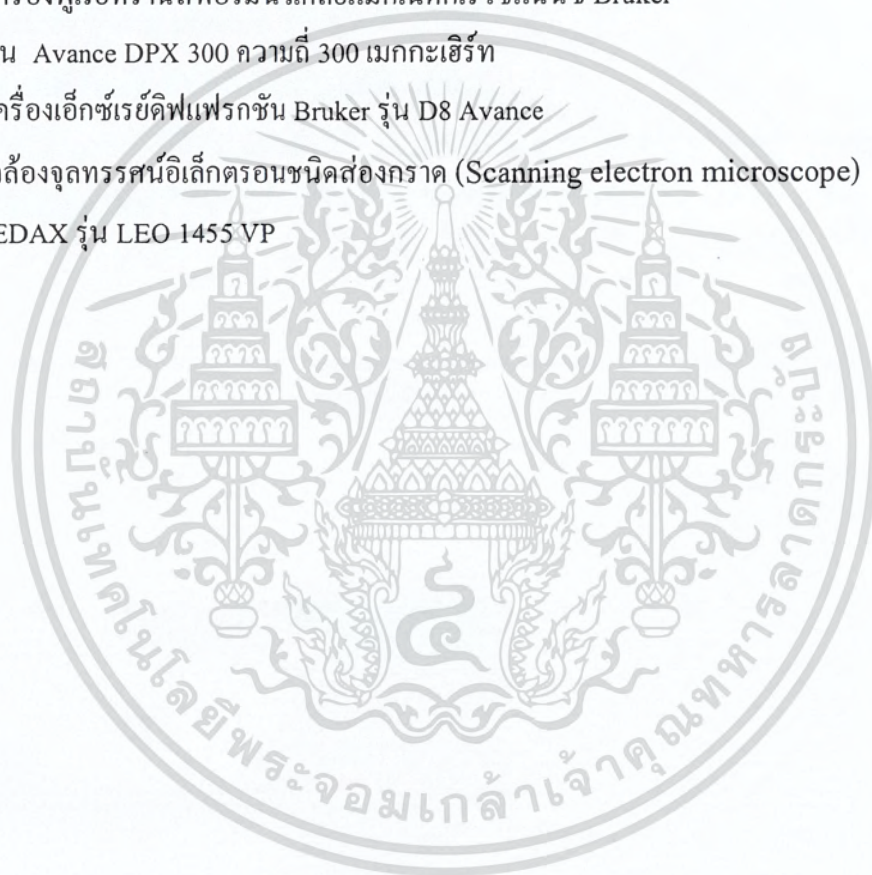
สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด	13
รูปที่ 2-2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส	14
รูปที่ 2-3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	21
รูปที่ 2.4 แสดงพื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	25
รูปที่ 3-1 การตั้งชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์สำหรับสังเคราะห์ไบโอดีเซล	30
รูปที่ 4-1 ผลการศึกษาช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้กลายเป็น แคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค TGA	36
รูปที่ 4-2 แสดงผลการวิเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD	38
รูปที่ 4-3 ภาพแสดงการวิเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ ด้วยเทคนิคSEM ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (a) และ 20000 เท่า (b) ตามลำดับ	39
รูปที่ 4-4 แสดงกราฟการกระจายข้อมูลของขนาดอนุภาคแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบน รูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ (a) และแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ (b)	39
รูปที่ 4-5 แสดงสูตร โครงสร้างและสัญลักษณ์ โปรตอนของ (Methyl palmitate) จากโปรแกรม ChemDraw Ultra.	40
รูปที่ 4-6 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิค ¹ H-NMR ของน้ำมันปาล์มก่อนที่นำมาสังเคราะห์ (a) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา(b) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยา (c) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุน ของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา(d)	40
รูปที่ 4-7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์ เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2% โดยน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	41
รูปที่ 4-8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์ เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	43
รูปที่ ก-1 กราฟแสดงปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$	53
รูปที่ ค-1 เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (TGA) Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA	57
รูปที่ ค-2 เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ Bruker รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกกะเฮิร์ต	58
รูปที่ ค-3 เครื่องเอ็กซ์เรย์คิฟแฟรคชัน Bruker รุ่น D8 Avance	59
รูปที่ ค-4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope) EDAX รุ่น LEO 1455 VP	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา [1]

ในปัจจุบันวิกฤตน้ำมันของโลกมีมากขึ้นเป็นลำดับ ราคาน้ำมันดิบสูงมากเป็นประวัติการณ์และไม่มีที่ท่าว่าจะลดลง เนื่องจากการคาดการณ์ว่าน้ำมันกำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ และที่สำคัญคือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบให้เกิดภาวะโลกร้อน ปัญหาต่างๆเหล่านี้ทำให้มีการมองหาพลังงานทางเลือกซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลเป็นน้ำมันทางเลือกใหม่ที่ผลิตจากพืช หรือไขมันสัตว์ โดยน้ำมันชนิดนี้เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์แล้วพบว่ามีความสมบัติในการเผาไหม้ได้ดีไม่ต่างจากน้ำมันจากปิโตรเลียม แต่มีข้อดีกว่าหลายประการ คือ มีการเผาไหม้ที่สะอาดกว่า ไอเสียมีคุณภาพดีกว่า เพราะออกซิเจนในไบโอดีเซลทำให้มีการสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลปกติ จึงมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่า และเนื่องจากไม่มีกำมะถันในไบโอดีเซล จึงไม่มีปัญหาสารซัลเฟต มีเขม่าคาร์บอนน้อย จึงไม่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบไอเสียง่าย ช่วยยืดอายุการใช้งานได้เป็นอย่างดี ไบโอดีเซลมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน อุณหภูมิของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งานและการขนส่ง นอกจากนั้นแล้วค่าซีเทนที่เป็นดัชนีบอกลักษณะการติดไฟของไบโอดีเซลยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติต่างๆเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซล [13]

Fuel Property	Diesel	Biodiesel
Fuel Standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower Heating Value, Btu/gal	~129,050	~118,170
Kinematic Viscosity, @ 40°C	1.3-4.1	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	0.05 max
Carbon, wt %	87	77
Hydrogen, wt %	13	12
Oxygen, by dif. Wt %	0	11
Sulfur, wt %	0.05 max	0.0 to 0.0024
Boiling Point, °C	180 to 340	315 to 350
Flash Point, °C	60 to 80	100 to 170
Cloud Point, °C	-15 to 5	-3 to 12
Pour Point, °C	-35 to -15	-15 to 10
Cetane Number	40-55	48-65
Lubricity SLBOCLE, grams	2000-5000	>7,000
Lubricity HFRR, microns	300-600	<300

^aSulfur content for on-road fuel will be lowered to 15 ppm maximum by 2006.

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั่วไปจะเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืช ไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นกรดหรือเบสที่เป็นเนื้อเดียวกัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification) ทำให้เกิดเอกลีสารเป็นเอกลีสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่อนำเอกลีสารไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาเป็นเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอริน

เมื่อนำเอกลีสารไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาเป็นเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอริน

อย่างไรก็ตามหลังจากการทำปฏิกิริยาด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทนี้ ตัวเร่งจะผสมเป็นเนื้อเดียวกับผลผลิตทำให้เกิดปัญหาในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะมีผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารพิษออกมาผสมกับน้ำ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการเป็นของแข็งเพื่อลดการก่อกมลพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากกระบวนการกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาและสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำมันที่สังเคราะห์ได้ในทางวิจัยจึงทำการเตรียมแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นของแข็งจากนั้นทำให้ตกตะกอนบนผิวของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีรูพรุน เมื่อได้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะนำมาสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยทำการศึกษาดัแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการเตรียมแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์จากแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยวิธีทางเคมี
2. เพื่อศึกษากระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. เพื่อศึกษาดัแปรที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลที่ใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการเตรียมแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์จากแคลเซียมคาร์บอเนต
2. สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
4. ศึกษาดัแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล
5. วิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล
 - ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล ด้วยเทคนิค $^1\text{H-Nuclear Magnetic Resonance}$ ($^1\text{H-NMR}$)
 - ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) จากมาตรฐาน AOCS official Method Ca 5a-40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดต้นทุนในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยลดขั้นตอนในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์
2. ทำให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสม ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. สามารถนำข้อมูลจากการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel)

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

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

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

2.1.1 การผลิตน้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซลเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากน้ำมันดิบ ที่ทำการกลั่นแยกส่วนในหอกลั่นบรรยากาศหรือส่วนกลั่นตรง (Crude Distillation Unit) โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด น้ำมันดีเซลมีจุดเดือดอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 150-360°C แต่เนื่องจากปัจจุบันปริมาณความต้องการใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณสูงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถผลิตน้ำมันที่มีคุณภาพและเพียงพอต่อความต้องการ จึงมีการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยอาศัยการแตกตัวของ โมเลกุลน้ำมันหนักให้เป็นน้ำมันที่เบาขึ้น ซึ่งกระบวนการที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายแบบด้วยกัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละโรงกลั่น กระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ ได้แก่

การแตกตัวโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) การแตกตัวโดยใช้ความร้อน (Thermal Cracking) แอ็กสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจน (Hydro Cracking)

ไมวารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 คุณสมบัติน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมในการใช้งาน

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

2.1.3 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล [15]

1. ค่าความหนืด (Viscosity) คือ แรงต้านทานภายในตัวของน้ำมันต่อการไหล น้ำมันใสจะมีความหนืดน้อยสามารถไหลได้ง่าย น้ำมันข้นมีความหนืดสูงกว่าจึงสามารถไหลได้ช้ากว่า ความหนืดของน้ำมันดีเซลต้องเหมาะสม เพื่อให้ระบบการฉีดน้ำมัน (Injection System) ฉีดเป็นฝอยได้ละเอียดดี ในขณะเดียวกันก็ช่วยหล่อลื่นปั๊มหัวฉีดด้วย ถ้าน้ำมันมีความหนืดสูงเกินไปจะกระจายตัวเป็นฝอยไม่ดี แต่ถ้าความหนืดน้อยเกินไปก็จะให้การหล่อลื่นไม่พอ ถูกปั๊มหัวฉีดอาจติดตายหรือเกิดความสึกหรองจนทำให้ปั๊มรั่วได้ ค่าความหนืดวัดเป็น Kinematic Viscosity

2. ค่าซีเทน (Cetane Number) เป็นค่าที่แสดงคุณภาพการจุดติดไฟ (Ignition Quality) นับตั้งแต่ น้ำมันเริ่มถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จนกระทั่งน้ำมันเกิดติดไฟขึ้น ช่วงระยะเวลานี้เรียกว่า ความล่าช้าในการจุดติดไฟ (Ignition Lag) น้ำมันที่มีช่วงระยะเวลานี้สั้นก็จะมีค่าซีเทนสูง จุดติดไฟได้ง่าย เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย ในช่วงอากาศเย็น เครื่องยนต์ร้อนขึ้นได้เร็วโดยไม่เกิดควันขาว เคนเรียบ น้ำมันดีเซลที่ได้จากกระบวนการกลั่นโดยตรง จะมีค่าซีเทนสูงใกล้ 60 แต่ถ้ามีส่วนผสมของน้ำมันจากกระบวนการ Cracking จะมีค่าซีเทนประมาณ 50-55 อย่างไรก็ตาม ค่าซีเทนสูงมากเกินไปก็ไม่เหมาะเพราะเครื่องจะไม่มีกำลัง การวัดค่าซีเทนต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลมาตรฐานสูบเดียวของ CFR เปรียบเทียบคุณภาพในการจุดติดไฟกับเชื้อเพลิงมาตรฐาน วิธีนี้ค่าใช้จ่ายจะสูงมาก อีกทั้งยังสิ้นเปลืองเวลา จึงใช้วิธีการคำนวณออกมาเป็น ค่าดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index)

3. ดัชนีซีเทน (Cetane Index) เป็นค่าประมาณสำหรับซีเทน เนื่องจากการหาค่าซีเทนต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลพิเศษ โดยเฉพาะในการเปรียบเทียบคุณภาพในการจุดระเบิดกับเชื้อเพลิงมาตรฐาน ซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและสิ้นเปลืองเวลา จึงได้มีการประมาณค่าซีเทนด้วยดัชนีซีเทน

4. จุดวาบไฟ (Flash Point) เป็นอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงที่ได้รับความร้อนซึ่งจะเกิดส่วนผสมของไอน้ำมันและอากาศที่ติดไฟได้เหนือผิวหน้าของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อมีน้ำมันเป็นตัวต่อ จุดวาบไฟมีความสำคัญในการขนส่งและการสำรองเชื้อเพลิงในแง่ของอันตรายจากอัคคีภัย นอกจากนี้ น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำยังก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเนื่องจากจะมีการระเหยเมื่อไปเกาะอยู่ตามผนังกระบอกสูบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จุดไหลเท (Pour point) เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มไม่ไหล บริเวณภาคเหนือของประเทศ ในช่วงฤดูหนาว อุณหภูมิต่ำมาก น้ำมันจะก่อตัวเป็นเกล็ดที่ฝังติดที่กรองน้ำมันดีเซล ขัดขวางการไหลของน้ำมันไปป้อนปั๊มหัวฉีด และถ้าสตาร์ทเครื่องไม่ติดอยู่นานปั๊มหัวฉีดอาจติดตายได้

6. อุณหภูมิการกลั่น เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการระเหยของน้ำมัน มีผลต่อเครื่องยนต์ดังนี้

6.1 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แสดงถึงความยากง่ายในการติดเครื่องยนต์ ยิ่งมีค่ามากเครื่องยนต์จะยิ่งติดยาก

6.2 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นจุดที่จะทำให้การอุ่นเครื่องยนต์ทำได้เร็ว การกระจายไอน้ำมันไปยังกระบอกสูบต่างๆเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและปรับส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศได้ถูกต้องตลอดเวลา ทำให้แรงเครื่องได้ดี เครื่องยนต์มีพลังงานสูง

6.3 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ต้องมีการกำหนดค่าสูงสุดไว้ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานให้ได้พลังงานสูงสุดและประหยัดเชื้อเพลิง

6.4 อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุดและส่วนที่เหลือจากการกลั่น มีการกำหนดค่าสูงสุดไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันที่ไม่เผาไหม้เกิดการผสมกับน้ำมันเครื่องมากเกินไป

7. ปริมาณกำมะถัน (Sulphur Content) กำมะถันในน้ำมันดีเซลเมื่อเผาไหม้กับอากาศจะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นไอเสียที่ถูกปล่อยทิ้งออกสู่อากาศภายนอก เป็นส่วนที่ทำให้สภาวะแวดล้อมเป็นพิษ บางส่วนของ SO_3 จะรวมตัวกับน้ำหรือความชื้นกลายเป็นกรดกำมะถัน กัดกร่อนชิ้นส่วนเครื่องยนต์เกิดการสึกหรอตั้งแต่ 1 มกราคม 2542 รัฐบาล โดยเฉพาะกระทรวงพาณิชย์ได้กำหนดให้มีปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลได้ไม่เกิน 0.05 % โดยน้ำหนัก เพื่อลดมลภาวะอากาศเป็นพิษ

8. กากถ่าน หรือกากคาร์บอน (Carbon Residue) คือปริมาณสารคาร์บอนที่เหลือตกค้างอยู่หลังจากน้ำมันได้ระเหยออกไปหมดแล้ว ที่อุณหภูมิสูงๆในช่วงเวลาหนึ่ง น้ำมันที่มีปริมาณกากคาร์บอนสูงจะมีแนวโน้มการเกิดควันและคราบเขม่าคาร์บอนเกาะสะสมในห้องเผาไหม้ บริเวณร่องแหวนลูกสูบ และหัวฉีดได้

9. ปริมาณเถ้า (Ash) ในน้ำมันดีเซล จะประกอบด้วยสารพวกที่ไม่สามารถเผาไหม้หมดได้ อยู่ในรูปของของแข็ง สารอนินทรีย์ต่างๆ และในรูปของสารสบู่อำพวกโลหะ ที่ละลายในน้ำมันได้ สารพวกที่เป็นของแข็ง ซึ่งจะจับขุ่นผิวโลหะของเครื่องยนต์ให้เป็นรอยได้ ทำความสึกหรอให้กับปั๊มหัวฉีด และหัวฉีด ส่วนสารประเภทสบู่อำพวกโลหะที่ละลายได้ จะทำให้เกิดคราบตะกอนเกาะติดในเครื่องยนต์ เพิ่มการสึกหรอ

10. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เป็นการวัดความหนักเบาของน้ำมัน ถ้าน้ำมันหนักมากค่าความร้อนของน้ำมันต่อหน่วยน้ำหนักจะลดลง ค่าซีเทนลดลง การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดคราบเขม่าคาร์บอนสะสมได้มาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล [2]

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากน้ำมันจากพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่มีความหนืดสูง มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ และมีองค์ประกอบของกรดไขมันต่างชนิดกัน ทำให้น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งได้แสดงสูตรโครงสร้างและสมบัติของกรดไขมันชนิดต่างๆดังตารางที่ 2-1

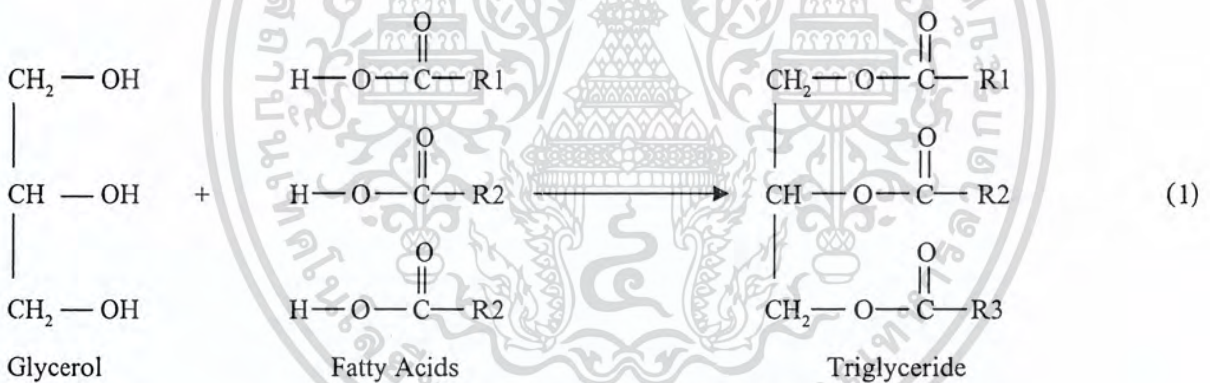
ตารางที่ 2-1 แสดงสูตรโครงสร้างและสมบัติของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ [2]

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	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 น้ำมันพืช (Vegetable oil) [3]

น้ำมันพืช (Vegetable Oil) คือน้ำมันที่ผลิตได้จากพืชชนิดต่างๆ เช่น ถั่วลิสง ถั่วเหลือง เมล็ดดอกทานตะวัน ดอกคำฝอย ปาล์ม น้ำมัน มะพร้าว ละหุ่ง สนุ่นดำ เมล็ดเรพ ฯลฯ มีองค์ประกอบหลักคือ กรดไขมัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) โดยปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันทั้งสองชนิดจะแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันพืชแต่ละชนิด มีความแตกต่างกัน กรดไขมันที่พบในน้ำมันพืชส่วนใหญ่ จะเป็นกรดไขมันพวงไม่อิ่มตัว โดยทั่วไปกรดไขมันจะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 ถึง 24 โมเลกุล แต่ที่พบเป็นจำนวนมากจะมีจำนวนคาร์บอน 16 (C16) และ 18 (C18) ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันในรูปอิสระปริมาณเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะพบในรูปเอซิด กลีเซอรอล (Acylglycerol) หรือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของกรดไขมันกับกลีเซอรอล โดยที่กลีเซอรอลเป็นสารพวงแอลกอฮอล์ ที่มีหมู่ฟังก์ชัน -OH จำนวน 3 หมู่ ถ้ากรดไขมันเพียงหนึ่งโมเลกุล ทำปฏิกิริยากับหมู่ -OH ของกลีเซอรอล เรียกว่า โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ถ้ากรดไขมันสองโมเลกุล ทำปฏิกิริยาจะได้ ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) และถ้ากรดไขมันสามโมเลกุลทำปฏิกิริยาจะได้ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ดังสมการที่ 1



ปฏิกิริยาการเกิดไตรกลีเซอไรด์ [3]

2.2.2 คุณสมบัติ และองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ [4]

น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวถูกออกซิไดซ์ และเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์แล้วจะเกิดเป็นสารเหนียวขึ้น โดยทั่วไปค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีชี้บอกรถึงเกิดการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ได้มากหรือน้อย น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงหรือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้น ค่าไอโอดีนจะสูงขึ้นตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 2-2 การเลือกใช้น้ำมันพืชค่าไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิง จะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ในเครื่องยนต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติ และองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [4]

น้ำมันชนิดคิบั	ค่า ไอโอดีน	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
น้ำมันปาล์มโอสติน	> 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
น้ำมันปาล์มสเตียร์น	< 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
น้ำมันเมล็ดสนุดำ	101	ND	ND	14.9	6.0	41.2	37.4	ND
น้ำมันเมล็ดเรพ	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

หมายเหตุ : ND ไม่พบ

2.2.3 การใช้ไขมันพืชเป็นเชื้อเพลิง

เนื่องจากน้ำมันพืชมีสมบัติโดยรวมใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าน้ำมันเบนซินจึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลมากกว่าเครื่องยนต์เบนซิน โดยมักใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบต่ำ เช่น เครื่องยนต์สำหรับเกษตรกรรมและการประมง เป็นต้น น้ำมันพืชแต่ละชนิดให้ค่าความร้อนแตกต่างกัน (ดังแสดงในตารางที่ 2-3) โดยมีค่าความร้อนต่อน้ำหนักประมาณร้อยละ 83-85 ของน้ำมันดีเซลและมีความหนืดสูงกว่าถึง 10 เท่า ทำให้หัวฉีดฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยากเป็นปัญหาต่อการป้อนน้ำมัน การสันดาปจึงไม่สมบูรณ์เกิดคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวนและวาล์วภายหลังการเผาไหม้และเมื่ออุณหภูมิต่ำก็อาจเกิดเป็นไขขึ้น ได้นับว่าเป็นปัญหาต่อระบบการจ่ายเชื้อเพลิงและการใช้งานในฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้การที่น้ำมันพืชระเหยได้ช้าทำให้จุดระเบิดได้ช้าและยังระเหยตัวกลายเป็นไอได้ทำให้เมื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้จุดระเบิดได้ช้ากว่า และมีกาการคาร์บอนหลงเหลือหลังการเผาไหม้สูงกว่าน้ำมันดีเซลอีกด้วย

ตารางที่ 2-3 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และน้ำมันดีเซล [4]

น้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ(21°C) (กรัม/มล.)	ความหนืด(21°C) (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (กิโลจูลส์/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

2.2.4 แนวทางการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล [15]

1. ดัดแปลงน้ำมันพืช

เนื่องจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติแตกต่างจากน้ำมันดีเซลมาก ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้ในเครื่องยนต์ธรรมดาที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ จึงจำเป็นต้องดัดแปลงน้ำมันพืช โดยการลดความหนืด และเพิ่มการระเหยตัวเป็นไอของน้ำมันพืช ให้ใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกต่อการป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ และให้เกิดการสันดาปได้อย่างสมบูรณ์และต่อเนื่อง ในแนวทางนี้ทำได้ 2 ทาง คือ

1.1 ใช้น้ำมันดีเซล หรือ น้ำมันก๊าดเป็นตัวทำละลายผสมกับน้ำมันพืชโดยตรง เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง โดยผสมในสัดส่วนที่เหมาะสม และไม่เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว อย่างไรก็ตาม สัดส่วนน้ำมันพืชที่ผสมในน้ำมันดีเซล และชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้ ขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ และภูมิอากาศของแหล่งที่ใช้ด้วย เนื่องจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติไม่อยู่ตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความหนืดจะสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนั้นแล้ว ในน้ำมันพืชบางชนิดจะเกิดเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำด้วย ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าด เพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ จึงต้องเลือกชนิดน้ำมันพืช ชนิดของตัวทำละลายและสัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับพื้นที่ และฤดูกาลที่ใช้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้และไม่เกิดความยุ่งยากต่างๆตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 นำน้ำมันพืชมาสังเคราะห์เป็นเมทิลหรือเอทิลเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่า ไบโอดีเซล ด้วยจุดประสงค์เดียวกันคือ ลดความหนืดของน้ำมันพืช และให้น้ำมันมีความคงตัวมากขึ้น ในการผลิตไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจำหน่ายในต่างประเทศ เชื้อเพลิงชนิดนี้ มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมาก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จุดวาบไฟของไบโอดีเซล มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้ว ค่าซีเทนที่เป็นดัชนีบอกถึงคุณภาพการติดไฟของไบโอดีเซลยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และน้ำมันดีเซล [4]

ไบโอดีเซลจากน้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (กรัม/มล.)	จุดวาบไฟ (°C)	ค่าซีเทน	ค่าความร้อน (กิโลจูลส์/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

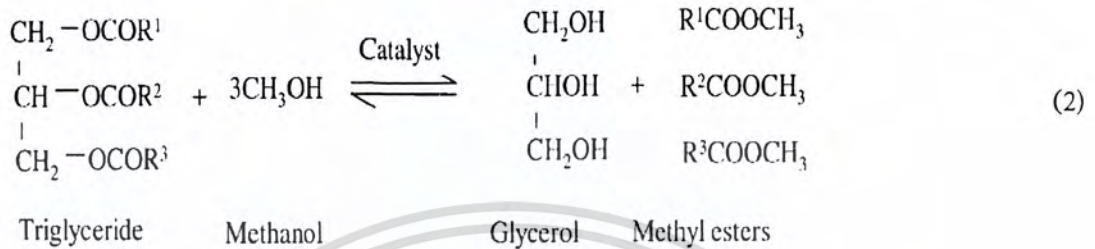
2. คัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซล

เนื่องจากการใช้น้ำมันพืชโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดาจะก่อให้เกิดปัญหาความยุ่งยากเมื่อใช้งาน แต่การที่น้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณ 83-85% ของน้ำมันดีเซล ทำให้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดี เครื่องของ DMS Dieselmotoren-und Geratebau GmbH (DMS) [5] และเครื่องยนต์ ELSBETT technology [6] เป็นตัวอย่างของเครื่องยนต์ที่ออกแบบมาใช้กับน้ำมันพืชโดยตรง เนื่องจากต้องการลดปัญหาที่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านคุณสมบัติของน้ำมันพืช และหากต้องดัดแปลงน้ำมันพืชให้เหมาะกับเครื่องยนต์ธรรมดา ก็ต้องผ่านกระบวนการ และต้องมีการลงทุนเพิ่ม ในการออกแบบได้เน้นดัดแปลงในส่วนของคุณภาพ ระบบหัวฉีด และห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ให้ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันพืช เพื่อเปลี่ยนเป็นแรงบิดได้อย่างคุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) [7]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์และแอลกอฮอล์เพื่อเกิดเป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยอาจมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตหรือไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาก็ได้ ดังสมการที่ 2



กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน [8]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่สามารถย้อนกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาไปทางผลิตภัณฑ์ได้ดี ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน [7]

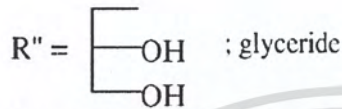
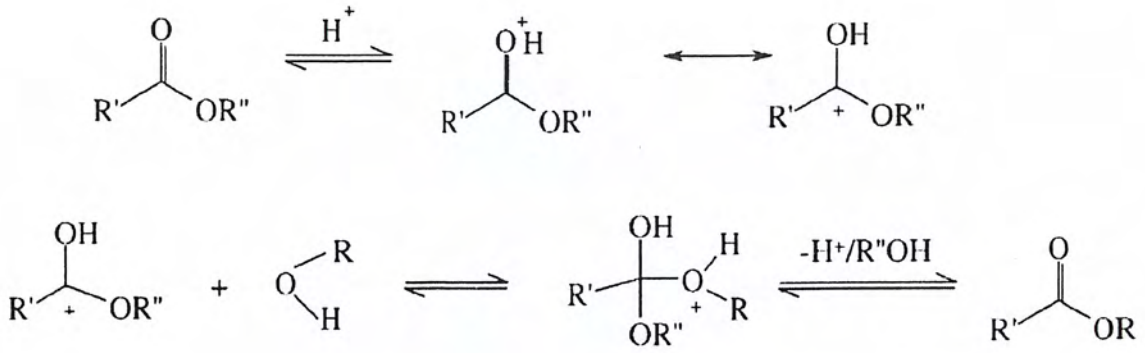
2.4.1 การทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง และสามารถใช้น้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ได้ แต่ปฏิกิริยาเกิดช้ามาก โดยต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 3 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์ กรดที่สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดซัลโฟนิก กรดซัลฟิวริก เป็นต้น

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เริ่มจากโปรตอนไปโปรโตเนตที่หมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ทำให้เกิดคาร์โบแคทไอออน จากนั้นจึงเกิดการชนด้วยนิวคลีโอไฟล์ของแอลกอฮอล์จะเกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล โดยสารมัธยันต์นี้จะปล่อยกลีเซอรอลออกมาทำให้เกิดเอสเทอร์ตัวใหม่และตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่

ดังแสดงในรูปที่ 2-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$\text{R}' =$ carbon chain of fatty acid

$\text{R} =$ alkyl group of the alcohol

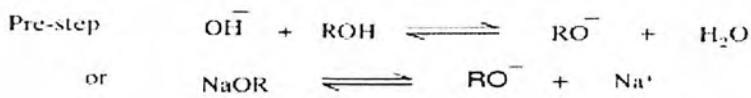
รูปที่ 2-1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด [8]

2.4.2 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

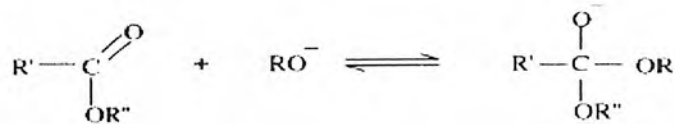
การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานี้ จะเกิดเร็วกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 4000 เท่า และจะใช้ได้ดีกับน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ เบสที่ใช้กันมาก ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

กลไกปฏิกิริยาเริ่มจากขั้นแรก แอลกอฮอล์ไอออน จะเข้าชนที่ตำแหน่งคาร์บอนิลของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งทำให้เกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล ขั้นที่สองเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารมัธยันต์กับแอลกอฮอล์ทำให้เกิดแอลกอฮอล์ไอออน และขั้นสุดท้ายเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของสารมัธยันต์เกิดเป็นเอสเทอร์และไดกลีเซอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 2-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



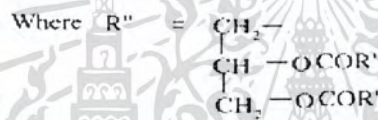
Step. 1.



Step. 2.



Step. 3.



$\text{R}' =$ Carbon chain of fatty acid

$\text{R} =$ Alkyl group of alcohol

รูปที่ 2-2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส [8]

ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์สูง โดยใช้เวลาที่สั้น แต่ปฏิกิริยานี้มีข้อเสีย คือ การนำกลีเซอรอลกลับมาใช้ใหม่ทำได้ยาก ต้องกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์ก่อน น้ำเสียที่มีสภาวะเป็นเบสจะต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนที่จะทำการปล่อยทิ้ง กรดไขมันและน้ำจะรบกวนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน กล่าวคือ กรดไขมันอิสระและน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันพืชใช้แล้วจะทำปฏิกิริยากับเบสเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน และเกิดเป็นสบู่ ซึ่งจะทำให้การแยกกลีเซอรอลเกิดได้ไม่ดี ส่งผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ลดลง

2.4.3 การทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนโดยใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเบสมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน โดยนำเฉพาะคุณสมบัติที่ดีของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดมาใช้ เพื่อช่วยให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมากขึ้น

ในขั้นแรกจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระไปเป็นเอสเทอร์ก่อน เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันให้ต่ำกว่าหรือเท่ากับหนึ่งเปอร์เซ็นต์ก่อน จากนั้นในขั้นตอนที่สองเป็นการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทำปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ถือว่าการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกรดที่ใช้

แต่การใช้วิธีนี้จะมีข้อเสียเกิดขึ้น คือ การกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิด โดยที่การกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยากรดที่ใช้ในขั้นตอนแรกนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสในขั้นตอนที่สองในปริมาณที่มาก ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลให้มากขึ้นด้วย

2.4.4 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การใช้สารเคมี (กรดและเบส) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันมักจะมีปัญหาเกิดขึ้น เช่น การปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลก่อนนำไปใช้ การนำกลีเซอรอลกลับมาใช้ใหม่ การกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยา และสิ้นเปลืองพลังงาน (ความเร็วในการปั่นกววนและอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา) ดังนั้นจึงได้มีการนำเอนไซม์มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เอนไซม์ไลเปส ซึ่งมีข้อดีมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือ ไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ร่วม นำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย สภาพในการเกิดปฏิกิริยาไม่รุนแรง สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ กรดไขมันอิสระและน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว จะไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและมักจะได้ปริมาณอัลคิลเอสเทอร์ที่สูง

2.4.5 การทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

เป็นการทำปฏิกิริยาในสถานะเหนือวิกฤตของเมทานอล โดยจะทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้พันธะไฮโดรเจนของเมทานอลอ่อนลง และเมทานอลมีสภาพขั้วลดลง ซึ่งจะทำให้เมทานอลกับน้ำมันพืชสามารถรวมกันเป็นเฟสเดียวกันได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีความบริสุทธิ์สูงและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเพียง 2-4 นาที

ตัวเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานที่ใช้ประกอบด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalysts) และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalysts) โดยทั่วไปมักใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ เช่น NaOH, KOH และ Alkoxides ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันมักใช้พวกต่างซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด และต้องใช้น้ำในปริมาณมากในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารละลาย ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ มีจุดเด่น คือ ไม่กัดกร่อน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และไม่มีปัญหาในการกำจัดตัวเร่งออกจากผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเนื่องจากสามารถแยกออกได้ง่าย สามารถออกแบบให้มีการเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว และตัวเร่งชนิดนี้ยังมีอายุการใช้งานที่นาน แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งซึ่งมีจุดเด่น เช่น เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว อายุการใช้งานนาน และราคาถูก

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

2.5.1 ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสมเพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนั้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลคือทำให้ออกไซด์เป็นอีกสารที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ไม่อย่างนั้นถ้าไปใช้ประโยชน์ด้านการทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจลและยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย

จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดสบู่นอกจากน้ำ แล้วยังมีกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบ ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง แต่สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่ค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid esterification) แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ

2.5.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน สัดส่วนที่ใช้ในปฏิกิริยาคือ 3 โมลของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นยังใช้อัตราส่วนมากเท่าไรก็จะทำให้ได้เอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นเท่านั้นและภายในเวลาที่สั้นลงด้วย อัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ถูกใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมพบว่าได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์

2.5.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยามีหลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ เบส กรด หรือเอนไซม์ ซึ่งมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันออกไป เช่น ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันชนิดเบสเป็นตัวเร่ง สามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วและมีการกักร้อนอุปกรณ์น้อยกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่ง อย่างไรก็ตาม ถ้าสารตั้งต้นมีปริมาณกรดไขมันอิสระและน้ำมากการใช้กรดเป็นตัวเร่งจะเหมาะกับกรณีนี้มากกว่า โดยทั่วไปแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมเมทอกไซด์ เป็นต้น และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ได้แก่ ซัลฟิวริก ไฮโดรคลอริก เป็นต้น

2.5.4 ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันอย่างมาก อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าเป็นเมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60 - 70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 ผลของอัตราการกวนผสม

เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลสารตั้งต้นคือ น้ำมันและแอลกอฮอล์มีสภาพที่ไม่ละลายหรือละลายเข้ากันได้ ในปริมาณที่น้อยมาก การที่จะทำให้สารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันนั้นจำเป็นต้องมีการกวนเพื่อให้สารมีการแพร่เข้าหากันเพื่อทำปฏิกิริยา เพราะฉะนั้นการผสมจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล

2.5.6 ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น

สิ่งเจือปนในน้ำมันที่เป็นสารตั้งต้นมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอย่างมาก กล่าวคือ ถ้าใช้น้ำมันที่ยังไม่ผ่านการกลั่น (น้ำมันดิบ) ไปผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล จะได้ผลิตภัณฑ์ประมาณ 65-84 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าใช้น้ำมันที่ผ่านการกลั่นแล้ว มาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะได้ผลิตภัณฑ์สูงถึง 94-97 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะเดียวกันความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้น อาจเกิดจากกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบไปแทรกแซงการทำงานของตัวเร่ง แต่สามารถแก้ไขโดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันสูงๆ

2.5.7 ผลกระทบของตัวทำละลายร่วม

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งเพื่อผลิตไบโอดีเซลมีการใช้ตัวทำละลายร่วม เช่น เตตระไฮโดรฟูแรน (THF) หนึ่งสี่ไดออกเซน (1,4 dioxane) และ ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) เป็นต้น มาช่วยให้เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน จะทำให้อัตราผลผลิตที่ได้มีค่ามากขึ้น

2.6 การแบ่งวิธีทดสอบคุณสมบัติ

การแบ่งวิธีทดสอบคุณสมบัติไบโอดีเซลออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การตรวจสอบคุณสมบัติทั่วไปที่เป็นข้อกำหนดคุณภาพที่ดีของน้ำมัน ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ ปริมาณกำมะถัน ปริมาณกากถ่าน จำนวนซีเทน ปริมาณเถ้าซัลเฟต ปริมาณน้ำ สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด การกัดกร่อน แผ่นทองแดง ค่าความเป็นกรด และปริมาณโลหะอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ทที่ปนเปื้อน

2. การตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่

2.1 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์และกรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (สัดส่วนของปริมาณกรดลิโนเลนิก-เมทิลเอสเทอร์ในเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันทั้งหมด) ซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้ว

2.2 ปริมาณเมทานอล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมด ตามมาตรฐานกำหนดให้มีสารเหล่านี้อยู่ในปริมาณน้อยเพราะเป็นการบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่าง ไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์กับเมทานอล และกระบวนการแยกกลีเซอรินที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกได้อย่างดี

2.3 ทดสอบการมีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสและค่าออกซิเจนเป็นเอกสารที่คำนวณไว้สำหรับภาชนะบรรจุที่บรรจุที่อุณหภูมิห้อง ไม่นานเกินไปไปใช้ประโยชน์ในราคาไฮโดรคาร์บอน ไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอน ไม่อิมตัวไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น สิ่งทั้งหมดนี้มีเหตุผลเบื้องหลังและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้กับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพต่อการเก็บ

2.7 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ [13]

การใช้น้ำมันพืชเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นสามารถทำได้หลายแนวทาง แต่สิ่งที่ควรคำนึงถึงก็คือ ต้องลดค่าความหนืดของน้ำมันพืชให้ต่ำลงมาอยู่ในระดับเดียวกับน้ำมันดีเซล (ความหนืดควรต่ำกว่า 4.2 cst ที่อุณหภูมิ 400°C) นอกจากนี้ผู้ใช้ก็ควรคำนึงถึงคุณสมบัติด้านอื่นๆของน้ำมันพืชด้วย อาทิ ค่าซีเทน ค่าจุดไหลเท เป็นต้น การใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์มีประโยชน์หลายด้าน ดังต่อไปนี้

ก. ด้านสิ่งแวดล้อม การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ กรมอุทกหารเรือ กองทัพเรือ ได้รายงานผลการทดลองการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 145 แรงม้า พบว่าสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 40 การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเพราะผลิตจากพืชการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันมิให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ซึ่งมีสารไดออกซินที่เป็นสารก่อมะเร็ง ไปผลิตเป็นอาหารสัตว์

ข. ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล จากผลการทดลองของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) พบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าวในอัตราร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่น ได้ถึง 2 เท่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็น การเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมัน ได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อดีข้อนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

ค. ด้านเศรษฐศาสตร์ การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบท ด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค การใช้ไบโอดีเซล ช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 300,000 ล้านบาท

ง. ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก ตลาดน้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซิน 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้งานภายในประเทศ ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้ การผสมน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 1-2 สามารถเพิ่มความสามารถในการหล่อลื่นในน้ำมันดีเซลได้ โดยเฉพาะกรณีที่จะมีการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

จ. ด้านความมั่นคง การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ถือเป็น การเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์ [15]

น้ำมัน ไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลกับไบโอดีเซล [14]

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

ดังนั้นผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือว่าไม่มีผลทางด้านลบ หรือในกรณีของเครื่องยนต์เก่า อาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนซีลบางส่วนเท่านั้นเอง โดยทั่วไป การใช้น้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศนั้น นิยมนำไปผสมเป็นสูตรต่างๆ เช่น

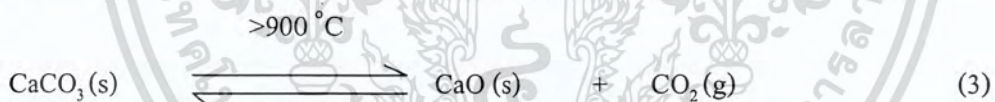
- B2 (ไบโอดีเซล 2% : ดีเซล 98%) มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา และจะบังคับใช้ทั้งมลรัฐ ในปี พ.ศ. 2548
- B5 (ไบโอดีเซล 5% : ดีเซล 95%) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส. โดยกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายเป็นน้ำมันสูตร B5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- B20 (ไบโอดีเซล 20% : ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ตามกฎหมาย ยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ (Alternative Motor Fuels Act : AMFA 1988) ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะรถของบริษัทและรถของหน่วยงานราชการกว่า 147 แห่ง รวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษ เช่น รถรับส่งนักเรียน รถประจำทาง เรือ หรือ เครื่องจักรกลที่ใช้ในเมืองแร่ ทั้งนี้ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตระบบหัวฉีดน้ำมันและเครื่องยนต์
- B40 (ไบโอดีเซล 40% : ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อผลในการลดมลพิษ
- B100 (ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ใช้ในประเทศเยอรมนีและออสเตรีย โดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของประเทศ

2.9 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) [15]

ปูนขาว หรือ แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide, CaO) มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 2572 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 2-6 แคลเซียมออกไซด์เตรียมได้จากการให้ความร้อนแก่หินปูน หินปะการัง เปลือกของสัตว์ทะเล เป็นต้น ปูนขาวอาจอยู่ในรูปของ CaCO_3 โดยสลายเอาคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป ดังสมการที่ 3



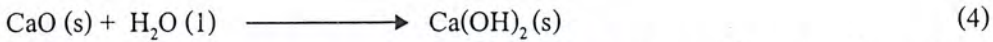
ปฏิกิริยาข้างต้นนี้สามารถผันกลับได้ คือ แคลเซียมออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต

แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากปูนขาวเป็นส่วนหนึ่งในการเปลี่ยนรูปที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์ทำขึ้น ภาษาที่ใช้เรียกทั่วไปคือ Calcium Oxide ในภาษาละตินเรียก calx จากชื่อของแคลเซียมซึ่งถูกใช้ในชื่อภาษาอังกฤษยุคโบราณเรียกว่า lim อย่างไรก็ตามชื่อเรียกดั้งเดิมในทางการค้าของ Calcium Oxide หรือปูนขาวคือ lim ในปัจจุบันปูนขาวมีใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยุติกันเพิ่มมากขึ้น

การใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เก่าแก่ที่สุด คือ การนำแคลเซียมออกไซด์นี้ไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อให้เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อปูนขาวผสมกับน้ำและทรายผลที่ได้ก็คือปูนดิบ ซึ่งปูนดิบก็คือปูนที่ใช้ในการก่ออิฐหรือหินนั่นเอง ที่อุณหภูมิห้องปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นได้ช้ามาก แต่หากผสมน้ำลงไปปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อปูนขาวผสมกับน้ำจะเกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือเรียกว่า Slaked Lime

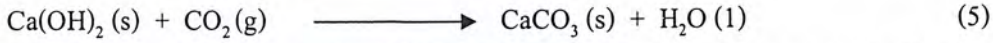
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดั่งสมการที่ 4

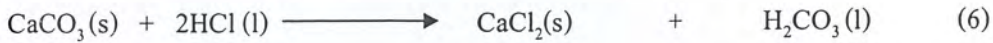


ปฏิกิริยาของแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นได้เร็ว เพื่อเกิดเป็นปูนดิบ

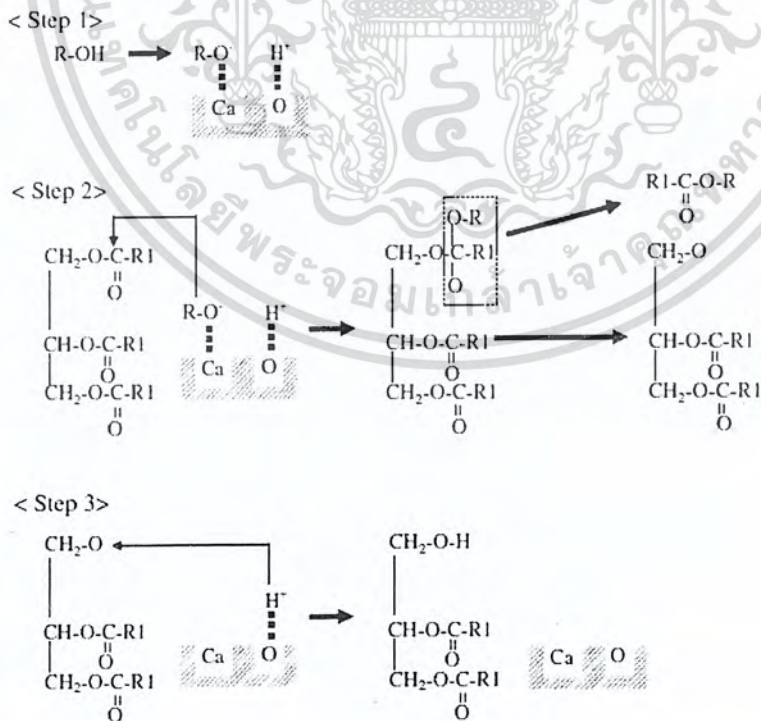
ดั่งสมการที่ 5



แคลเซียมออกไซด์สามารถนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยแคลเซียมออกไซด์สามารถเตรียมได้จากแคลเซียมคาร์บอเนต ดั่งสมการที่ 6-8



กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ของแข็งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แคลเซียมออกไซด์ โดยแคลเซียมออกไซด์จะเข้าไปแยกโปรตอนจากเมทิลเอตทอกซอลที่ตำแหน่งพื้นฐานในขั้นแรกของปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดเมทอกซิไอออน จากนั้นเมทอกซิไอออนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนของหมู่คาร์บอนิลในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งทำให้เกิดสารตัวกลางเอตทอกซิคาร์บอนิล แบ่งออกเป็น 2 โมเลกุล ได้แก่ fatty acid methyl esters และไอออนของไตรกลีเซอไรด์ ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [24] ราคาไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-6 แสดงสมบัติทางเคมีของแคลเซียมออกไซด์ [16]

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

2.10 อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) [26]

อะลูมินา มีชื่อทางเคมีว่า อะลูมิเนียมออกไซด์ สูตรทางเคมีคือ Al₂O₃ พบในธรรมชาติในรูปของแร่คอร์ันดัม (corundum) โดยปกติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี ดังแสดงในตารางที่ 2-7 แต่หากมีสิ่งเจือปนในโครงสร้างของอะลูมินาเล็กน้อยจะทำให้เกิดสีต่าง ๆ ทำให้มีความสวยงามมากขึ้น กลายเป็นแร่ที่มีค่า เช่น สีแดงของทับทิมเกิดจากมีธาตุโครเมียมอยู่ในเนื้ออะลูมินา เป็นต้น โครงสร้างของอะลูมินาประกอบด้วยพันธะระหว่างอะลูมิเนียมกับออกซิเจนที่มีความแข็งแรงมาก การทำลายพันธะดังกล่าวต้องใช้พลังงานสูงทำให้อะลูมินามีความแข็งแรงมาก โดยวัสดุที่แข็งแรงมากกว่าอะลูมินามีเพียงเพชรเท่านั้น นอกจากนั้นแล้ว อะลูมินายังทนความร้อนและการกัดกร่อนจากสารเคมีชนิดต่าง ๆ ได้ดีอย่างยิ่ง และมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีอีกด้วย

อะลูมินาที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตขึ้นจากแร่บอกไซต์โดยกระบวนการที่มีชื่อว่า กระบวนการของเบเยอร์ เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนและเปลี่ยนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ให้เป็นอะลูมินา อะลูมินาที่ผลิตได้ส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 90) ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโลหะอะลูมิเนียม ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 10 นำไปใช้ในรูปของอะลูมินาโดยตรง

ประการหนึ่งของอะลูมินามีมากมาย นอกจากจะใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เซรามิก เพื่อให้เกิดความแข็งแรง มากขึ้นแล้ว ยังสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์หลายชนิด เช่น ใช้ทำวัสดุทนไฟ

ไฟในเตาเผาและเตาหลอม วัสดุขั้วถั่ว ลูกบดและผนังกรูหม้อบดสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ถ้วยเผาสาร (crucible) สำหรับอุตสาหกรรมอัญมณี หัวฟันทรายสำหรับงานตกแต่งผิวโลหะ แผ่นรองวงจรไฟฟ้ารวม (IC) สำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หัวเทียนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ใช้ทำฝาครอบหลอดไฟ โซเดียมที่ให้ความสว่างสูง และยังใช้เป็นชิ้นส่วนของ อวัยวะทดแทน เช่น ข้อต่อกระดูกเทียม เป็นต้น จากการสำรวจของกระทรวงการค้าต่างประเทศและอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น (MITI) ในปี 1997 พบว่าเฉพาะที่ ญี่ปุ่นประเทศเดียว ตลาดผลิตภัณฑ์อะลูมินาก็มีมูลค่าถึงเกือบ 2.5 แสนล้านเยน หรือประมาณ 1 แสนล้านบาท จึงนับได้ว่าเป็นวัสดุที่มีศักยภาพ ทางการตลาดที่น่าสนใจมากชนิดหนึ่ง

ตารางที่ 2-7 แสดงสมบัติทางเคมีของอะลูมิเนียมออกไซด์ [26]

รายการ	รายละเอียด
IUPAC Name	Aluminium oxide
Other Name	Alumina
Molecular formula	Al ₂ O ₃
Molar mass	101.96 g/mol
Appearance	White
Density	3.97 g/cm ³ , ของแข็ง
Melting point	2054 °C
Boiling point	~3000 °C
Solubility in water	Insoluble
Coordination geometry	Octahedral
Heat capacity C _p	79.04 J/(mol K)
Standard enthalpy of formation $\Delta_f H^\circ_{\text{solid}}$	-1675.7 kJ/mol
Flash point	Non-flammable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.11.1 Thermogravimetric Analyzer (TGA) [17]

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ เป็นกลุ่มเทคนิคที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุต่าง ๆ เช่น โพลีเมอร์ สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ เซรามิกส์ โลหะ และวัสดุทั่วไปอื่น ๆ การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติ ทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุที่ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลา ผลการวิเคราะห์จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ สมบัติทางความร้อน เสถียรภาพต่อความร้อน เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และลักษณะการผ่านกระบวนการทางความร้อนของวัสดุ โดยทำการศึกษาน้ำหนักที่หายไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความร้อนที่วัสดุดูดหรือคาย เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเวลา และการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุ ขึ้นงานภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเวลา

2.11.2 เครื่อง X-ray diffraction techniques (XRD) [18]

เครื่องมือสำหรับใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในสารทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และปริมาณ (Quantitative) และใช้ศึกษาเกี่ยวกับ โครงสร้างของผลึก (Crystal Structure) หรือ โมเลกุลของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) ซึ่งจะถูกวัดความเข้มกำลัง (Power) ด้วยการสแกน (Scan) ของตัวรับสัญญาณ (Detector) สัญญาณที่วัดได้จะถูกถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัมแล้วถูกประมวลผลออกมาทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมการทำงาน

2.11.3 เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) [19]

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2-4 ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทาง

อิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



รูปที่ 2-4 แสดงพื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

2.11.4 เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance (NMR) [20]

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

2.11.5 เครื่อง Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR) [21]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุที่เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ เทคนิคนี้เป็นวิธีการทาง Spectroscopy ชนิดหนึ่งที่ศึกษาการดูดกลืนแสงของสารในย่านความถี่ของแสงซึ่งโดยการวิเคราะห์โครงสร้างสารจะอาศัยการดูดกลืนที่แตกต่างกันของแต่ละโมเลกุลซึ่งโมเลกุลแต่ละชนิดจะมีการดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรดที่แตกต่างกันโดยช่วง Wave numbers 4000 - 1500 จะเป็นช่วงที่บ่งบอกถึงหมู่ฟังก์ชันนอลของโมเลกุล เช่น -OH, C=O, N-H, CH₃ เป็นต้น และในช่วง Wave numbers 1500 - 400 เป็นช่วง The Fingerprint Region ซึ่งจะมีลักษณะของสเปกตรัมที่เฉพาะเจาะจงของสารแต่ละตัวแต่เนื่องจากจะมีพีคเกิดค่อนข้างเยอะ ดังนั้นการวิเคราะห์สเปกตรัมช่วงนี้ค่อนข้างยาก การนำเทคนิคนี้จะนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับด้านวัสดุศาสตร์ เช่น พอลิเมอร์ช่วยในการจำแนกชนิดของพอลิเมอร์ และในด้านอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เนื่องจากเทคนิคนี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างไม่แพงและรวมไปถึงชนิดของตัวอย่างสามารถวิเคราะห์ได้เกือบทุกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Xuejun และคณะ [23]

ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองเป็นไบโอดีเซล ใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็งที่เป็นเบส เสนอกลไกการเกิดปฏิกิริยาและพิจารณาผลของอัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิของปฏิกิริยา อัตราส่วนมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมัน และปริมาณน้ำ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ 8% อุณหภูมิของปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำ 2.03% ในเมทานอลจะให้ผลดี และให้ผลผลิตไบโอดีเซลมากกว่า 95% ในเวลา 3 ชั่วโมง อายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า การเผาของตัวเร่งปฏิกิริยา $K_2CO_3/\gamma\text{-}Al_2O_3$ and $KF/\gamma\text{-}Al_2O_3$ แคลเซียมคาร์บอเนตรักษาอัตราการเกิดสูงได้ยาวนาน แม้หลังจากถูกใช้หลายครั้งสามารถใช้งานได้ถึง 20 รอบ และการทดลองซ้ำไม่เกิดผลกระทบต่อผลผลิตไบโอดีเซลที่เวลา 1.5 ชั่วโมง

Emin Selahattin Umdu และคณะ [22]

ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ (CaO/Al_2O_3) และแมกนีเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ (MgO/Al_2O_3) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยพิจารณาชนิดของตัวเร่ง ปริมาณการดูดซับ และพิจารณาเปรียบเทียบกับแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ที่ไม่ถูกดูดซับ จากการทดลองพบว่า CaO/Al_2O_3 และ MgO/Al_2O_3 สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า CaO และ MgO นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ CaO/Al_2O_3 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ผลผลิตของไบโอดีเซลมากกว่าการใช้ MgO/Al_2O_3 และถ้าปริมาณการดูดซับเพิ่มมากขึ้นจะยิ่งทำให้ได้ผลผลิตดีขึ้นเช่นกัน

จันทร์ และคณะ [15]

ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง คือ แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกไข่ ซึ่งมีร้อยละเอสทิลเอสเทอร์ประมาณ 100 เปลือกไข่มีคุณสมบัติบางประการ เช่น พื้นที่ผิวมาก ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เป็นอย่างดี โดยศึกษาตัวแปรได้แก่ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยเปรียบเทียบระหว่างแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์กับแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกไข่ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอแนไลเซอร์ (TGA) Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA
- 2) เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) EDAX รุ่น LEO 1455 VP
- 3) เครื่อง X-ray diffraction techniques (XRD) รุ่น Philips PW 3040
- 4) เตาเผา Nabertherm GmbH รุ่น Bahnhofstr. 20, 28865 Lilienthal/Bremen, Germany
- 5) เครื่องทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (NMR) BRUKER รุ่น Avance DPX 300
- 6) เครื่องปั่นกวน รุ่น IKA[®] C-MAG HS7
- 7) แม่เหล็ก
- 8) ตู้อบสูญญากาศ
- 9) เครื่องชั่งไฟฟ้า Denver Instrument Company รุ่น TC-254
- 10) เทอร์โมมิเตอร์
- 11) ขวดกั้นกลมสามคอ
- 12) กระบอกตวง
- 13) กรวยแยก
- 14) บิวเรต
- 15) ปิเปต
- 16) เครื่องแก้วต่างๆ

3.2 สารเคมี

- 1) น้ำมันปาล์ม ตรา มรกต
- 2) CaCO_3 เกรดวิเคราะห์ บริษัท Italmer
- 3) แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ได้จาก CaCO_3
- 4) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Italmer
- 5) เมทานอล 99.99% (Methanol CH_3OH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Apex
- 6) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH) เกรดวิเคราะห์บริษัท Labscan
- 7) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Italmer

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 9) โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogenphthalate ; KHP) เกรควิเคราะห์บริษัท Apex
- 10) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid ; HCl) เกรควิเคราะห์ บริษัท Italmer

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์จากแคลเซียมคาร์บอเนต

- 1) ชั่งแคลเซียมคาร์บอเนต 20 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 6 M จำนวน 76.4 มิลลิลิตร (แสดงวิธีการคำนวณดังภาคผนวก ก)
- 2) นำอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 1×1 cm จุ่มลงไปนึ่งสารละลายที่ได้ จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.5 M จำนวน 840.75 มิลลิลิตร (แสดงวิธีการคำนวณดังภาคผนวก ก) ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- 3) นำอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในรูพรุนไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 4) นำอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ในรูพรุนไปวิเคราะห์คุณสมบัติ โครงสร้าง และสารอื่น ๆ ที่ปนเปื้อน ช่วงอุณหภูมิในการเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ให้เป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (TGA)

3.3.2 การเตรียมแคลเซียมคลอไรด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์จากแคลเซียมคาร์บอเนต

- 1) ชั่งแคลเซียมคาร์บอเนต 20 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 6 M จำนวน 76.4 มิลลิลิตร (แสดงวิธีการคำนวณดังภาคผนวก ก)
- 2) นำอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 1×1 cm จุ่มลงไปนึ่งสารละลายที่ได้ และทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- 3) นำอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีตะกอนของแคลเซียมคลอไรด์ในรูพรุนไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 4) นำอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีแคลเซียมคลอไรด์อยู่ในรูพรุนไปวิเคราะห์คุณสมบัติ โครงสร้าง และสารอื่น ๆ ที่ปนเปื้อน ช่วงอุณหภูมิในการเปลี่ยนแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ให้เป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (TGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การเตรียมแคลเซียมออกไซด์จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์

1) นำแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ที่เตรียมได้จาก 3.3.1 และ 3.3.2 ตามลำดับ ไปเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ให้เป็นแคลเซียมออกไซด์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2) นำผลแคลเซียมออกไซด์ที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffraction techniques (XRD) และตรวจสอบลักษณะพื้นผิว Scanning electron microscope (SEM) เทียบกับแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า

3.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40

พิจารณาน้ำมันที่นำมาทดลองว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณเท่าใด ดังตารางที่ 3-1 ตารางที่ 3-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระปริมาตรเมทานอลและความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์

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% ดังนั้นจึงเลือกช่วงกรดไขมันอิสระในน้ำมัน 1.0-30.0% โดยทำการทดลองดังนี้

1. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มอล
2. หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโดรเจนซัลเฟต 0.25 นอร์มอล ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์
3. ชั่งน้ำมัน 7.05 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอลลงไป 75 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนสารละลายเข้ากันดี (ไม่เกิน 60 °C)
4. เติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตร
5. ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว
6. บันทึกปริมาตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

- 1) ชั่งน้ำมัน 100 กรัม ที่ผ่านการระเหยน้ำออกแล้วลงในขวดก้นกลมสามคอ
- 2) นำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน ผสมกับเมทานอลที่อัตราส่วน 1:12 โดยโมลของน้ำมัน (43.94 กรัม ดังแสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก) แล้วผสมกับน้ำมันในขวดก้นกลมสามคอ
- 3) ตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์ดังรูปที่ 3-1 โดยต่อขวดก้นกลมสามคอเข้ากับคอนเดนเซอร์และเทอร์โมมิเตอร์ให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในขวดก้นกลมสามคออยู่ที่ประมาณ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ และปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3-1 การตั้งชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์สำหรับสังเคราะห์ไบโอดีเซล

- 4) เก็บตัวอย่างที่เวลา 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง โดยใช้ปิเปตดูดขึ้นมา 10 มิลลิลิตร นำไปใส่กรวยแยกเพื่อรอให้แยกชั้น
- 5) ไขชั้นเมทิลเอสเทอร์ที่อยู่ด้านล่างออก เพื่อให้แยกออกจากกลีเซอรอลและเมทานอล
- 6) สังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 10 มิลลิลิตร จนกว่าผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลจะมีสถานะเป็นกลาง
- 7) นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปตรวจวัดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เกรดวิเคราะห์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

- 1) ชั่งน้ำมัน 100 กรัม ที่ผ่านการระเหยน้ำออกแล้วลงในขวดก้นกลมสามคอ
- 2) ชั่งแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ผสมตามปริมาณดังตารางที่ 3-2 ผสมกับเมทานอลที่อัตราส่วน 1:12 โดยโมลของน้ำมัน (43.94 กรัม ดังแสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก) แล้วผสมกับน้ำมันในขวดก้นกลมสามคอ
- 3) ตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์ โดยต่อขวดก้นกลมสามคอเข้ากับคอนเดนเซอร์และเทอร์โมมิเตอร์ ให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในขวดก้นกลมสามคออยู่ที่ 60 °C และปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง
- 4) เก็บตัวอย่างที่เวลา 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง โดยใช้ปิเปตดูดขึ้นมา 10 มิลลิลิตร แล้วใส่หลอดเซนติฟิว
- 5) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 4000 รอบเป็นเวลา 5 นาที เมื่อมีการแยกตัวออกจากกันแล้ว ใช้หลอดหยดดูดเฉพาะชั้นเมทิลเอสเทอร์
- 6) นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปตรวจวัดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-2 แสดงปริมาณสัดส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล เวลา อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 การสังเคราะห์ไฮโดติเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

- 1) ชั่งน้ำมัน 24.5 กรัม ที่ผ่านการระเหยน้ำออกแล้วลงในขวดก้นกลมสามคอ
- 2) ชั่ง $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ที่เตรียมได้ ผสมกับเมทานอลที่อัตราส่วน 1:12 โดยโมลของน้ำมัน (ดังแสดงในตารางที่ 3-3) แล้วผสมกับน้ำมันในขวดก้นกลมสามคอ
- 3) ตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์ โดยต่อขวดก้นกลมสามคอเข้ากับคอนเดนเซอร์และเทอร์โมมิเตอร์ ให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในขวดก้นกลมสามคออยู่ที่ $60\text{ }^\circ\text{C}$ และปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง
- 4) เก็บตัวอย่างที่เวลา 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง โดยใช้ปิเปตดูดขึ้นมา 10 มิลลิลิตร นำไปใส่กรวยแยกเพื่อรอให้แยกชั้น
- 5) ไขชั้นเมทิลเอสเทอร์ที่อยู่ด้านล่างออก เพื่อให้แยกออกจากกลีเซอรอลและเมทานอล
- 6) ล้างไฮโดติเซลด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 1 มิลลิลิตร จนกว่าผลิตภัณฑ์ไฮโดติเซลจะมีสถานะเป็นกลาง
- 7) นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปตรวจวัดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-3 แสดงปริมาณสัดส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล เวลา อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่จุดชับบนรูปพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Catalyst	Molar ratio of methanol to oil	%catalyst (%wt oil)	Reaction Time	Temperature (°C)
CaO	1:12	1% (0.2450 กรัม)	10 min	60
			20 min	
			30 min	
			1 hour	
			2 hour	
			3 hour	
		2% (0.3588 กรัม)	10 min	
			20 min	
			30 min	
			1 hour	
			2 hour	
			3 hour	
		3% (0.4879 กรัม)	10 min	
			20 min	
			30 min	
			1 hour	
			2 hour	
			3 hour	
		4% (0.4362 กรัม)	10 min	
			20 min	
			30 min	
			1 hour	
			2 hour	
			3 hour	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) จากน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยในงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 การเตรียมแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ และตอนที่ 2 ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) จากน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นที่เตรียมได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ในการนำน้ำมันปาล์มมาใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล คือปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ถ้าในน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 2.5 % จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณลดลง โดยจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดปฏิกิริยาaponification เป็นไขสบู่และน้ำเป็นส่วนใหญ่ ดังสมการที่ 9



น้ำมันพืชส่วนใหญ่มีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในรูปของกรดลอริก [25] เป็นองค์ประกอบ และในน้ำมันปาล์มที่ใช้ทดลองส่วนใหญ่มีปาล์มเมติกเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะรายงานปริมาณกรดไขมันอิสระทั้งสองในรูปของลอริกและปาล์มเมติกตามลำดับ

ในการทดลองสามารถวิเคราะห์ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ 0.2455 นอร์มอล แล้วทำการไทเทรตน้ำมันปาล์มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันในรูปของลอริก และปาล์มเมติก ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40 ได้ผลดังตารางที่ 4-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของลอริกและปาล์มเมติก

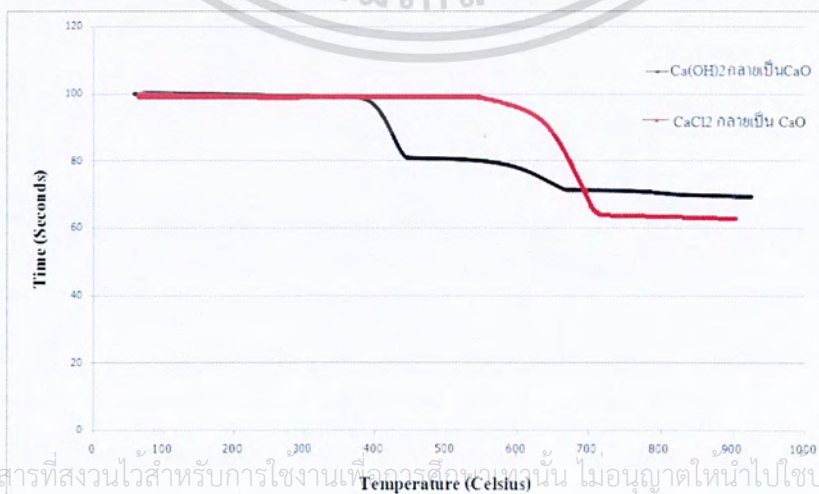
กรดไขมันอิสระ (%)		
ตัวอย่างที่	ในรูปของลอริก	ในรูปของปาล์มเมติก
1	0.49	0.63
2	0.49	0.62
3	0.48	0.62
เฉลี่ย	0.49	0.62

จากตารางที่ 4-1 พบว่าน้ำมันปาล์มที่นำมาทดลองมีปริมาณร้อยละของกรดไขมันอิสระในรูปลอริกและปาล์มเมติกคือ 0.49 และ 0.62 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำร้อยละของกรดไขมันอิสระทั้งสองมารวมกันแล้วจะได้ 1.11% พบว่าไม่เกิน 2.5% แสดงว่าสามารถนำน้ำมันปาล์มนี้มาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้

4.2 การหาช่วงอุณหภูมิที่จะเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ด้วยเทคนิค TGA

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

ผลของการศึกษาช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์เตรียมได้ให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค TGA ดังรูปที่ 4-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อจุดประสงค์เฉพาะเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-1 ผลการศึกษาช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ให้กลายเป็น
แคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค TGA

จากรูปที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้กลายเป็น
แคลเซียมออกไซด์จะมีอยู่ 2 ช่วงอุณหภูมิ ในตอนแรกจะเป็นช่วงอุณหภูมิตลายตัวโมเลกุลของน้ำและต่อมา
เป็นการสลายตัวขององค์ประกอบของสารอินทรีย์ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



และมีการเปลี่ยนแปลงจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เตรียมได้
กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 670 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงอุณหภูมิของการ
เปลี่ยนแคลเซียมคลอไรด์ให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์จะมีอยู่ 1 ช่วงอุณหภูมิ ซึ่งจะเป็นช่วงอุณหภูมิการ
สลายตัวโมเลกุลของคลอรีน ดังสมการ



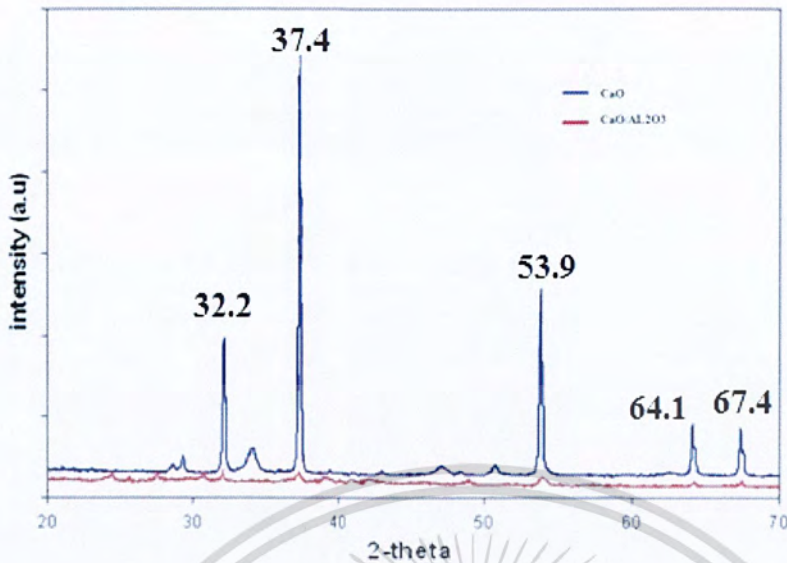
และกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 680 องศาเซลเซียส แต่เพื่อความแน่นอน
จึงเลือกใช้อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เพื่อเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ให้
กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเทียบกับผลที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เปลี่ยนจากแคลเซียม
คาร์บอเนตให้เป็นแคลเซียมออกไซด์โดยตรง จะพบว่าการเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้เป็นแคลเซียมไฮ
ดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ก่อนเป็นวิธีที่ดีกว่า เพราะการสลายตัวจากแคลเซียมคาร์บอเนตให้
กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ต้องใช้อุณหภูมิมากกว่า 900 องศาเซลเซียส ซึ่งสิ้นเปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก
และยังสลายตัวให้อนุภาคแคลเซียมออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า จึงทำให้อนุภาคเข้าทำปฏิกิริยาได้ยากกว่า

4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ด้วย เทคนิค XRD

จากการนำแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์บอเนตกับสารละลายกรด
ไฮโดรคลอริกและตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศา
เซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์
เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเผา และแคลเซียมที่ขายอยู่ในตามท้องตลาดไป
วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-2 แสดงผลการวิเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

จากรูปที่ 4-2 กราฟของแคลเซียมออกไซด์ที่วิเคราะห์พบว่าที่มุม 2θ เท่ากับ 2.2° , 37.4° , 53.9° , 64.1° และ 67.4° แสดงให้เห็นถึงรูปแบบความเป็นผลึกของแคลเซียมออกไซด์ และพบว่าพีกของกราฟของแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์มีลักษณะแตกต่างกับแคลเซียมออกไซด์ที่วิเคราะห์ที่มีขายตามท้องตลาด เพราะแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์จะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า ทำให้มันว่องไวต่อรังสีเอกซ์น้อยลงพีกที่ได้จึงเล็ก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Emin Selahattin Umdu และคณะ

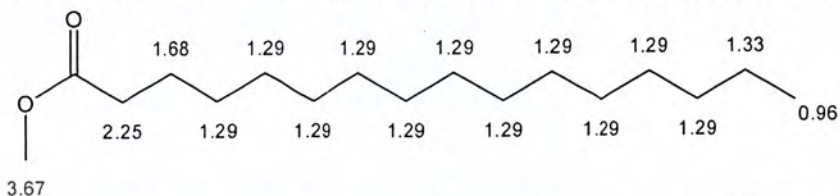
4.4 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและภาพลักษณะพื้นฐานของอนุภาคด้วยเทคนิค SEM

จากการนำแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์บอเนตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก แล้วนำสารละลายไฮดรอกไซด์เพื่อให้เกิดตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ถูกนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเผา ด้วยเทคนิค SEM ได้ผลแสดงดังรูป 4-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

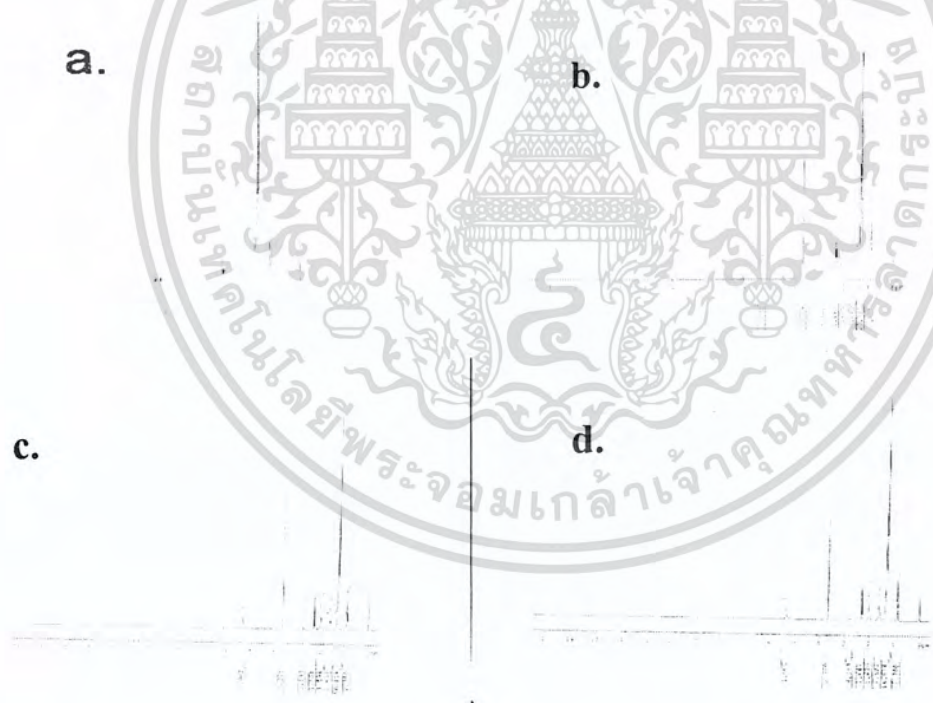
4.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไบโอดีเซล

จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มกับเมทานอลจะได้เมทิลเอสเทอร์ที่ชื่อว่า เมทิลปาล์มมิเทจ (Methyl palmitate) ออกมา จึงได้ทำการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ¹H-Nuclear Magnetic Resonance (¹H-NMR) ซึ่งเมทิลปาล์มมิเทจมีสูตรโครงสร้างและสัญญาณโปรตอนดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 แสดงสูตร โครงสร้างและสัญญาณ โปรตอนของ (Methyl palmitate) จากโปรแกรม ChemDraw Ultra.

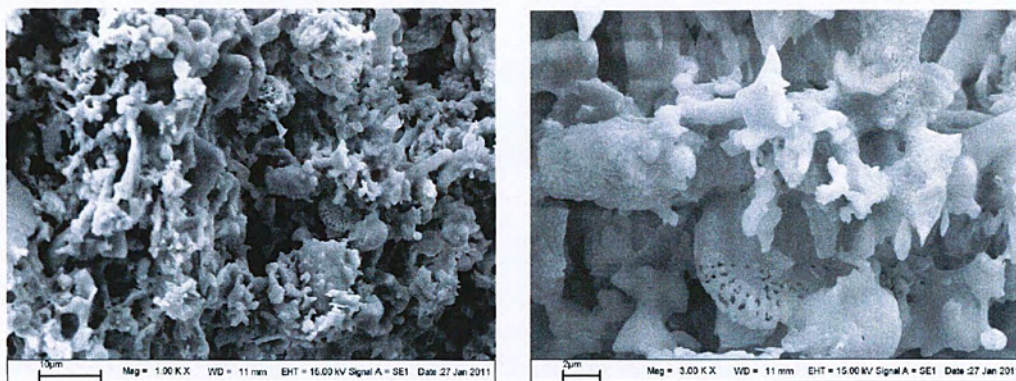
เมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลไปหาหมู่ฟังก์ชัน พบว่าสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ของทั้งสามตัวเร่ง ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ และดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิค¹H-NMR ของน้ำมันปาล์มก่อนที่นำมาสังเคราะห์ (a) , สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (b) , สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ,

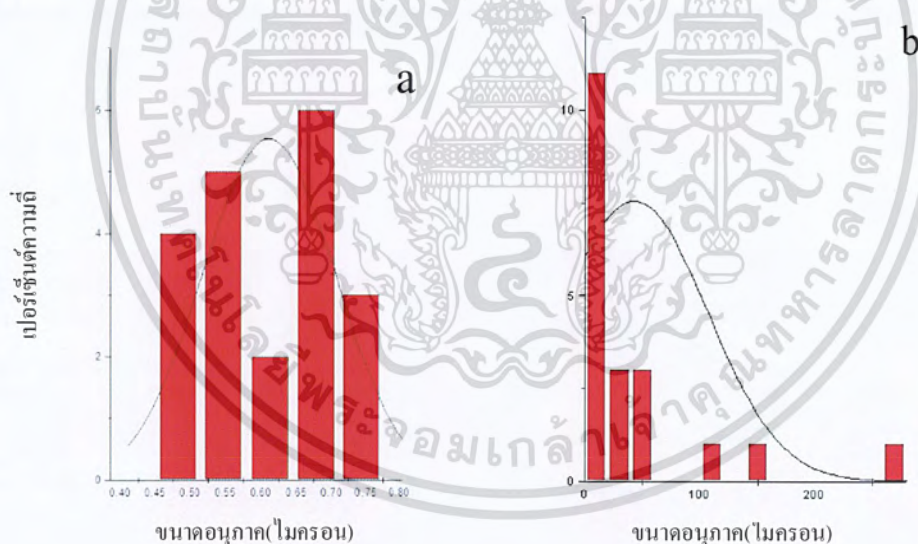
สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เพื่อประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 ภาพแสดงการวิเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (a) และ 20,000 เท่า (b) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4-3 เมื่อนำภาพที่ได้ไปหาขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม ImageJ พบว่าขนาดอนุภาคของแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์มีขนาดโดยเฉลี่ย คือ 0.511 ± 0.094 ไมครอน และขนาดอนุภาคของแคลเซียมออกไซด์เกร็ดวิเคราะห์โดยเฉลี่ย คือ 42.549 ± 63.303 ไมครอน สามารถนำขนาดอนุภาคที่ได้จากโปรแกรม ImageJ มาพลอตกราฟของการกระจายข้อมูลได้ดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 แสดงกราฟการกระจายข้อมูลของขนาดอนุภาคแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ (a) และแคลเซียมออกไซด์เกร็ดวิเคราะห์ (b) ที่ได้ข้อมูลมาจากโปรแกรม ImageJ

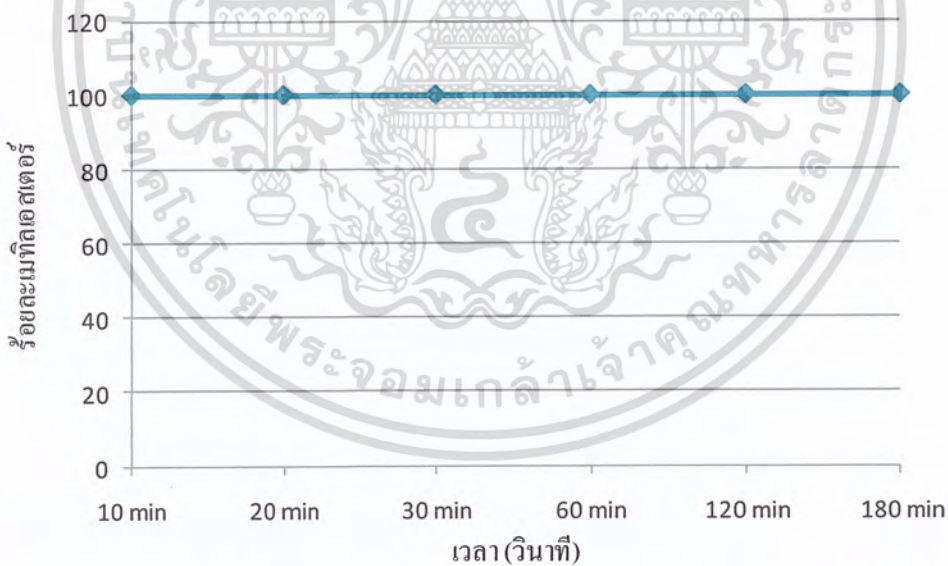
จากรูปที่ 4-4 แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์มีขนาดของอนุภาคใกล้เคียงกัน เนื่องจากกราฟมีการเกาะกลุ่มกัน และแคลเซียมออกไซด์เกร็ดวิเคราะห์มีขนาดของอนุภาคต่างกันมาก เนื่องจากการมีการกระจายตัวไม่เกาะกลุ่มกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-5 และรูปที่ 4-6 พบว่าสเปกตรัมของน้ำมันปาล์มก่อนที่นำมาสังเคราะห์ (a) ไม่มีสัญญาณโปรตอนปรากฏ ซึ่งสัญญาณโปรตอนของหมู่ฟังก์ชัน $-OCH_3$ ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของเมทิลปาล์มเมทิล ส่วนสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (b) สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) และสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (d) จะปรากฏสัญญาณ โปรตอน ที่ 3.67 จึงสามารถบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นเมทิลเอสเทอร์(ไบโอดีเซล)

4.6 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้ไขมัน 100 กรัม และเมทานอลในอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลคือ 1:12 (42.92 กรัม) นำไปทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และมีการปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ได้ดังรูปที่ 4-7

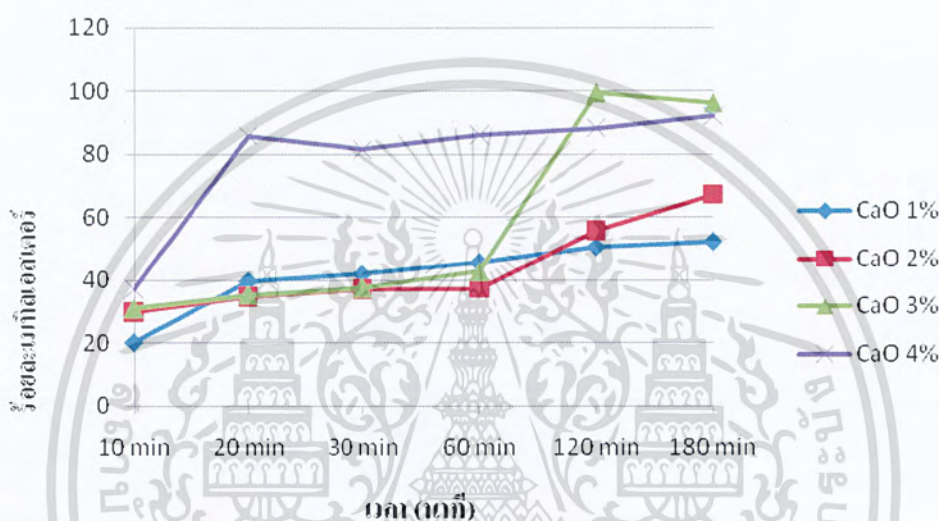


รูปที่ 4-7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2% โดยน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4-7 จะพบว่าผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เวลา 10 นาที สามารถที่จะทำให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้น้ำมัน 100 กรัม และเมทานอลในอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล คือ 1:12 (42.92 กรัม) นำไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และมีการปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ได้ดังรูปที่ 4-8



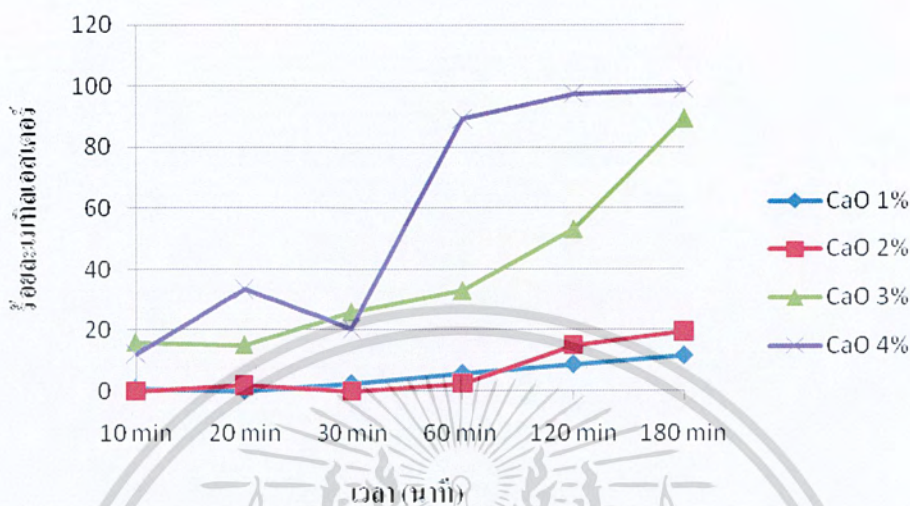
รูปที่ 4-8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ในปริมาณต่าง ๆ กันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4-8 พบว่าการใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผลร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น โดยร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากปริมาณแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ คือ 1% 2% 3% และ 4% คือ 52.57, 67.29, 96.34 และ 91.98 ตามลำดับ

4.8 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล คือ 1:12 นำไปทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีการป้อนอย่างต่อเนื่อง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไบโอโอคิเซลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ได้ดังรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ในปริมาณต่าง ๆ กันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4-9 พบว่าการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผลร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น โดยร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ คือ 1%, 2% 3% และ 4% คือ 11.58, 19.69, 89.42 และ 98.76 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) จากน้ำมันปาล์มกับเมทานอล ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยเปรียบเทียบร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ระหว่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด พบว่า

5.1.1 การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มที่นำมาทดลองด้วยการไทเทรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจากมาตรฐาน AOCs official Method Ca 5a-40 ปริมาณกรดไขมันอิสระไม่ควรมีค่าเกิน 2.5% ซึ่งผลที่ได้เท่ากับ 1.11% จึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้

5.1.2 จากการศึกษาหาช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมได้จากแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมคลอไรด์ที่เตรียมได้จากแคลเซียมคาร์บอเนตให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 700 องศาเซลเซียส

5.1.3 จากการนำแคลเซียมออกไซด์ไปถ่ายภาพขนาดของอนุภาคด้วยเทคนิค SEM พบว่าขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากเปลือกไข่ คือ 0.511 ± 0.094 ไมครอน และแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ คือ 42.549 ± 63.303 ไมครอน

5.1.4 การหาปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยการใช้น้ำมันปาล์ม 100 กรัม ทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล 1:12 โดยโมล โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส และมีการปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง แล้วใช้ตัวเร่งและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน เมื่อคำนึงถึงการ ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่น้อยที่สุด พบว่า

- เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด คือ 100 โดย ใช้ปริมาณตัวเร่ง 2% และระยะเวลา 10 นาที
- เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด คือ 99.34 โดย ใช้ปริมาณตัวเร่ง 3% และระยะเวลา 2 ชั่วโมง
- เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด คือ 98.76 โดย ใช้ปริมาณตัวเร่ง 4 % และระยะเวลา 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ทำการควบคุมสภาวะการทดลองไม่ให้เกิดการรั่วไหลของเมทานอลที่ระเหยออก เพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า

5.2.2 ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเวลาในการเก็บรักษาต่อประสิทธิภาพความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์

5.2.3 ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำต่อประสิทธิภาพความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] การใช้ไขมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล โดย พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, เดโช ศรีวิจิตร, สุมาลัย ศรีกำไลทอง และ สราวุธ วรสุมนต์ เสนอในการประชุมวิชาการครั้งที่ 20 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2525.
- [2] [Online]. Available : <http://www.istc.illinois.edu/tech/small-scale-biodiesel.pdf>
- [3] [Online]. Available : <http://www.sc.mahidol.ac.th/wiki/doku.php?id>
- [4] [Online]. Available :
http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=90&i2=10000.
- [5] ธนวัฒน์ อุตตมะรูป และชิตี เขียวฤทธิ์. 2544. การศึกษาเบื้องต้นการเกิดอีมีลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซล. ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] M .Fangrui., A .Milford., Hanna. 1999. "Biodiesel production: a review". Bioresource Technology. 1-5.
- [7] ขนิษฐา สิงห์ไทยสมบูรณ์,จิรนนท์ ร่มโพธิ์เย็น และนฤมล ภายชะวรรณ. 2550. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช่แล้วด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์. ปรินูญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต 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.vcharkarn.com/varticle/37458> ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] J. Sheehan, V. Camobreco, J. Duffied, 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.
- [15] จันทร สารทอง, นันทวิวัฒน์ ตระการสุข และปฐนิกา พิริยะอังกูร. 2551. การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. ปรินญาณิพนธ์วิทยา ศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [16] [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_oxide.
- [17] [Online]. Available : <http://www.kmitl.ac.th/sisc/TGA/TGA/Tgaanaly.html>.
- [18] [Online]. Available : http://www.bestsci.com/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail&cid=25511&pid=107163.
- [19] [Online]. Available : <http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php/tool/39-2009-06-05-03-28-18/218-scanning-electron-microscopy.html>.
- [20] รัตติกาล ชันธุ์เครือ. 2550. ระบบนำส่งที่มีพอลิเมอร์เป็นตัวกลาง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [21] [Online]. Available : http://www.sci.nu.ac.th/slc/tools.php?tool_ID=7
- [22] Emin Selahattin Umdü, Mert Tuncer, Erol Seker. 2008. Transesterification of *Nannochloropsis oculata* microalga's lipid to biodiesel on Al₂O₃ supported CaO and MgO catalysts. 2828–2831
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] ณัฐพงศ์ เสนาธิบดี และ วิชาน เกียรติอุบลไพบูล. 2544. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 3-15
- [26] [Online]. Available : <http://www.material.chula.ac.th/RADIO44/february/radio2-5.htm>
ทหารลาดกระบัง. 3-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ก-1 แสดงการคำนวณหาอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล

อัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเป็น 1:12

น้ำมัน 874 กรัม ใช้เมทานอล $12 \times 32 = 384$ กรัม

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

ก-2 การหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แน่นอน

เตรียมสารละลาย NaOH 0.25 N โดยชั่ง NaOH 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 mL นำมาไทเทรตกับ KHP 20 mL

ตารางที่ ก-1 แสดงปริมาตรสารละลาย KHP ที่ใช้ในการไทเทรตเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

น้ำหนัก KHP (กรัม)	KHP (นอร์มอล)	NaOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)	NaOH (นอร์มอล)
1.0228	0.2504	20.35	0.2461
1.0227	0.2504	20.40	0.2451
1.0268	0.2514	20.50	0.2453
	เฉลี่ย		0.2455

ตัวอย่างการคำนวณ

- การหาความเข้มข้นของสารละลาย KHP

$$\text{จาก } g/Mw = NV/1000$$

$$1.0228/204.22 = N(20)/1000$$

$$N = 0.2504 \text{ นอร์มอล}$$

- การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH

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

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$N_1 (20.60) = (0.2504) (20)$$

$$N_1 = 0.2461 \text{ นอร์มอล}$$

ความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH = $(0.2461 + 0.2451 + 0.2453) / 3 = 0.2455$ นอร์มอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3 การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

ตารางที่ ก-2 แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระในรูปของลอริกและปาล์มเมติก

น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	NaOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)	กรดไขมันอิสระ (%)	
		ในรูปของลอริก	ในรูปของปาล์มเมติก
7.07	0.71	0.49	0.63
7.05	0.70	0.49	0.62
7.09	0.70	0.48	0.62
เฉลี่ย		0.49	0.62

ตัวอย่างการคำนวณ

- กรดไขมันอิสระในรูปของลอริก(%)

$$= (\text{ปริมาณ NaOH} \times N \times 20.0) / \text{น้ำหนักน้ำมัน}$$

$$= (0.71 \times 0.2455 \times 20.0) / 7.07$$

$$= 0.49 \%$$

เฉลี่ย = $(0.49+0.49+0.48) / 3$

$$= 0.49 \%$$

- กรดไขมันอิสระในรูปของปาล์มเมติก(%)

$$= (\text{ปริมาณ NaOH} \times N \times 25.6) / \text{น้ำหนักน้ำมัน}$$

$$= (0.71 \times 0.2455 \times 25.6) / 7.07$$

$$= 0.63 \%$$

เฉลี่ย = $(0.63+0.62+0.62) / 3$

$$= 0.62 \%$$

ก-4 การหาปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอน Ca(OH)_2

- หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M

ชั่ง NaOH 20.0245 g ละลายในน้ำกลั่น ใส่ขวดวัดปริมาตร 1000 ml ชั่ง KHP 4.0843 g ละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปิเปตใส่ขวดรูปชมพู่ 10 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 แสดงปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตเพื่อหาปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในการละลายเปลือกไข่และปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอน Ca(OH)_2

ขวดที่	NaOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
1	4.20
2	4.20
3	4.20

ความเข้มข้น KHP ; $\text{g/MW} = \text{MV}/1000$

$$4.0843/204.23 = \text{M}(100)/1000$$

$$\text{M} = 0.2000 \text{ โมลาร์}$$

\therefore ความเข้มข้นของ KHP เท่ากับ 0.2000 N

ความเข้มข้น NaOH ; $M_{\text{KHP}} V_{\text{KHP}} = M_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}}$
 $(0.2000 \text{ M})(10\text{ml}) = M_{\text{NaOH}} (4.20 \text{ ml})$

$$M_{\text{NaOH}} = 0.4762 \text{ โมลาร์}$$

\therefore ความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 0.4762 N

- หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 N

เจือจางสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 12 เทา

ตารางที่ ก-4 แสดงปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

ขวดที่	NaOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
1	9.20
2	9.20
3	9.10

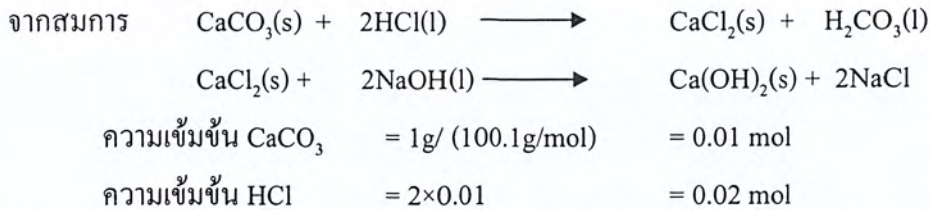
ความเข้มข้น HCl ; $M_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} = M_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}}$

$$(0.4762 \text{ M})(9.17 \text{ ml.}) = M_{\text{HCl}}(10 \text{ ml.})$$

$$M_{\text{HCl}} = 0.4367 \text{ โมลาร์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณี่ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\therefore ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก เท่ากับ $0.4367 \text{ M} \times 12 = 5.2404 \text{ N}$



ถ้า HCl ความเข้มข้น 5.2404 M จำนวน $(0.02 \text{ mol}) / (5.5608 \text{ mol/L}) = 3.82 \times 10^{-3} \text{ L} = 3.82 \text{ ml}$

ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการละลาย CaCO_3

ละลาย CaCO_3 1 g ด้วย HCl 5.2404 M จำนวน 3.82 ml

ละลาย CaCO_3 20 g ด้วย HCl 5.2404 M จำนวน $3.82 \times 20 = 76.4 \text{ ml}$

∴ ละลาย CaCO_3 50 g ด้วย HCl 5.2404 M จำนวน 76.4 ml

ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4762 N ที่ใช้ในการตกตะกอน $\text{Ca}(\text{OH})_2$

$$\begin{aligned} M_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} &= M_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} \\ (0.4762 \text{ M})(V_{\text{NaOH}}) &= (5.2404 \text{ M})(76.4 \text{ ml.}) \\ V_{\text{NaOH}} &= 840.75 \text{ ml.} \end{aligned}$$

∴ ตกตะกอนใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 840.75 ml.

ก-5 การดูดซับของแคลเซียมออกไซด์บนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์

แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากการนำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาละลายแคลเซียมคาร์บอเนตจากนั้นตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากนั้นนำไปเผาเพื่อเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์

ตารางที่ ก-5.1 แสดงน้ำหนักของแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ (จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์)

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนนำไป ตกตะกอน CaO (กรัม)	น้ำหนักหลังนำไป ตกตะกอน CaO (กรัม)	น้ำหนักของ CaO (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การ ดูดซับ
1	1.0188	1.2533	0.2450	24.05
2	1.0243	1.3831	0.3588	35.03
3	1.0126	1.2315	0.2189	21.62
4	1.1573	1.6452	0.4879	42.16
5	1.0642	1.4203	0.3561	31.65
6	1.1252	1.5614	0.4362	38.77
7	1.0437	1.2693	0.2256	21.62
เปอร์เซ็นต์การดูดซับเฉลี่ย				30.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาศึกษาเท่านั้น ไม่ควรออกตีพิมพ์หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีข้อสงสัยใดๆ กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากการนำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาละลายแคลเซียมคาร์บอเนตได้ตะกอนแคลเซียมคลอไรด์ จากนั้นนำไปเผาเพื่อเปลี่ยนแคลเซียมคลอไรด์ให้เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ ก-5.2 แสดงน้ำหนักของแคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ (จากแคลเซียมคลอไรด์)

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนตกตะกอนCaO (กรัม)	น้ำหนักหลังตกตะกอนCaO (กรัม)	น้ำหนัก CaO (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ
1	1.0124	1.1685	0.1561	15.42
2	1.0465	1.2716	0.2251	21.51
3	1.1723	1.4386	0.2663	22.72
4	1.0102	1.2254	0.2152	21.30
5	1.0259	1.3786	0.3527	34.38
6	1.1213	1.3281	0.2068	18.45
7	1.0426	1.3072	0.2646	25.38
เปอร์เซ็นต์การดูดซับเฉลี่ย				22.73

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเมื่อใช้ $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา	1 กรัม	ใช้น้ำมัน	100 กรัม
ตัวเร่งปฏิกิริยา	0.2450 กรัม	ใช้น้ำมัน	24.5 กรัม
อัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเป็น 1:12			
น้ำมัน 874 กรัม	ใช้เมทานอล	12×32	= 384 กรัม
น้ำมัน 24.5 กรัม	ใช้เมทานอล	$(384 \times 24.5) / 874$	= 10.76 กรัม

ตารางที่ ก-5.3 แสดงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมัน และเมทานอล ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์)

เปอร์เซ็นต์ตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณเมทานอล (กรัม)
1%	0.2450	24.50	10.76
2%	0.3588	17.9	7.87
3%	0.4879	16.3	7.2
4%	0.4362	10.905	4.8

ตารางที่ ก-5.4 แสดงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมัน และเมทานอล ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (จากแคลเซียมคลอไรด์)

เปอร์เซ็นต์ตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณเมทานอล (กรัม)
1%	0.2251	22.51	9.89
2%	0.2646	13.23	5.82
3%	0.2663	8.77	3.85
4%	0.3527	8.82	3.79

ก-6 การหาปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ [38]

เทคนิค $^1\text{H-NMR}$ เป็นการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ (% Yield) ของเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์ ซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก



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

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \% \text{เมทิลเอสเทอร์} &= \frac{100 \times (2 \times \text{พื้นที่ใต้พีคของ } -\text{OCH}_3)}{3 \times \text{พื้นที่ใต้พีคของ } \alpha\text{-CH}_2} \\
 &= \frac{100 \times (2 \times 2.606)}{3 \times 1.751} \\
 &= 99.22 \%
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลการทดลอง

ข-1 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่ง และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ ข-1 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชม.)	พื้นที่ใต้พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ใต้พีคของ -CH ₂	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์
10 min	3.34	2.20	100
20 min	3.94	2.60	100
30 min	2.78	1.84	100
1 hour	2.66	1.75	100
2 hour	2.81	1.81	100
3 hour	2.81	1.81	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่ง และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ ข-2 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (ชม.)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา											
	1%wt			2%wt			3%wt			4%wt		
	พื้นที่ได้ ฟิคของ -OCH ₃	พื้นที่ได้ ฟิคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์ (%)	พื้นที่ได้ ฟิคของ -OCH ₃	พื้นที่ได้ ฟิคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์ (%)	พื้นที่ได้ ฟิคของ -OCH ₃	พื้นที่ได้ ฟิคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์ (%)	พื้นที่ได้ ฟิคของ -OCH ₃	พื้นที่ได้ ฟิคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์ (%)
10 min	0.428	1.406	20.29	0.690	1.541	29.85	0.642	1.380	31.01	0.913	1.641	37.09
20 min	0.819	1.374	39.74	0.848	1.631	34.66	0.711	1.340	35.37	2.261	1.761	85.59
30 min	0.972	1.543	41.99	0.769	1.375	37.28	0.779	1.380	37.63	1.996	1.632	81.54
1 hour	1.069	1.410	50.54	0.846	1.542	37.35	0.948	1.478	42.76	2.013	1.558	86.14
2 hour	0.926	1.352	45.66	1.096	1.311	55.73	2.487	1.664	99.64	2.261	1.707	88.30
3 hour	1.038	1.324	52.27	1.630	1.615	67.29	2.380	1.641	96.34	2.071	1.501	91.98

ข-3 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่ง และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ ข-3 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ดูดซับบนรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

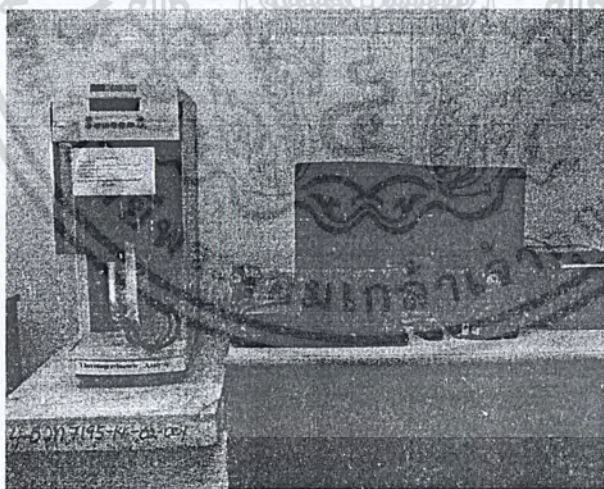
เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (ชม.)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา											
	1%wt			2%wt			3%wt			4%wt		
	พื้นที่ได้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ได้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์ (%)	พื้นที่ได้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ได้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์ (%)	พื้นที่ได้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ได้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์ (%)	พื้นที่ได้ พีคของ -OCH ₃	พื้นที่ได้ พีคของ -CH ₂	ร้อยละ ของ เมทิล เอสเทอร์ (%)
10 min	0.01	1.49	0.63	0.00	1.56	0.00	0.296	1.238	15.94	0.25	1.35	12.18
20 min	0.00	1.413	0.00	0.05	1.54	1.99	0.32	1.432	15.09	0.77	1.53	33.53
30 min	0.06	1.64	2.40	0.00	2.30	0.00	0.641	1.64	25.95	0.60	1.93	20.52
1 hour	0.13	1.53	5.71	0.06	1.46	2.51	0.709	1.436	32.92	2.96	2.21	89.42
2 hour	0.167	1.276	8.73	0.27	1.38	13.08	1.42	1.782	53.12	2.7	1.846	97.51
3 hour	0.271	1.57	11.58	0.47	1.61	19.69	2.96	2.21	89.42	2.668	1.801	98.76

ภาคผนวก ค.

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

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

1. เปิดวาล์วที่ถังแก๊ส N_2 และถัง Air
2. เปิดวาล์วสำหรับให้แก๊สเข้าเครื่อง TGA โดยตั้งฟาส์ตีค่าปรับไปที่ความดัน 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/ Stop a Method เพื่อที่จะสั่งให้อุณหภูมิขึ้นตามต้องการ

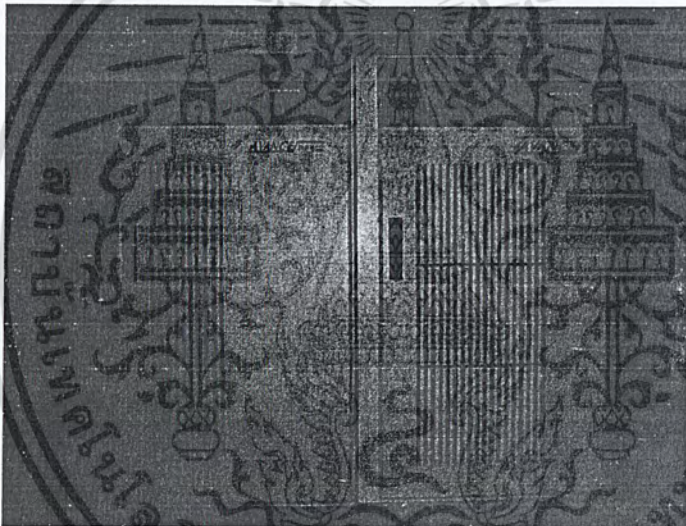


รูปที่ ค-1 เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอนาไลเซอร์ (TGA) Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2 วิธีการใช้เครื่องทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (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 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ Bruker รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ต สารตัวอย่างถูกละลายโดยใช้ตัวทำละลาย CDCl_3 โดยมี TMS เป็นสารมาตรฐาน สเปกตรัม ^1H NMR ปรากฏตำแหน่งสัญญาณโปรตอนของ CHCl_3 ที่ 87.26 ppm

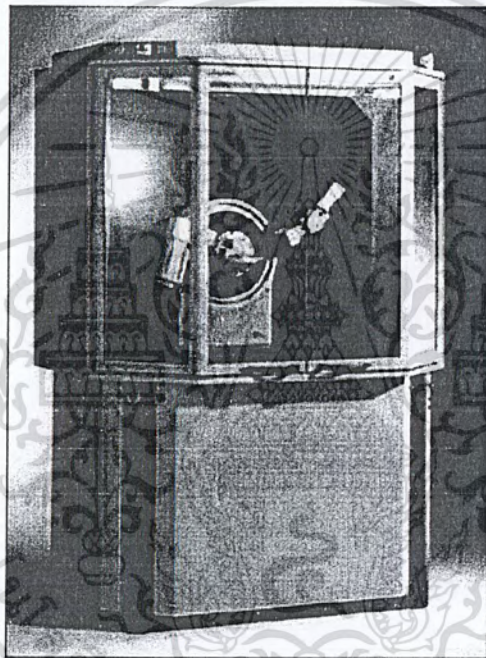


รูปที่ ก-2 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ Bruker รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-3 วิธีการใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) Bruker รุ่น D8 Advance

1. การเตรียมตัวอย่าง ต้องนำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดเป็นผง บรรจุลงในเพลท
2. นำเพลทที่บรรจุตัวอย่างเข้าเครื่อง Diffractometer ในขั้นตอนนี้เราสามารถที่จะกำหนดเวลาในการตรวจวัดความเข้มของรังสีเลี้ยวเบน จากนั้นจะได้ข้อมูลตำแหน่งมุมที่เกิดการเลี้ยวเบนและค่าความเข้มสัมพัทธ์ของเส้นการเลี้ยวเบน
3. นำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EVA จะเปรียบเทียบกับแพทเทิร์นมาตรฐานที่เก็บรวบรวมไว้แล้ว สามารถจำแนกชนิดของสารประกอบนั้นได้



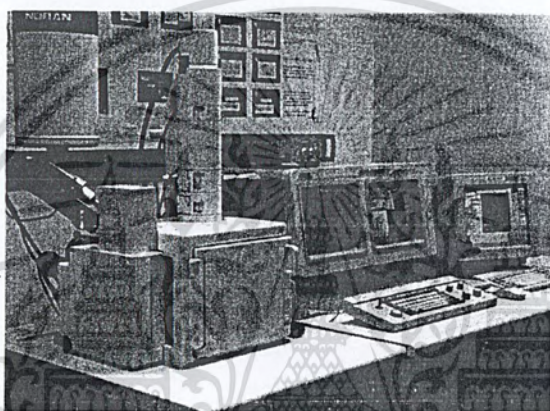
รูปที่ ค-3 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน Bruker รุ่น D8 Advance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-4 วิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope)

EDAX รุ่น LEO 1455 VP

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



รูปที่ ค-4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด EDAX รุ่น LEO 1455 VP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้