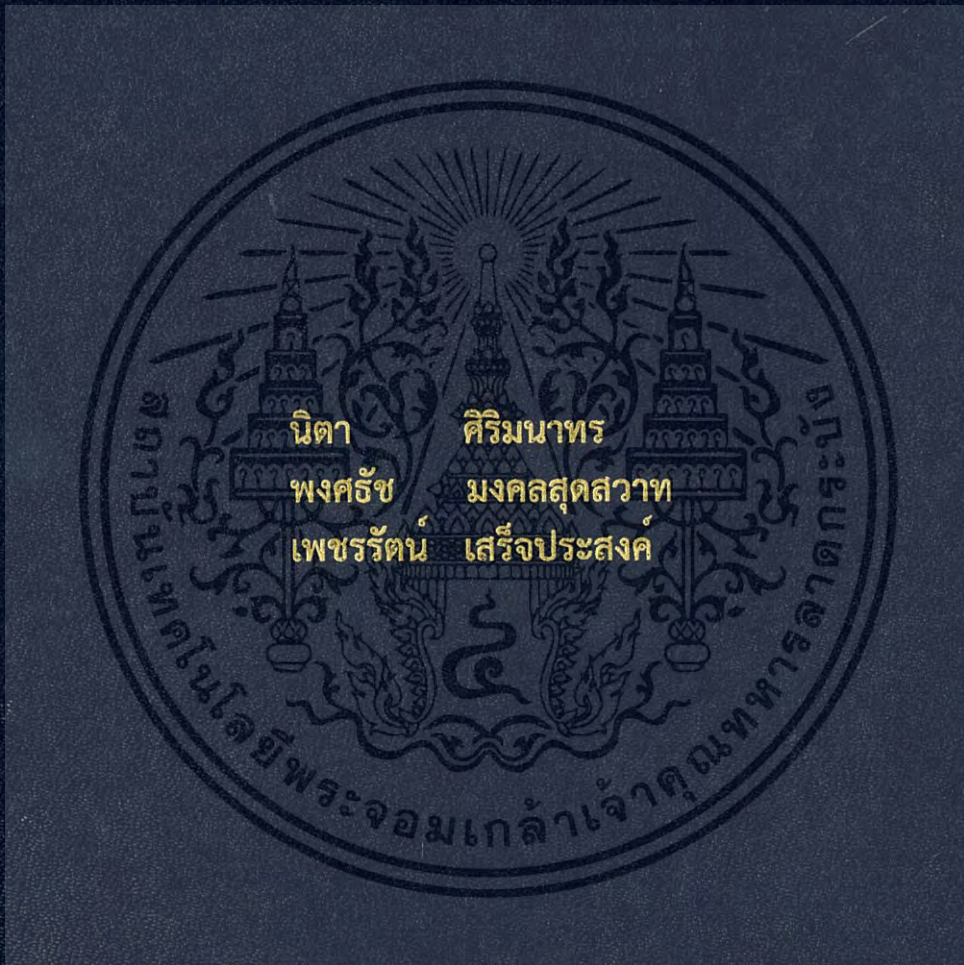


การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้
ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

Synthesis of Biodiesel from Palm Oil using
Layered Double Hydroxides as Catalysts



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้
ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

Synthesis of Biodiesel from Palm Oil using
Layered Double Hydroxides as Catalysts



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Synthesis of Biodiesel from Palm Oil using Layered Double Hydroxides as Catalysts



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

Synthesis of Biodiesel from Palm Oil using Layered Double Hydroxides as Catalysts

ชื่อนักศึกษา นางสาวนิตา ศิริมนาท รหัสนักศึกษา 57050438
นายพงศัช มงคลสุดสวาท รหัสนักศึกษา 57050463
นางสาวเพชรรัตน์ เสรีจประสงค์ รหัสนักศึกษา 57050480

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ณัฐธิดา นุ่มวงศ์ ประธานกรรมการ	
ดร.พัชราภรณ์ วีระชวนะศักดิ์ กรรมการ	พัชราภรณ์ วีระชวนะศักดิ์
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์			
	Synthesis of Biodiesel from Palm Oil using Layered Double Hydroxides as Catalysts			
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนิตา	ศิริมาทร	รหัสนักศึกษา	57050438
	นายพงศัช	มงคลสุดสวาท	รหัสนักศึกษา	57050463
	นางสาวเพชรรัตน์	เสรีจประสงค์	รหัสนักศึกษา	57050480
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)			
ภาควิชา	เคมี			
คณะ	วิทยาศาสตร์			
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)			
ปีการศึกษา	2560			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล			

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มและเมทานอลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิดด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม ได้แก่ แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม (Mg-Al), ลิเทียม-อะลูมิเนียม (Li-Al) และแมกนีเซียม-เหล็ก (Mg-Fe) ที่อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ 1:1 จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ทางกายภาพและทางเคมีด้วยเทคนิค XRD, XRF, SEM, BET และ CO₂-TPD นอกจากนี้ยังศึกษาผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา จากผลการทดลอง พบว่า สภาวะที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ชนิดแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม (Mg-Al) ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al เท่ากับ 2:1 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 15:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ทำให้ได้ร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 84.86

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล เมทิลเอสเทอร์ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยูทิตเห็นจำเป็นต้องขอขานการดำเนินการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Synthesis of Biodiesel from Palm Oil using Layered Double Hydroxides as Catalysts		
Students	Ms.Nita	Sirimanathon	Student ID 57050438
	Mr.Pongsatat	Mongkolsootsawat	Student ID 57050463
	Ms.Phetcharat	Setprasong	Student ID 57050480
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2017		
Advisor	Dr.Amnat Permsubscul		

Abstract

This special project aimed to study the optimum condition for production of biodiesel or methyl ester from palm oil and methanol via transesterification reaction using Layered Double Hydroxides (LDH) as heterogeneous base catalysts. Three types of LDH catalysts: Mg-Al, Li-Al and Mg-Fe with mole ratio of metal 1:1 were prepared. Then, the physical and chemical characteristics of the synthesized catalysts were determined by XRD, XRF, SEM, BET and CO₂-TPD technique. Moreover, the effects of mole ratio of metal in catalyst, mole ratio of methanol to palm oil, amount of catalyst and reaction time were also studied. From the experiment, it can be seen that Magnesium-Aluminum LDH (Mg-Al) calcined at a temperature of 450 °C for 3 hours shows the best catalytic activity. The best condition for the synthesis of methyl ester is mole ratio of Mg/Al 2:1, 2 wt% of catalyst, 15:1 mole ratio of methanol to oil and 2 hours for reaction time. It was found that the percentage of methyl ester is 84.86%.

Keyword : Biodiesel, Methyl ester, Transesterification, Layered Double Hydroxides

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง และตรวจทานแก้ไขโครงการฉบับนี้ ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.ณัฐธิดา นุ่มวงศ์ และ ดร.พัชราภรณ์ วีระชวณะศักดิ์ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อชี้แนะ และตรวจสอบข้อมูลต่างๆ ในโครงการฉบับนี้ให้มีความถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำ

ขอขอบพระคุณ คุณสุภัทร บานเย็น นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ขอขอบพระคุณ คุณพีรพัฒน์ ไกรวัฒน์วงศ์ นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณพื้นที่ผิว

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณตำแหน่งที่รองไว CO₂-TPD และพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีของไบโอดีเซลด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องเอกซเรย์ดีฟแฟรคโตมิเตอร์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และสารเคมี

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวอันเป็นที่รักสำหรับกำลังใจและการสนับสนุนที่มีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่ทุกคนที่กรุณาให้คำแนะนำ และคอยช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ สาขาเคมีอุตสาหกรรม ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจอยู่เสมอๆ

นางสาวนิตา

ศิริมณฑร

นายพงศรัช

มงคลสุดสวาท

นางสาวเพชรรัตน์

เสรีจประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ไบโอดีเซล.....	6
2.2 ปาล์มน้ำมัน.....	7
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช.....	8
2.4 ปฏิกริยาที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	9
2.4.1 การนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงและการผสม (Direct use and blending).....	9
2.4.2 การทำไมโครอิมัลชัน (Microemulsion).....	10
2.4.3 การแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking or Pyrolysis).....	10
2.4.4 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน.....	11
2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	15
2.5.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst).....	15
2.5.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst).....	16
2.6 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxide, LDH)	17
2.7 สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่สำคัญของไบโอดีเซล.....	18
2.7.1 ค่าความร้อน (Heating Value).....	18
2.7.2 จุดวาบไฟ (Flash Point).....	18
2.7.3 ค่าความเป็นกรด (Acid value)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.4 เลขไอโอดีน (Iodine value).....	19
2.7.5 ความหนืด (Viscosity).....	19
2.8 ประโยชน์ของไบโอดีเซล	20
2.8.1 ประโยชน์ด้านการรักษาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ	20
2.8.2 ประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์.....	20
2.8.3 ประโยชน์ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ	20
2.8.4 ประโยชน์ด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์	20
2.9 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์.....	21
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	25
3.1 สารเคมี	25
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	25
3.3 วิธีการทดลอง.....	26
3.3.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม	27
3.3.2 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH.....	29
3.3.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	32
3.3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์	35
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	38
4.1 การศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา	38
4.1.1 ลักษณะโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	38
4.1.2 องค์ประกอบของธาตุบนตัวเร่งปฏิกิริยา.....	41
4.1.3 ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	42
4.1.4 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	43
4.1.5 ความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	44
4.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	45
4.2.1 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์	45
4.2.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	47
4.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.4 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์	50
4.2.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์	51
4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ทางกายภาพและเคมีของเมทิลเอสเทอร์.....	53
4.3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)	53
4.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติก เรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer, FT-NMR)	56
4.3.3 การทดสอบค่าความเป็นกรดและเลขไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก.....	65
ภาคผนวก ก.....	66
ภาคผนวก ข.....	67
ภาคผนวก ค.....	69
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชต่างๆ	9
2.2 สมบัติของไหลภาวะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับแก๊สและของเหลว	14
2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติและปัจจัยต่างๆในการเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และวิวิธพันธ์	16
2.4 แสดงค่ามาตรฐานของสมบัติด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล	19
2.5 เปรียบเทียบข้อดีของการใช้ไบโอดีเซลเทียบกับน้ำมันดีเซล	21
2.6 แสดงการเปรียบเทียบผลการใช้ไบโอดีเซล 100% (B100) และน้ำมันดีเซลซึ่งผสมด้วย ไบโอดีเซล 20% (B20)	22
3.1 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่ทำการสังเคราะห์	27
3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ..	30
3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่มีผลต่อร้อยละ ของเมทิลเอสเทอร์	31
3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่มีผลต่อร้อยละ ของเมทิลเอสเทอร์	31
3.5 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ..	31
3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ..	32
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ด้วยเทคนิค เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy, XRF)	41
4.2 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET	43
4.3 ผลการวิเคราะห์ความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ด้วยเทคนิค CO ₂ -TPD	44
4.4 ผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์	45
4.5 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์	47
4.6 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1)	48
4.7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1)	50
4.8 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1)	52
4.9 แสดงหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์ที่การดูดกลืนแสงที่เลขคลื่นต่างๆ	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

4.10 ค่าความเป็นกรดและเลขไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะต่างๆ..... 59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ผลปาล์มน้ำมัน.....	7
2.2 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์.....	8
2.3 ปฏิกริยาการแตกสลายด้วยความร้อน.....	10
2.4 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	11
2.5 กลไกของปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	12
2.6 กลไกของปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	13
2.7 เฟสไดอะแกรมของของไหลเหนือวิกฤต.....	14
2.8 โครงสร้างของ Layered double hydroxides.....	17
3.1 การตั้งอุปกรณ์สำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	29
3.2 การแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรอลในกรวยแยก.....	30
3.3 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD).....	32
3.4 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF).....	33
3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM).....	33
3.6 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวตามวิธีของ BET (Brunauer-Emmett-Teller Analyzer).....	34
3.7 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณตำแหน่งที่ว่องไว CO ₂ -TPD (CO ₂ -temperature-programmed desorption).....	34
3.8 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR).....	35
3.9 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-NMR).....	35
4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ LDH ชนิด Mg-Al (1:1), Mg-Fe (1:1) และ Li-Al (1:1) ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์.....	38
4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ LDH ชนิด Mg-Al (1:1), Mg-Fe (1:1) และ Li-Al (1:1) แคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส.....	39
4.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวเร่งปฏิกริยา Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 แคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส.....	40
4.4 ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกริยา LDH แคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส.....	42
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดตัวเร่งปฏิกริยา LDH ที่ผ่านการแคลไซน์และไม่ผ่านการแคลไซน์ ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ MgO โดยที่ M แทนด้วย Mg	46
4.7 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ Mg-Al LDH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	47
4.8 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1).....	49
4.9 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1).....	51
4.10 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1)	52
4.11 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มจากเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	53
4.12 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH (2:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม เท่ากับ 15:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง.....	54
4.13 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Li-Al LDH (1:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม เท่ากับ 12:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง.....	54
4.14 สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มจากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์..	56
4.15 FT-NMR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH (2:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม เท่ากับ 15:1 และเวลาในการทำ ปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง	57
4.16 FT-NMR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Li-Al LDH (1:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม เท่ากับ 12:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง.....	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันทั่วโลกและประเทศไทยกำลังประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง ด้วยเหตุนี้จึงพยายามหาแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงอื่นมาใช้ทดแทน เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และเป็นผู้นำด้านการผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์เกษตรหลายชนิด เช่น ปาล์ม มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น ซึ่งการเพาะปลูกพืชพลังงานนอกเหนือจากการนำไปใช้เพื่อการบริโภคแล้ว การนำพืชเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในเชิงพลังงานน่าจะเป็นแนวทางที่ดีเพื่อให้ประเทศได้มีการผลิตพลังงานใช้เอง และเพื่อลดค่าใช้จ่ายการนำเข้าเชื้อเพลิงราคาแพงจากต่างประเทศ เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า การวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้น้ำมันพืชทดแทนน้ำมันดีเซลมีมานานแล้วโดยเริ่มจากการนำน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งตั้งแต่ก่อนช่วงวิกฤตพลังงานในระหว่างทศวรรษที่ 1970 ถึงต้นทศวรรษที่ 1980 ซึ่งการทดลองครั้งนั้นได้สร้างความตื่นตัวในเรื่องเชื้อเพลิงทดแทน [1] ซึ่งก่อนหน้านั้นในปี ค.ศ. 1890 ดร. รูดอล์ฟ ดีเซล (Rudolf Diesel) บิดาแห่งเครื่องยนต์ดีเซล ได้ทำการทดลองใช้น้ำมันพืชในการเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression ignition engine) ซึ่งในการทดลองดร. รูดอล์ฟ ใช้น้ำมันจากถั่วลิสงในการทดลองกับเครื่องยนต์ แต่ไม่ได้รับการยอมรับนัก เนื่องจากประสบปัญหาเรื่องที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้การฉีดของหัวฉีดมีประสิทธิภาพไม่ดี เป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ทำให้เกิดการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ต่ำและช้ามาก ซึ่งส่งผลให้เกิดการจุดระเบิดได้ยากและหลงเหลือคราบเขม่าที่เกาะบนหัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวนและวาล์ว จากคุณสมบัติข้างต้นทำให้เกิดความลำบากในการใช้งานน้ำมันพืชทั้งหมดในการเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แต่หลังจากปี ค.ศ. 1940 น้ำมันพืชได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 และมีการพัฒนาเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงเรื่อยมาจนถึง ณ ปัจจุบัน ซึ่งมีการพัฒนาอยู่ในรูปของไบโอดีเซล จึงเป็นที่ยอมรับและได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น [2]

การพัฒนาไบโอดีเซลสามารถพบได้ใน 28 ประเทศ โดยมีเยอรมันและฝรั่งเศสเป็นประเทศสำคัญในการผลิตไบโอดีเซลของโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 ประเทศญี่ปุ่นได้เริ่มผลิตไบโอดีเซลขึ้นในกรุงโตเกียวโดยตั้งเป้าหมายว่าจะผลิตไบโอดีเซลให้ถึงระดับการค้า โดยปัจจุบันรถที่ใช้วิ่งใน 220 จังหวัดนั้นจะใช้น้ำมันไบโอดีเซลคิดเป็นร้อยละ 100 และมีการทดลองต่อเนื่องโดยให้รถประจำทางใน

81 จังหวัดใช้ไบโอดีเซลในลักษณะการผสมระหว่างไบโอดีเซลร้อยละ 20 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลนั้นสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชด้วยกระบวนการเคมีที่ชื่อว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Alkaline catalyst) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสูง (Strong acid catalyst) แต่โดยทั่วไปในการผลิตไบโอดีเซลนิยมใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากให้ผลผลิตสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น เบสที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เนื่องจากให้ความเป็นเบสสูงและสามารถรวมเข้ากับแอลกอฮอล์เป็นเนื้อเดียวกัน จึงเรียกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวแม้จะทำให้ได้ผลผลิตสูง แต่มีข้อเสียในกระบวนการผลิต คือ ถ้ามีน้ำปะปนในน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบ น้ำจะไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้กับปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) มีผลทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบางส่วนไปรวมตัวกับกรดไขมันเกิดเป็นสบู่ (Soap) ทำให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบสเหลือน้อยลงสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ส่งผลให้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้น้อยกว่าที่คาดหวัง นอกจากนี้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำให้เป็นกลาง จะต้องใช้ปริมาณน้ำจำนวนมากเพื่อชะล้างความเป็นเบสออกจากไบโอดีเซล ดังนั้นจึงสิ้นเปลืองน้ำและก่อให้เกิดน้ำทิ้งจำนวนมาก [3]

เพื่อที่จะแก้ปัญหาที่กล่าวไปข้างต้น จึงทำการศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalyst) ชนิดต่างๆ ทั้งที่เป็นกรดหรือเบสมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ส่วนใหญ่เป็นของแข็งในการเร่งปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นอยู่ในวัฏภาคก๊าซหรือของเหลว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากันที่พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ออกไซด์ของโลหะ ซีโอไลต์ โลหะทรานซิชันและเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับสารตั้งต้น ลดปัญหาการเกิดสบู่และการสิ้นเปลืองน้ำล้าง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์นี้สามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายโดยการกรอง จึงถือว่าเป็นกระบวนการผลิตที่ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการล้าง ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนในการผลิตและลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลได้อีกทางหนึ่ง [4]

ปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมาที่มีพื้นที่ผิวสูง และมีความเป็นเบสหรือกรดที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxide, LDH) เป็นวัสดุสังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจโดย LDH เป็นของแข็งที่มีโครงสร้างเป็นชั้น (Layer structure) ที่มีสูตรโครงสร้าง $[M(II)_{1-x}M(III)_x(OH)_2]^{x+}[A_{x/n}^{n-}]^x \cdot mH_2O$ เมื่อ M(II) และ M(III) เป็นไอออนของโลหะที่มีประจุ 2+ และ 3+ ตามลำดับ A^{n-} คือ ไอออนลบที่อยู่ระหว่างชั้น (Interlayer anion) และ x อยู่ในช่วง 0.2-0.4 โครงสร้างของ LDH คล้ายๆ กับแร่ brucite ($Mg(OH)_2$) ที่มีโครงสร้างเป็นชั้นๆ เมื่อถูกแทนที่ไอออนของโลหะประจุ 2+ บางส่วนด้วยไอออนของโลหะประจุ 3+ ก็จะเกิดประจุบวกขึ้นที่พื้นผิวของ layer ดังนั้น interlayer anion และโมเลกุลของน้ำจึงเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นเพื่อดุลประจุของ LDH ให้เป็นกลาง การเปลี่ยนปริมาณไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโลหะประจุ $3+$ (x) จะเป็นการปรับปรุงความเป็นเบสของ LDH เนื่องจากระยะห่างระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีความแคบประมาณ 2.9 อังสตรอม ทำให้ไม่สามารถใช้เร่งปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ จึงมีงานวิจัยหลายงานศึกษาการสอดแทรกไอออนประจุลบของสารอินทรีย์ เช่น แอลคอกไซด์ ซึ่งมีความเป็นเบสสูงเข้าไปในโครงสร้างของเลเยอร์ ดับเบิลไฮดรอกไซด์ เพื่อขยายระยะห่างระหว่างชั้น (Interface spacing) ของโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งแอลคอกไซด์สามารถสอดแทรกเข้าไปในโครงสร้างเลเยอร์ ดับเบิลไฮดรอกไซด์ได้ง่าย นอกจากนี้จะช่วยขยายระยะห่างช่องว่างระหว่างชั้นแล้ว ภายใต้สภาวะสอดแทรกที่เหมาะสมแอลคอกไซด์ที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์จะประพฤติตัวเป็นนิวคลีโอไฟล์ (nucleophile) ที่ดีและช่วยเพิ่มสมบัติความเป็นเบส ซึ่งจะช่วยให้เร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันให้ดียิ่งขึ้นและระยะห่างช่องว่างระหว่างชั้นที่เหมาะสมจะช่วยให้ควบคุมการเลือกจำเพาะ (selectivity) ของผลิตภัณฑ์ได้ [5]

จากประโยชน์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในขั้นต้นนี้ ทำให้ทางคณะผู้วิจัยมีความสนใจในการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ คือ เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ เพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มกับเมทานอลผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ ชนิดของโลหะที่ใช้สังเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยใช้เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเบส
- 2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ ได้แก่ ชนิดของโลหะที่ใช้สังเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนโดยโมลของโลหะในเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม (Mg-Al), แมกนีเซียม-เหล็ก (Mg-Fe) และลิเทียม-อะลูมิเนียม (Li-Al) ที่อัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่ 1:1 และ Mg-Al ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al 2:1, 3:1 และ 4:1
- 2) ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์
 - 2.1) ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al, Mg-Fe และ Li-Al ที่อัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่ 1:1
 - 2.2) อุณหภูมิในการแคลไซน์ตัวเร่งปฏิกิริยา 450 °C และไม่ผ่านการแคลไซน์
 - 2.3) อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 8:1, 10:1, 12:1, 15:1 และ 20:1
 - 2.4) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%, 2%, 3% และ 5%wt
 - 2.5) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง
 - 2.6) อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ของตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1
- 3) ศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ ได้แก่
 - 3.1) องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer, XRD)
 - 3.2) พื้นผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิคบีอีที (BET Surface Area Analyzer, BET)
 - 3.3) องค์ประกอบของโลหะที่อยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)
 - 3.4) ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)
 - 3.5) ความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เทคนิค CO₂ Temperature Programmed desorption (CO₂-TPD)
- 4) ทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล ได้แก่ เลขไอโอดีนและความเป็นกรด
- 5) ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของไบโอดีเซล โดยใช้เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) และเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer, FT-NMR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ชนิดที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
- 2) ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของโลหะในเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิในการแคลไซน์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้อายุผลผลิตของไบโอดีเซลสูงที่สุด

1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน									
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	
1. ศึกษาหาข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
2. ออกแบบวิธีการทดลอง										
3. ทำวิจัยบทที่ 1, 2 และ 3										
4. ทำการทดลองสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา										
5. ตรวจสอบลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา										
6. ทำการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์										
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง										
8. สรุปและรายงานผล										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอดีเซล [6]

ไบโอดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล ซึ่งได้มาจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ โดยผ่านกระบวนการทางเคมีกับแอลกอฮอล์ หรือกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือจากน้ำมันใช้แล้ว มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยมีเบส (ด่าง) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนใหญ่นิยมใช้เมทานอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) ปฏิกิริยานี้จะเกิดผลิตภัณฑ์ที่ผสมระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอรอล จึงต้องมีการแยกชั้นกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซล แล้วนำไบโอดีเซลที่ได้มาล้างน้ำ และแยกน้ำออกจนได้ไบโอดีเซลที่บริสุทธิ์

ทั้งนี้ วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชสกัดใหม่จากปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วเหลือง ละหุ่ง งา เมล็ดทานตะวัน เป็นต้น โดยปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลที่มีศักยภาพสูงสุดในประเทศไทย เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตต่ำ ปริมาณผลผลิตสูง และราคาต่ำกว่าพืชน้ำมันอื่น จึงถูกกำหนดให้เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับผลิตไบโอดีเซล

นอกจากนี้ ไบโอดีเซลได้เป็นที่นิยมใช้ในต่างประเทศมากกว่า 20 ปี โดยในต่างประเทศมีกำลังการผลิตไบโอดีเซลหลายพันล้านลิตรต่อปี ใช้ไบโอดีเซลในสูตร B20 (ไบโอดีเซล 20% ผสมในน้ำมันดีเซล 80%) ในส่วนของประเทศไทยมีการผลิตและจำหน่ายไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์ในสูตร B5 (ไบโอดีเซล 5% ผสมในน้ำมันดีเซล 95%) ของปั้มน้ำมัน และบางจาก และยังมีการผลิตไบโอดีเซลใช้เองของชาวบ้านและชุมชน ที่รวมกลุ่มกันผลิตอีกเป็นจำนวนมาก

ไบโอดีเซลจึงเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย และยังเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาประเทศ เนื่องจากผลิตได้จากวัตถุดิบหลักที่มีอยู่แล้วในประเทศไทย ทำให้สามารถลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศ ลดการขาดดุลการค้า และเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศไทยอีกประการหนึ่งด้วย

2.2 ปาล์มน้ำมัน [6]

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชยืนต้นขนาดใหญ่ที่ผลผลิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทั้งด้าน การบริโภค อาทิ การทำน้ำมันพืช การใช้ในอุตสาหกรรมขนม และอาหารขบเคี้ยว การใช้ทำนมข้นและเนยเทียม หรือในใช้ในอุตสาหกรรมอุปโภคอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก เครื่องสำอาง และยางรถยนต์ เป็นต้น

โดยปริมาณการใช้น้ำมันปาล์มของประเทศในแต่ละปี มีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากผลปาล์มนั้น นอกจากจะมีคุณภาพดีแล้ว ยังถือได้ว่า ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่สามารถให้ผลผลิตต่อไร่สูงสุด เมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น โดยปาล์มน้ำมัน จะเริ่มให้ผลผลิตหลังปลูกลงในแปลงแล้วประมาณ 3 ปี ซึ่งจะให้ผลผลิตตลอดไปจนถึงอายุประมาณ 20-25 ปี จึงจัดได้ว่าเป็นพืชที่ให้ผลผลิตยาวนาน รวมทั้งต้นทุนการดูแลรักษา ในระยะหลังมีน้อย และไม่ยุ่งยากอีก เนื่องด้วยคุณลักษณะที่เด่นของปาล์มน้ำมัน คือ เมื่อมีอายุมากขึ้น จะมีศัตรูพืชลดลง

สำหรับพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน จะเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้น ดังนั้น จึงเจริญเติบโตได้ดีในภาคใต้ของไทย โดยบริเวณที่ปลูกมากที่สุด คือ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง และจากผลตอบแทนที่ดีกว่าพืชชนิดอื่น เช่น ยางพารา และการทำนาข้าว ทำให้เป็นแรงจูงใจที่สำคัญให้เกษตรกรหันมาให้ความสนใจปลูกกันมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันมีการศึกษาพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันอื่น ๆ อาทิ บางจังหวัดในภาคอีสาน และภาคเหนือ

ปาล์มน้ำมัน จึงนับได้ว่าเป็นพืชชนิดหนึ่งของประเทศไทย ที่มีศักยภาพมากที่สุดในการนำมาผลิตไบโอดีเซล เพื่อลดผลกระทบจากปัญหาน้ำมันปิโตรเลียมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาสูงขึ้น ซึ่งนับได้ว่าเป็นความโชคดีของประเทศไทย ที่เป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้เหมือนมีแหล่งน้ำมันอยู่บนดิน เพื่อลดการพึ่งพาการนำเข้า แถมยังช่วยส่งเสริมให้เกษตรกร มีรายได้ที่มั่นคง นำพาประเทศเจริญรุ่งเรืองต่อไป

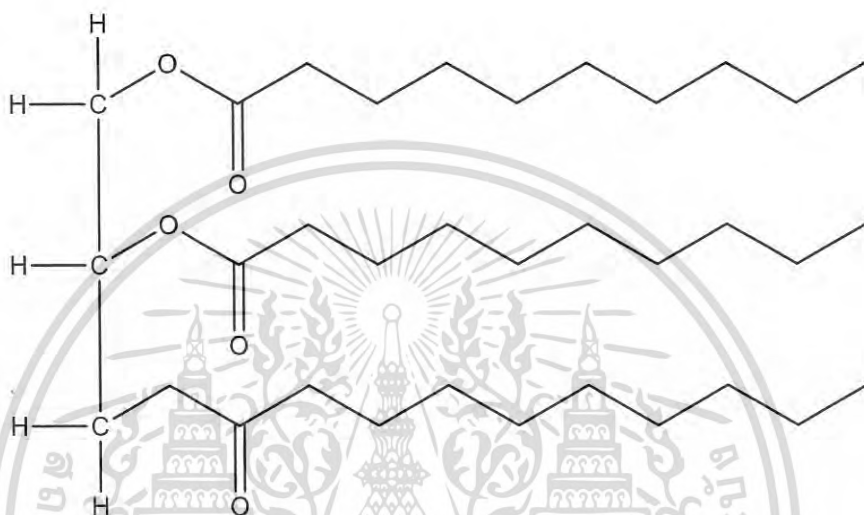


รูปที่ 2.1 ผลปาล์มน้ำมัน [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช [7]

โดยทั่วไปแล้วน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ทุกชนิดเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 10-30 ตัว น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์มีกรดไขมันชนิดต่างๆกันเป็นองค์ประกอบ โดยที่มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมีและกายภาพมีความแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ [7]

น้ำมันพืชเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์มีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 98 ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ ส่วนประกอบที่เหลือจะเป็นส่วนของ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ ซึ่งส่วนใหญ่มีคาร์บอนในกรดไขมันระหว่าง 12-18 ตัว จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันพืชแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่สูงจะมีไอโอดีนต่ำ และมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ลดลงหรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้นจะมีค่าไอโอดีนสูงขึ้นตามลำดับ น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวเมื่อสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแล้วน้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวข้น โดยทั่วไปค่าเลขไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีบอกถึงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นๆ ซึ่งบอกถึงความยากง่ายของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วย ถ้าน้ำมันมีค่าเลขไอโอดีนสูงจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันง่าย ดังนั้นควรเลือกใช้ใช้น้ำมันที่มีค่าเลขไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิงเพราะจะป้องกันการเกิดสารเหนียวเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในเครื่องยนต์เบื้องต้น

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชต่างๆ

น้ำมันชนิดดิบ	ค่า ไอโอดีน	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก						
		C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1*	C18:2*	C18:3*
น้ำมันปาล์ม	14.1- 21.0	ND-0.5	0.5-2.0	39.3- 47.5	3.5-6.0	36.0- 44.0	9.0-12.0	ND-0.5
น้ำมันปาล์มโอสีน	>56	0.1-0.5	0.5-1.5	38.0- 43.5	3.5-5.0	39.8- 46.0	10.0- 13.5	ND-0.6
น้ำมันปาล์มสเตียรีน	<48	0.1-0.5	1.0-2.0	48.0- 74.0	3.9-6.0	15.5- 36.0	3.0-10.0	0.5
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	50.0- 55.0	45.0- 55.0	14.0- 18.0	6.5-10.0	1.0-3.0	12.0- 19.0	1.0-3.5	ND-0.2
น้ำมันมะพร้าว	6.3-10.6	45.1- 53.2	16.8- 21.0	7.5-10.2	2.0-4.0	5.0-10.0	1.0-2.5	ND
น้ำมันถั่วลิสง	86-107	ND-0.1	ND-0.1	8.0-14.0	1.0-4.5	35.0- 67.0	13.0- 43.0	ND-0.3
น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	101	ND	ND	14.9	6	41.2	37.4	ND
น้ำมันเมล็ดเรป	94-120	ND	ND-0.2	1.5-6.0	0.5-3.1	8.0-60.0	11.0- 23.0	5.0-13.0
น้ำมันถั่วเหลือง	124-139	ND-0.1	ND-0.2	8.0-13.5	2.0-5.4	17.7- 28.0	49.8- 59.0	5.0-11.0

หมายเหตุ : ไม่พบ

*1 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน 1 ตำแหน่ง

*2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน 2 ตำแหน่ง

*3 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน 3 ตำแหน่ง

2.4 ปฏิบัติการใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล [8]

ไบโอดีเซลที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากน้ำมันปิโตรเลียม สามารถเตรียมได้ 4 วิธี

2.4.1 การนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงและการผสม (Direct use and blending)

ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมถือเป็นวิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชได้โดยตรงไม่ต้องเตรียมสารเคมีอื่นๆ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงความหนืด แต่ถ้าผสมมากเกินไปอาจเกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวได้ เพราะในน้ำมันพืชมีส่วนผสมของกรดไขมันอิสระที่นำไปสู่ปัญหาการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องทำให้เกิดคราบยางเหนียวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษา และปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจากการเผาไหม้ที่ทำให้เกิดคราบสะสมในเครื่องยนต์ นอกจากนี้แล้วน้ำมันพืชยังมีคุณสมบัติที่ระเหยกลายเป็นไอช้าและน้อยมาก ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยาก เครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ที่ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

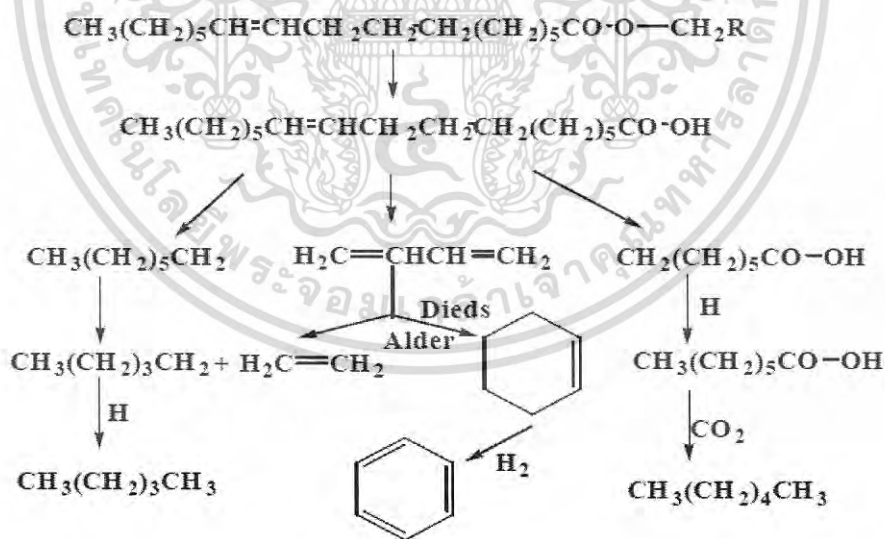
สมบูรณ์และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ และวาล์ว ทั้งนี้ในการนำน้ำมันพืชผสมกับ น้ำมันดีเซลพบว่าอัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 20:80 ตามลำดับ จะให้ผลเหมือนกับกรณีที่ใช้ น้ำมันดีเซลร้อยละ 100 ทำให้อัตราส่วนดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด

2.4.2 การทำไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล ซึ่งของเหลวทั้งสอง ชนิดนี้จะไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะกระจายอยู่ได้ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุและไม่มี ประจุ โดยเกิดในลักษณะการกระจายอนุภาคของเหลวในตัวกลางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางของเหลว อีกชนิดอย่างสมดุล มีขนาดอนุภาคในช่วง 1-150 นาโนเมตร วิธีนี้สามารถช่วยลดปัญหาความหนืด ของน้ำมันพืชได้ดีเพราะผสมด้วยตัวทำละลาย เช่น 1-บิวทานอล เมทานอล และเอทานอล แต่มักเกิด ปัญหาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ตามมา

2.4.3 การแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking or Pyrolysis)

ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนจากสารหนึ่ง ไปเป็นสารอื่นๆมากกว่าหนึ่งสาร โดยอาศัยความร้อนเพียงอย่างเดียวหรือบางครั้งอาจใช้ตัวเร่ง ปฏิกริยาร่วมด้วยแต่จะไม่ใช้ออกซิเจนหรือออกซิเจน กล่าวคือ นำน้ำมันพืชมาให้ความร้อนภายใต้สภาวะ ไร้ออกซิเจนเพื่อให้โมเลกุลของน้ำมันแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ผลที่ตามมาคือ ให้ความหนืดของ น้ำมันพืชลดลง แต่มักจะเกิดปัญหาที่สำคัญคือการควบคุมการเกิดผลิตภัณฑ์ทำได้ยาก

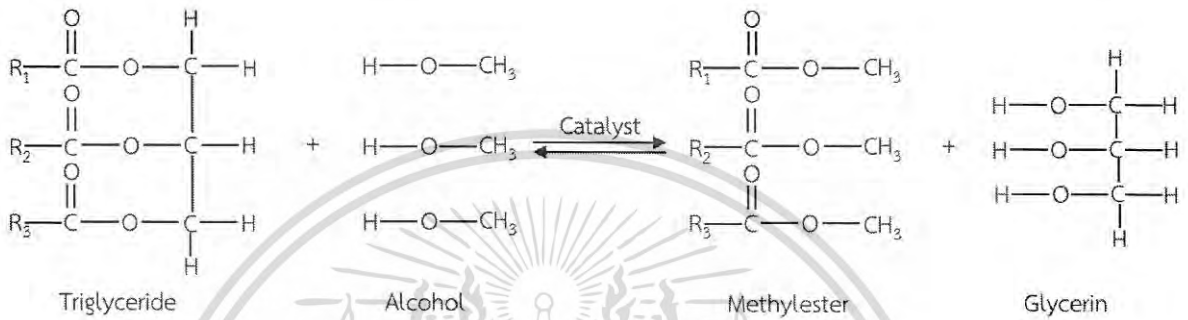


รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาการแตกสลายด้วยความร้อน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นกรดหรือด่าง โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Monoalkyl Ester) ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) หรือเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl Ester) และได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นกลีเซอรอลหรือกลีเซอรอล (Glycerine or Glycerol) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [8]

ในทางปริมาณสารสัมพันธ์ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ 3 โมลของแอลกอฮอล์ในการเกิดปฏิกิริยา แต่หากใช้ในอัตราส่วนที่สูงกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์มากขึ้น จากปฏิกิริยานี้จะเห็นว่าปฏิกิริยาสามารถผันกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์ซึ่งก็คือเมทานอลในปริมาณที่มากเกินไป จะช่วยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าได้ดี ทำให้ได้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้นตามมา ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้นี้จะมีสมบัติใกล้เคียงกับไบโอดีเซล

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นกระบวนการที่นิยมมาก เพราะวิธีไมโครอิมัลชันและวิธีการผสมน้ำมันด้วยตัวทำละลาย มักจะเกิดปัญหาในเรื่องประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และเกิดคราบคาร์บอน ส่วนวิธีไพโรไลซิสนั้นจะผลิตก๊าซโซลีนออกมาคือน้ำมันไบโอดีเซล นอกจากนี้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันยังให้ผลผลิตร่วมที่มีประโยชน์ คือ กลีเซอรอล

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ แต่สามารถเร่งปฏิกิริยาให้ไปข้างหน้าได้เร็วขึ้นโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไป โดยแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาส่วนใหญ่มักใช้เมทานอลหรือเอทานอลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากราคาถูก หาง่ายและเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว จึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้เร็วแต่ปฏิกิริยานี้ห้ามมีน้ำมาเกี่ยวข้อง เพราะอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเอสเทอร์ลดลง และจะทำให้แยกเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลได้ยากขึ้น ดังนั้นการเตรียมตัวเร่งต่างในปฏิกิริยาจะใช้วิธีละลายต่างในเมทานอลแทนน้ำ

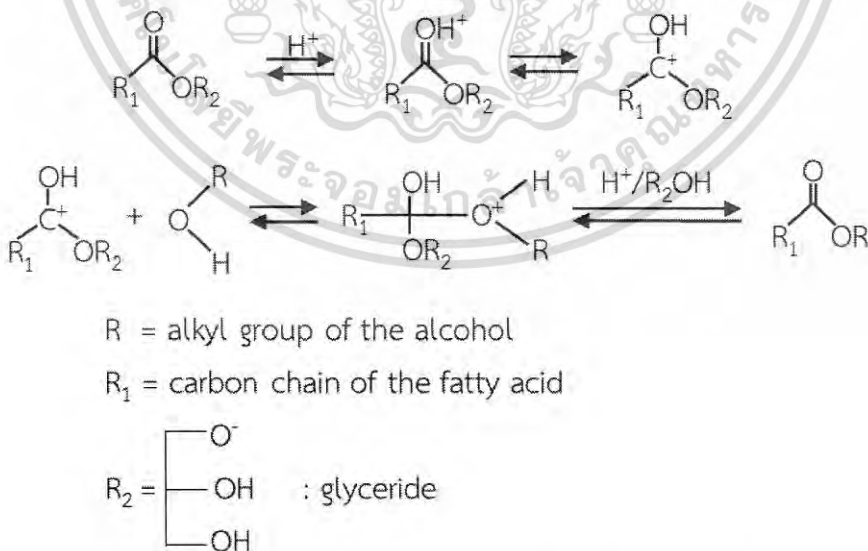
กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมี 3 ขั้นตอนเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ คือ ขั้นตอนแรกจะเปลี่ยน ไตรกลีเซอไรด์เป็นไดกลีเซอไรด์ ขั้นตอนต่อมาจะเปลี่ยนไดกลีเซอไรด์เป็นโมนอกลิเซอไรด์ และขั้นสุดท้ายจะเปลี่ยนโมนอกลิเซอไรด์เป็นกลีเซอรอล และได้เอสเทอร์ 3 โมล ในขั้นตอนนี้ คุณสมบัติของเอสเทอร์จะคล้ายน้ำมันดีเซล แสดงขั้นตอนต่างๆ ดังนี้



โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

2.4.4.1 การทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid catalyst)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยกรดบรอนสเตด (Bronsted acid) เช่น กรดซัลโฟนิก กรดซัลฟิวริก เป็นต้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูงแต่เกิดปฏิกิริยาช้ามาก โดยต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 3 ชั่วโมง เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยการใช้กรดบรอนสเตดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เริ่มจากโปรตอนไปโปรโตเนต (Protonate) ที่หมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ ทำให้เกิดคาร์โบแคทไอออน หลังจากนั้นจึงเกิดการเข้าทำปฏิกิริยาของนิวคลีโอไฟล์ ซึ่งก็คือแอลกอฮอล์ เกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล โดยสารมัธยันต์นี้จะปล่อยกลีเซอรอลออกมา ทำให้เกิดเอสเทอร์ใหม่ แสดงกลไกของปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.5



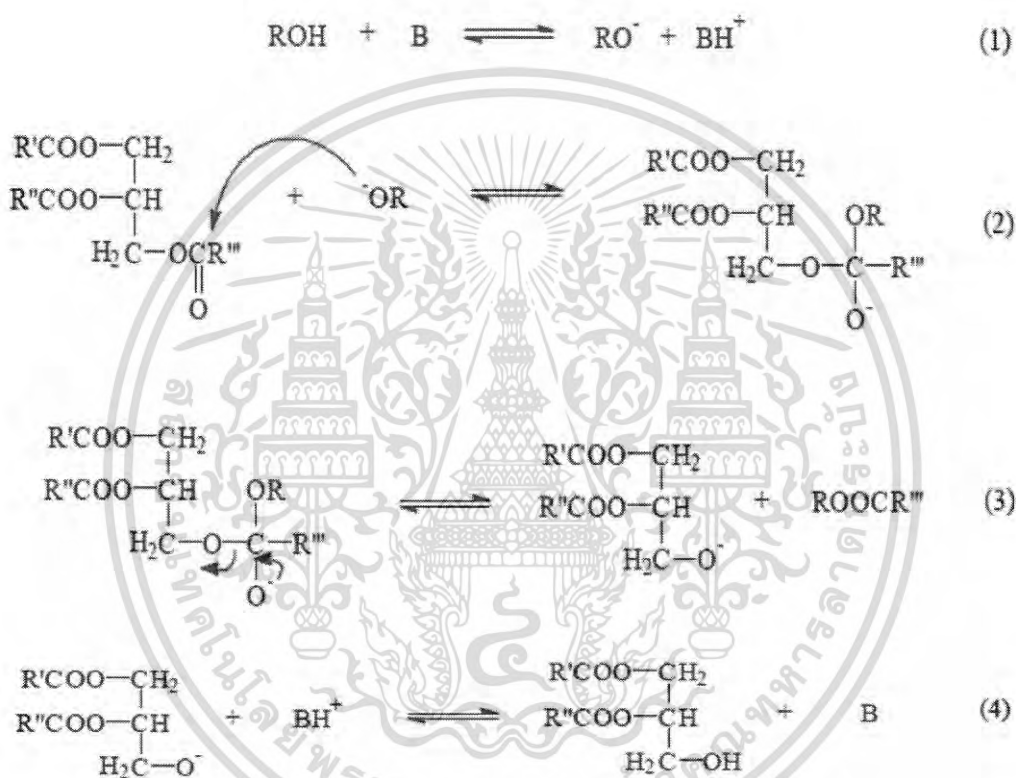
รูปที่ 2.5 กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.2 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่อาจเกิดปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันร่วมด้วยทำให้ความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ที่ได้น้อยลง

กลไกปฏิกิริยาเริ่มจากแอลกอฮอล์ไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งคาร์บอนิลของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งทำให้เกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระไฮดรอล จากนั้นเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารมัธยันต์กับแอลกอฮอล์ ทำให้เกิดแอลกอฮอล์ไอออน และขั้นสุดท้ายจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของสารมัธยันต์ เกิดเป็นเอสเทอร์และไตรกลีเซอไรด์ดังรูปที่ 2.6



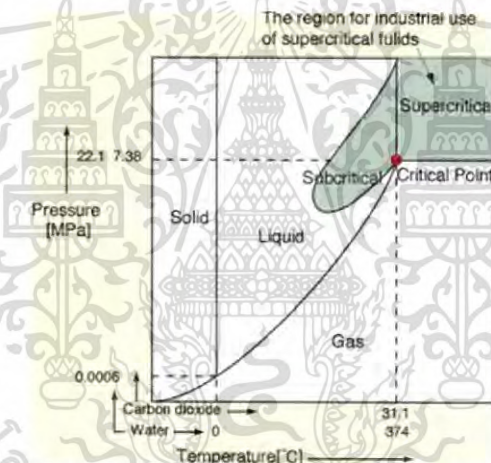
รูปที่ 2.6 กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [8]

ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจะให้ปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงโดยใช้ระยะเวลาที่สั้น แต่ปฏิกิริยานี้มีข้อเสียคือ สิ้นเปลืองพลังงานในการเกิดปฏิกิริยามาก การนำกลีเซอรอล กลับมาใช้ใหม่ทำได้ยาก ต้องกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยากัดและเบสออกจากผลิตภัณฑ์ น้ำเสียที่มีเบสต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม

2.4.4.3 การทำปฏิกิริยาในสภาวะเหนือวิกฤต

ของไหลเหนือภาวะวิกฤต (Supercritical fluid) หมายถึง สารใด ๆ ในสภาวะซึ่งจำแนกไม่ได้ว่าเป็นแก๊สหรือเป็นของเหลว เมื่อพิจารณาถึงแก๊สที่สามารถเปลี่ยนเป็นของเหลวได้มีอยู่ 2 วิธี โดยการลดอุณหภูมิหรือการเพิ่มความดัน เพื่อลดพลังงานจลน์ทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลลดลงเกิดแรงดึงดูดระหว่างกันควบแน่นเป็นของเหลว แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดๆหนึ่งโมเลกุลของแก๊สจะมีพลังงานจลน์มากถึงแม้จะให้ความดันเท่าไรก็ไม่สามารถทำให้แก๊สเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวได้ อุณหภูมิสูงสุดที่แก๊สยังสามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้เรียกว่า อุณหภูมิวิกฤต ความดันที่จุดๆนี้เรียกว่า ความดันวิกฤต เพราะฉะนั้นจุดวิกฤตคือ จุดที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิวิกฤต และมีความดันเท่ากับความดันวิกฤต

ที่อุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิวิกฤต และความดันมากกว่าความดันวิกฤต เรียกว่าสภาวะเหนือวิกฤต โดยสารที่อยู่ในสภาวะนี้จะจำแนกไม่ได้ว่าเป็นแก๊สหรือเป็นของเหลว ดังแสดงเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เฟสไดอะแกรมของของไหลเหนือวิกฤต [8]

ตารางที่ 2.2 สมบัติของไหลภาวะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับแก๊สและของเหลว

สถานะของของไหล	ความหนาแน่น (g/cm ³)	Diffusivity (cm ² /sec)	ความหนืด (g/cm.sec)
แก๊ส P = 1 atm, T = 15-30 °C	(0.6 - 2) × 10 ⁻³	0.1 - 0.4	(1 - 3) × 10 ⁻⁴
ของเหลว P = 1 atm, T = 15-30 °C	0.6 - 1.6	(0.2 - 2) × 10 ⁻⁵	(0.2 - 3) × 10 ⁻²
เหนือภาวะวิกฤต P = P _c , T = T _c	0.2 - 0.5	0.7 × 10 ⁻³	(1 - 3) × 10 ⁻⁴
	0.4 - 0.9	0.2 × 10 ⁻³	(3 - 9) × 10 ⁻⁴

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไหลเหนือภาวะวิกฤตมีคุณสมบัติอยู่ระหว่างแก๊สกับของเหลว จากตารางที่ 2.2 พบว่า ความหนาแน่นของของไหลเหนือภาวะวิกฤตมีค่าใกล้เคียงกับของเหลวเมื่อนำมาใช้เป็นตัวทำละลาย โมเลกุลของสารที่ต้องการละลายจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของของไหลภาวะเหนือวิกฤตเกิดอันตรกิริยากัน เกิดการละลายได้ดี ขณะเดียวกันของไหลเหนือภาวะวิกฤตมีความหนืดและการแพร่กระจายใกล้เคียงกับแก๊ส ทำให้สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างภายในตัวถูกละลายได้ดี และด้วยสมบัติเหล่านี้จึงนำของไหลเหนือภาวะวิกฤตมาใช้เป็นตัวทำละลาย

จากตารางที่ 2.2 การทำปฏิกิริยาในภาวะเหนือภาวะวิกฤตของเมทานอลเป็นวิธีที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะที่สภาวะนี้ต้องใช้อุณหภูมิสูง ทำให้พันธะไฮโดรเจนของเมทานอลอ่อนลงและสภาพขั้วของเมทานอลลดลง ทำให้เมทานอลกับน้ำมันพืชสามารถรวมเป็นเฟสเดียวกันได้

2.4.4.4 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอนไซม์ไลเปสถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ เช่น ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) และแอซิดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปส คือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ไม่มีของเสียจากกระบวนการ ข้อเสียของการใช้เอนไซม์ คือ มีราคาค่อนข้างแพง

2.4.4.5 การทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์

เป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวในระบบ เช่น ZrO_2 , ZnO , KNO_3/ZrO_2 , KNO_3/KL zeolite เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งในระบบที่มีน้ำ

2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา [9]

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท

2.5.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ (Homogeneous catalyst)

คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะเดียวกับสารที่ทำปฏิกิริยาไม่ว่าจะเป็นแก๊สหรือของเหลว เช่น ปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตที่เร่งด้วยเอนไซม์และปฏิกิริยาในการละลาย ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับเร่งปฏิกิริยาชัดเจนทำให้ง่ายต่อการศึกษาแต่มีข้อเสีย คือ มักสลายตัวหรือเสียดสภาพในสภาวะที่ใช้ความร้อนสูงหรือความดันสูง

2.5.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalyst)

คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแตกต่างกับสารที่ทำปฏิกิริยา เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สหรือของเหลว การใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธุ์พบได้มากในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ปู่ ผลิตรถยนต์ฯ เชื้อเพลิง และเส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์

ตารางที่ 2.3 เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติและปัจจัยต่างๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และแบบวิวิธพันธ์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์อยู่ในวัฏภาคเดียวกันกับสารตั้งต้น จึงมีข้อดีคือประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการง่ายกว่า อีกทั้งสภาวะการทดลองที่ใช้ไม่รุนแรงสามารถศึกษากลไกของปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโกปีต่างๆ และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการแพร่ของสารตั้งต้นไปหาตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากอยู่ในวัฏภาคเดียวกัน แต่ข้อเสียคือการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ทำได้ยาก วิธีการที่ใช้ส่วนใหญ่คือการกลั่นหรือการสกัดด้วยตัวทำละลาย การนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ทำได้ยากกว่า และอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์นั้นสั้นกว่า

ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ คือ สามารถแยกสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ออกมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่าย สามารถใช้ได้ง่าย สามารถใช้ได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูงได้ ตัวเร่งปฏิกิริยามีอายุใช้งานที่ยาวนานและอาจนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติและปัจจัยต่างๆ ในการเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และวิวิธพันธ์

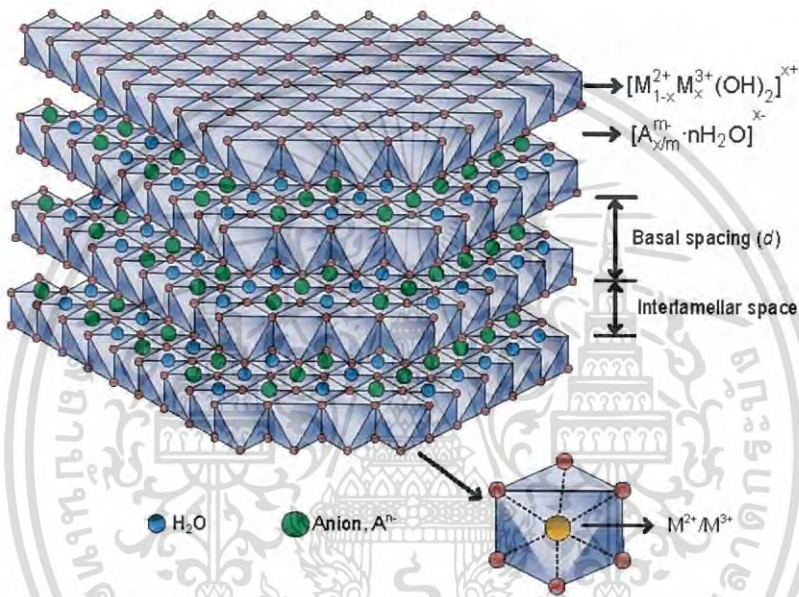
ปัจจัยหรือตัวแปรที่สนใจ	ปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์	ปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์
กัมมันตภาพเมื่อเทียบปริมาณโลหะที่เท่ากัน	สูง	แปรค่าได้
สัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยา	สูง	แปรค่าได้
สภาวะของปฏิกิริยา	ไม่รุนแรง	รุนแรง
อายุการใช้งานของตัวเร่ง	แปรค่าได้	นาน
ความไวของตัวเร่งต่อการเกิดพอยซัน	ต่ำ	สูง
ปัญหาจากการแพร่	ไม่มี	อาจมีผล
การนำตัวเร่งกลับมาใช้งาน	แพง	ทำได้
การปรับสมบัติเชิงโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการเปลี่ยนแปลงอะตอมที่เป็นองค์ประกอบ	อาจทำได้	ทำไม่ได้

2.6 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxide, LDH) [10]

วัสดุที่มีแนวโน้มคล้ายสารประกอบไฮดรอลไซต์ (Hydrotalcite-like compounds) หรือเรียกว่า เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides : LDHs) มีสูตรทั่วไป คือ $[M^{2+}_x M^{3+}_y(OH)_2]^{x+y+} [A^{m-}_x \cdot nH_2O]^{x+y-}$ ซึ่ง M^{2+} และ M^{3+} เป็นไอออนของโลหะที่มีประจุ 2+ และ 3+ ตามลำดับ และ A^{n-} เป็นไอออนลบที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์ (Interlayer anion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุเหล่านี้เป็นแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวกจะเรียงตัวอยู่เป็นชั้น ๆ และมีประจุลบ เช่น CO_3^{2-} , Cl^- หรือ NO_3^- กับโมเลกุลของน้ำอยู่ในระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ เพื่อรักษาประจุโดยรวมให้เป็นกลาง ตามที่แสดงในรูปที่ 2.8 โดยที่ประจุลบกับโมเลกุลของน้ำในระหว่างชั้นสามารถแลกเปลี่ยนประจุลบของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์อื่น ๆ แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับได้รับผลกระทบอย่างมากโดยคุณสมบัติของประจุที่พื้นที่ผิวและในระหว่างชั้น โดยทั่วไปแผ่นโลหะไฮดรอกไซด์มักเป็นประจุลบแบบ Multivalent มากกว่าแบบ Monovalent ยกตัวอย่างเช่น CO_3^{2-} จะถูกดูดซับแบบพิเศษ และไม่สามารถแลกเปลี่ยนโดยประจุลบอื่น ๆ ได้ แต่เมื่อ A^n เป็น Cl^- และแอมโมเนีย จะถูกใช้เป็นตัวตกตะกอนในกระบวนการสังเคราะห์



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ Layered double hydroxides [10]

ในงานวิจัยนี้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นเป็นเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม (Mg-Al) แมกนีเซียม-เหล็ก (Mg-Fe) และลิเทียม-อะลูมิเนียม (Li-Al) ซึ่งจะมีโครงสร้างหลักเป็นไฮดรอกไซด์ชั้นคู่ผสมระหว่างโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวกกับประจุลบที่พื้นผิวและในระหว่างชั้นมีคาร์บอเนตไอออนกับน้ำ ซึ่งโลหะผสมเหล่านี้ไม่เพียงแต่จะประกอบด้วยคาร์บอเนตไอออน แต่ยังสามารถแทนที่ได้อย่างง่ายดายโดยประจุลบอื่นๆ แต่อนุภาคนาโนคอลลอยด์ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเล็ก และสามารถแพร่กระจายได้ง่ายในน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพในการเข้าร่วมทำปฏิกิริยาของประจุลบอื่น ๆ จะเพิ่มขึ้น ดังนั้น โลหะผสมเหล่านี้ จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นเอกลักษณ์และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่สำคัญของไบโอดีเซล [11]

2.7.1 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิง คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิง เนื่องจากมีการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของพลังงานต่อปริมาณของมวลสารนิยมนวัต โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter โดยทั่วไปค่าความร้อนมี 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูง (High Heating Value) และ ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value) ซึ่งค่าความร้อนสูงเป็นค่าที่วัดได้ โดยรวมความร้อนที่เกิดขึ้นจากการกลั่นตัวของไอน้ำเข้าด้วย เมื่อพูดถึงค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จะนำค่าความร้อนต่ำมาใช้ เนื่องจากไม่มีการกลั่นตัวของไอน้ำในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

2.7.2 จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถทำให้ของเหลวกลายเป็นไอเพียงพอต่อการเริ่มต้นลุกไหม้ขึ้น เมื่อมีแหล่งจุดติดไฟแต่มีไม่เพียงพอที่จะลุกติดไฟได้อย่างต่อเนื่อง จุดวาบไฟเป็นประโยชน์ในการแบ่งประเภทของสารเคมีว่าเป็นสารไวไฟ (Flammable) สารติดไฟ (Combustible) และสารไม่ติดไฟ (Non-Combustible) ตามมาตรฐาน NFPA30 โดยปกติแล้วอุณหภูมิจุดวาบไฟของไบโอดีเซลจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่อย่างไรก็ตามไบโอดีเซลอาจมีจุดวาบไฟที่ต่ำกว่าปกติได้ หากผลิตภัณฑ์มีปริมาณแอลกอฮอล์จากกระบวนการผลิตหลงเหลือหรือเจือปนอยู่ ซึ่งควรกำจัดออกเพื่อให้มีจุดวาบไฟสูงปลอดภัยในการขนส่งเชื้อเพลิง

2.7.3 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรด คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นกลางกับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน 1 กรัม ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความเป็นกรดของน้ำมัน หากน้ำมันพืชหรือสัตว์นั้นมีคุณภาพดี กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ไม่หลุดออกเป็นกรดไขมันอิสระ น้ำมันนั้นๆจะมีค่าความเป็นกรดต่ำ แต่หากน้ำมันถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ น้ำมันนั้นๆจะมีกรดไขมันอิสระสูงขึ้นและมีค่าของกรดสูงขึ้นด้วย

2.7.4 เลขไอโอดีน (Iodine value)

ค่าไอโอดีน คือ ปริมาณไอโอดีนเป็นกรัมที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมัน 100 กรัม โดยทั่วไปแล้วค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชหรือสัตว์เป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในน้ำมันนั้นๆ น้ำมันที่มีองค์ประกอบกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูงจะมีค่าไอโอดีนสูง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวที่เป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์ได้มากกว่าน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า ถ้าน้ำมันพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมีค่าตัวเลขไอโอดีนต่ำก็จะป้องกันการเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ของน้ำมันพืชในเครื่องยนต์ได้ นอกจากนี้ น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีน

สูงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอากาศได้มาก ทำให้โครงสร้างของน้ำมันพืชเกิดการเสถียรภาพได้เป็นสารประเภทคีโตน แอลดีไฮด์ และกรดออกมาผสมอยู่ในน้ำมัน

2.7.5 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือ ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของน้ำมันดีเซลมีผลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด ถ้าน้ำมันมีความหนืดเชิงจลนศาสตร์สูงจะทำให้การฉีดเป็นฝอยไม่ดี ละอองน้ำมันใหญ่ การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ แต่หากน้ำมันมีความหนืดต่ำเกินไปจะทำให้ น้ำมันที่พ่นออกมานั้นเป็นฝอยละเอียดมากแต่ไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เช่นกัน เนื่องจากน้ำมันรวมตัวกับอากาศได้ไม่ดี ประสิทธิภาพด้านกำลังของเครื่องยนต์ก็จะลดลง ค่ามาตรฐานของสมบัติด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล สรุปไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงค่ามาตรฐานของสมบัติด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล

สมบัติด้านเชื้อเพลิง	ข้อกำหนด	วิธีทดสอบ
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส, (cSt)	ไม่ต่ำกว่า 3.5 และไม่สูงกว่า 5.0	ASTM D 445
จุดวาบไฟ (°C)	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)	ไม่สูงกว่า 0.50	ASTM D 664
ค่าไอโอดีน (g _{Iodine} /100g)	ไม่สูงกว่า 120	EN 14111

2.8 ประโยชน์ของไบโอดีเซล [6]

2.8.1 ประโยชน์ด้านการรักษาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel Board) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม (US Environmental Protection Agency) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการวิจัยและทดลองใช้ไบโอดีเซลในสูตรต่างๆ กับเครื่องยนต์ดีเซล และได้รายงานว่ไบโอดีเซลในสูตร B100 และ B20 สามารถลดมลพิษลดปล่อยจากการเผาไหม้ได้ ในส่วนของประเทศไทย กรมอุทกหารเรือ กองทัพเรือ ได้รายงานผลการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้า ว่าสามารถลดควัน

ดำได้มากกว่าร้อยละ 40 นอกจากนี้ ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลยังลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะผลิตจากพืช รวมทั้งส่วนหนึ่งได้จากการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิต ซึ่งช่วยให้ลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันมิให้นำน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีสารก่อมะเร็งไปผลิตเป็นอาหารอีก

2.8.2 ประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

การใช้ไบโอดีเซล จะเป็นการสร้างงานในชนบท ด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค ช่วยแก้ปัญหาหาคาปาล์มน้ำมันตกต่ำได้ รวมถึงยังช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ที่ในแต่ละปี ประเทศไทยต้องเสียงบประมาณนำเข้าน้ำมันไม่ต่ำกว่า 500,000 ล้านบาท

2.8.3 ประโยชน์ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ

ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก กล่าวคือมีการใช้น้ำมันดีเซลวันละ 55 ล้านลิตร ตลาดของน้ำมันดีเซล จึงมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซิน 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้ภายในประเทศ ดังนั้น การใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นน้ำมันได้

2.8.4 ประโยชน์ด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์

การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1 - 2 สามารถช่วยดัชนีการหล่อลื่น ให้กับน้ำมันดีเซล โดยจากการทดลองของสถาบันวิจัย และเทคโนโลยีของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) พบว่า การเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ในอัตราร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า รวมทั้งช่วยให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากในไบโอดีเซล มีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้มีการเผาไหม้ดีขึ้น นอกจากนี้ แม้ค่าความร้อนของไบโอดีเซล จะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อด้อยนี้ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบข้อดีของการใช้ไบโอดีเซลเทียบกับน้ำมันดีเซล

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

2.9 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์ [11]

ไบโอดีเซลช่วยหล่อลื่นแทนกำมะถัน และลดฝุ่นละอองหรือควันดำ ที่เรียกว่า particulate matter ให้ต่ำลง โดยไม่ทำให้เครื่องยนต์อุดตันเพราะเผาไหม้หมด

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลนั้น มีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือว่าไม่มีผลทางด้านลบ หรือในกรณีของเครื่องยนต์เก่าอาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนซีลบางส่วนเท่านั้นเอง โดยทั่วไปการใช้้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศนั้นนิยมนำไปผสมเป็นสูตรต่าง ๆ ดังนี้

- B2 (ไบโอดีเซล 2% : ดีเซล 98%) มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา และจะบังคับใช้ทั้งหมดรัฐในปี พ.ศ. 2548

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

- B20 (ไบโอดีเซล 20% : ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา แนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา

- B40 (ไบโอดีเซล 40% : ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถยนต์ขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อผลในการลดมลพิษ

- B100 (ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้ในประเทศเยอรมนี และออสเตรีย โดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์รายใหญ่ของประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบผลการใช้ไบโอดีเซล 100% (B100) และน้ำมันดีเซลซึ่งผสมด้วยไบโอดีเซล 20% (B20)

มลพิษในไอเสีย	ไบโอดีเซล 100% (B100)	น้ำมันดีเซลที่มีไบโอดีเซล 20% (B20)
แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์	ลดลง 42.3%	ลดลง 12.6%
ไฮโดรคาร์บอน	ลดลง 56.2%	ลดลง 11.0%
ฝุ่นละออง	ลดลง 55.4%	ลดลง 18.0%

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

David G.Cantrell และคณะ [12] ในปี ค.ศ. 2005 ได้ทำการสังเคราะห์สารประกอบไฮโดรทัลไซต์ $[Mg_{(1-x)}Al_x(OH)_2]^{x+}(CO_3)_{x/2}$ ที่มีส่วนประกอบอยู่ในช่วง $x = 0.25-0.55$ ด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วม (Coprecipitation) โดยได้มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปตรวจสอบหาโครงสร้างด้วยเครื่องทดสอบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) ซึ่งแสดงลักษณะเฉพาะของเฟสไฮโดรทัลไซต์ที่มีระยะห่างระหว่างชั้นมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียม ส่วนการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) จะแสดงให้เห็นถึงการลดลงของพลังงานในการจับภาพทั้งอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม ที่เกิดจากการรวมตัวกันของแมกนีเซียม ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นภายในชั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของ Glycerol tributyrate กับเมทานอลสำหรับการผลิตไบโอดีเซล โดยสารประกอบไฮโดรทัลไซต์ที่มีปริมาณ Mg สูงขึ้นจะให้ร้อยละการเปลี่ยน (Conversion) ของ Glycerol tributyrate สูงขึ้นด้วย

Wenlei Xie และคณะ [13] ในปี ค.ศ. 2006 ได้ทำการพัฒนากระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยการทำปฏิกิริยา Methanolysis ของน้ำมันถั่วเหลืองต่อเมทิลเอสเทอร์โดยใช้สารประกอบไฮโดรทัลไซต์ที่เป็นแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมที่ผ่านการเผาแล้ว ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่อุณหภูมิหลักซ์ของเมทานอลโดยมีอัตราส่วนโมลของน้ำมันถั่วเหลืองต่อเมทานอลเป็น 1 : 15 เวลาในการทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมงและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 7.5% มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำมัน 67% พบว่าไฮโดรเจนทัลไซต์ที่มีอัตราส่วนของ

แมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียม เท่ากับ 3.0 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 773 K เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ซึ่งสามารถให้ความเป็นเบสสูงสุดและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดสำหรับปฏิกิริยานี้

EugenaLi และคณะ [14] ในปี ค.ศ. 2009 ได้ทำการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสม Mg-Co-Al-La เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH) ด้วยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของ Mg:Co:Al:La ที่แตกต่างกัน ซึ่งถูกเตรียมขึ้นมาด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมและการเผา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์นี้ถูกใช้ร่วมกับน้ำมันคาโนลาและเอทานอล เพื่อผลิตไบโอดีเซล แล้วนำมาเปรียบเทียบกับเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ที่ 473 K การปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการเติมแลนทานัมเข้ามา ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งตัวทำละลายและช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความเสถียรมากขึ้น ส่วนการเพิ่มแมกนีเซียมที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก ดูเหมือนจะไม่ส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยา แต่จากการทดลองที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg_2CoAl แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอุณหภูมิของปฏิกิริยา อัตราส่วนของเอทานอลต่อน้ำมัน ขนาดอนุภาคและความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันคาโนลา ซึ่งผลของตัวเร่งปฏิกิริยา Mg_2CoAl ได้แสดงให้เห็นถึงความเสถียร และสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ถึง 7 รอบ

I. Reyero และคณะ [15] ในปี ค.ศ. 2013 ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Mg-Al$ hydrotalcite) ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยศึกษาคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากผลของการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา $Mg-Al$ hydrotalcite ที่ทำปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในสภาวะที่ไม่รุนแรง ($60\text{ }^{\circ}C$ และความดัน 1 atm) โดยใช้จำนวนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 2wt% จะให้ผลผลิตของไบโอดีเซลอยู่ที่ 62-77% เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 10 ชั่วโมง

S.Sivashunmugam และคณะ [16] ในปี ค.ศ. 2012 ศึกษาการสังเคราะห์ Fatty acid methyl ester (FAME) จากน้ำมันพืชที่บริโภคได้ บริโภคไม่ได้และผ่านการใช้งานแล้วด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่ทำการสังเคราะห์ คือ $CoAl$, $LiAl$, $MgAl$, $NiAl$, $CaAl$ และ $ZnAl-LDH$ ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม จากผลการทดลองพบว่า $CaAl-LDH$ ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Ca ต่อ Al เป็น 2:1 และผ่านการแคลไซน์มีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งให้ร้อยละผลผลิตของ FAME มากกว่า 90 โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันน้อยกว่า 6:1 ที่อุณหภูมิ $65\text{ }^{\circ}C$ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตัวเร่งปฏิกิริยานี้สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ถึง 4 ครั้ง จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น ความหนาแน่น ความหนืด และปริมาณกลีเซอรอลเป็นไปตามมาตรฐาน DIN

W.Yi-Tong และคณะ [17] ในปี ค.ศ. 2015 ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลขั้นตอนเดียวจากน้ำมันที่มีค่าความเป็นกรดสูง (acid value) โดยใช้ $Mg-Al$ hydrotalcite ($HT-Ca$) ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขนาดนาโน (<45 นาโนเมตร) ซึ่งถูกสังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนร่วมและการไฮโดเทอร์มอลด้วยสารละลาย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ จากผลวิจัยพบว่า HT-Ca เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นทั้งกรดและเบสเนื่องจากการสร้าง $\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{14}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}_2\text{Al}(\text{OH})_7$ และ $\text{AlO}(\text{OH})$ ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยา esterification และ transesterification น้ำมันที่มีค่าความเป็นกรดสูง ภายใต้สภาวะอุณหภูมิของปฏิกิริยา 160°C , อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 30:1 เป็นเวลา 4 ชั่วโมงและปริมาณ HT-Ca 5 wt% พบว่าได้ผลผลิตไบโอดีเซลจากต้นस्पุดำ 93.4% โดยมีค่าความเป็นกรด 6.3 mg KOH/g ในการทดสอบ (ผลผลิตไบโอดีเซล > 86%) พบว่าสามารถทนต่อกรดไขมันอิสระ นอกจากนี้ยังพบว่า HT-Ca สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ถึง 92.9% จากน้ำมันถั่วเหลืองที่มีค่าความเป็นกรดสูง 12.1 mgKOH/g ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา HT-Ca มีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลโดยตรงจากน้ำมันที่มีค่าความเป็นกรดสูงโดยไม่ต้องปรับสภาพก่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) น้ำมันปาล์ม ตรา หยก บริษัท ลำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
- 2) เมทานอล (Methanol, CH_3OH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห
- 3) แมกนีเซียมไนเตรตเฮกซะไฮเดรต (Magnesium Nitrate hexahydrate, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
บริษัท Panreac จำกัด เกรตวิเคราะห
- 4) อะลูมิเนียมไนเตรตโนนะไฮเดรต (Aluminium Nitrate nonahydrate, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)
บริษัท Panreac จำกัด เกรตวิเคราะห
- 5) ไอร์รอน (III) ไนเตรตโนนะไฮเดรต (Iron(III) Nitrate Nonahydrate, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) บริษัท
Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห
- 6) ลิเทียมไฮดรอกไซด์มอนอไฮเดรต (Lithium hydroxide monohydrate, $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$) บริษัท
Fluka จำกัด เกรตวิเคราะห
- 7) แมกนีเซียมซัลเฟตแอนไฮเดรต (Magnesiumsulphate anhydrous, MgSO_4) บริษัท
Panreac จำกัด เกรตวิเคราะห
- 8) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห
- 9) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, NaCO_3) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรตวิเคราะห
- 10) น้ำมันพาราฟิน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) กระจกนาฬิกา
- 2) ซ้อนตักสาร
- 3) กรวยแก้ว
- 4) กระจกครอบเบอร์ 41
- 5) กระจกยูนีเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
- 6) โกร่งบดสาร
- 7) แท่งแก้วบดสาร
- 8) ขวดก้นกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 9) ครุชีเบิล
- 10) หลอดหยอด
- 11) กระจกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร
- 12) บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
- 13) ปีกเกอร์ขนาด 50 250 และ 600 มิลลิลิตร
- 14) Water bath
- 15) คอนเดนเซอร์
- 16) แท่งแม่เหล็ก
- 17) เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบ 4 ตำแหน่ง
- 18) ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
- 19) ตู้ดูดควัน
- 20) ตู้อบ ยี่ห้อ Memmert
- 21) เตาเผา ยี่ห้อ Chavachote
- 22) Hotplate/Stirrer
- 23) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrophotometer, XRD) ยี่ห้อ Siemens รุ่น D8 Advance
- 24) เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Fluorescence, XRF) ยี่ห้อ Phillips รุ่น PW2004
- 25) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ LEO 1450 VP
- 26) เครื่อง BET- Autosorb-1C Surface Area and Pore Size Analyzer
- 27) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณตำแหน่งที่ว่องไว CO₂-TPD (CO₂-temperature-programmed desorption)

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

- 1) การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม
- 2) การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH
- 3) การพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา
- 4) การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม

ในการทดลองนี้จะทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม โดยศึกษาชนิดของโลหะและประจุของโลหะ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่ทำการสังเคราะห์

ชนิดของ LDH	ประจุของโลหะ ไอออน	เกลือของโลหะที่ใช้ เตรียม LDH	อัตราส่วนโดยโมล
Mg-Al	Mg ²⁺ Al ³⁺	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	Mg : Al = 1:1
Mg-Fe	Mg ²⁺ Fe ³⁺	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	Mg : Fe = 1:1
Li-Al	Li ⁺ Al ³⁺	LiOH·H ₂ O Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	Li : Al = 1:1

3.3.1.1 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา MgAl-LDH

- 1) เตรียม Mg(NO₃)₂·6H₂O ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยชั่ง Mg(NO₃)₂·6H₂O 12.8205 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนให้ละลาย
- 2) เตรียม Al(NO₃)₃·9H₂O ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยชั่ง Al(NO₃)₃·9H₂O 18.7565 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนให้ละลาย
- 3) นำสารละลาย Mg(NO₃)₂·6H₂O ผสมกับ Al(NO₃)₃·9H₂O คนให้เข้ากัน แล้วบรรจุลงในบิวเรต
- 4) เตรียม NaOH ความเข้มข้น 0.22 โมลาร์ และ Na₂CO₃ ความเข้มข้น 0.06 โมลาร์ ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร คนให้ละลาย
- 5) ค่อย ๆ ทำการไซสารละลายผสมในข้อ 3 จากบิวเรตลงในสารละลายข้อ 4 พร้อมทำการปั่นกว
- 6) เมื่อไซสารละลายผสมหมด ทดสอบค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 8-10 จากนั้นบรรจุสารละลายผสมลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร นำแท่งแม่เหล็กใส่ลงในขวดก้นกลมที่ต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์เพื่อทำการปั่นกว แล้วทำการให้ความร้อนแก่ของผสมในขวดก้นกลมจนถึงอุณหภูมิรีฟลักซ์ด้วยอ่างน้ำมันพาราฟินที่วางอยู่บนแท่นให้ความร้อน จากนั้นทำการปั่นกวเป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- 7) เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการกรองตะกอนด้วยชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนมีพีเอชเป็นกลาง

8) อบตะกอนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นแบ่งตะกอนเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนที่สองไม่ต้องทำการเผา จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองส่วน ไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่อง XRD และ XRF วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM และวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค BET และนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลต่อไป

3.3.1.2 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาของ MgFe-LDH

- 1) เตรียม $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยชั่ง $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 12.8205 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนให้ละลาย
- 2) เตรียม $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยชั่ง $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 20.2010 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนให้ละลาย
- 3) นำสารละลาย $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ผสมกับ $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ คนให้เข้ากัน แล้วบรรจุลงในบิวเรต
- 4) เตรียม NaOH ความเข้มข้น 0.22 โมลาร์ และ Na_2CO_3 ความเข้มข้น 0.06 โมลาร์ ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร คนให้ละลาย
- 5) ค่อย ๆ ทำการไซสารละลายผสมในข้อ 3. จากบิวเรตลงในสารละลายข้อ 4. พร้อมทำการปั่นกวน
- 6) ทำเหมือนข้อ 6-8 ในวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาของ MgAl-LDH

3.3.1.3 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาของ LiAl-LDH

- 1) เตรียม $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยชั่ง $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 18.7565 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนให้ละลาย แล้วบรรจุลงในบิวเรต
- 2) เตรียม $LiOH \cdot H_2O$ ความเข้มข้น 0.05 โดยชั่ง $LiOH \cdot H_2O$ 2.0980 กรัม และ Na_2CO_3 ความเข้มข้น 0.003 โมลาร์ ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร คนให้ละลาย
- 3) ค่อย ๆ ทำการไซสารละลายผสมในข้อ 1. จากบิวเรตลงในสารละลายข้อ 2. พร้อมทำการปั่นกวน
- 4) เมื่อไซสารละลายหมด ทดสอบค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 8-10 โดยหยด NaOH ความเข้มข้น 1 โมลาร์
- 5) ทำเหมือนข้อ 6-8 ในวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาของ MgAl-LDH

3.3.2 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH

ในการทดลองนี้จะทำการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ โดยศึกษาชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1) นำน้ำมันปาล์ม 50 กรัม เมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำแม่เหล็กใส่ลงในขวดก้นกลมที่ต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ เพื่อทำการปั่นกวน แล้วทำการให้ความร้อนแก่ของผสมในขวดก้นกลมจนถึงอุณหภูมิพลักซ์ด้วยอ่างน้ำนึ่งพาราฟิน ที่วางอยู่บนแท่นให้ความร้อน ดังรูปที่ 3.1 จากนั้นทำการปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (สภาวะต่างๆของปฏิกิริยาแสดงดังตารางที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 การตั้งอุปกรณ์สำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

2) เมื่อครบเวลาของปฏิกิริยา นำของผสมจากขวดก้นกลมมากรองแบบลดความดัน เพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ออกไป

3) นำของผสมที่ได้จากการกรองมาเทลงกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของของผสม โดยชั้นบนจะเป็นชั้นอินทรีย์ ซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์มีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายน้ำมันสีเหลือง ส่วนชั้นล่างเป็นกลีเซอรอล มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรอลในกรวยแยก

- 4) โขแยกชั้นกลีเซอรอลออกจากกรวยแยก แล้วล้างชั้นเมทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 50 มิลลิลิตร จนได้ชั้นเมทิลเอสเทอร์ที่มีสภาพเป็นกลาง โดยทดสอบด้วยกระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
- 5) โขเมทิลเอสเทอร์ลงในบีกเกอร์ ดูดน้ำที่ปะปนด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตแอนไฮดรัสจะได้เมทิลเอสเทอร์ที่ใส จากนั้นทำการกรองแบบลดความดันเพื่อเอาแมกนีเซียมซัลเฟตแอนไฮดรัสออก
- 6) ชั่งน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ เพื่อนำไปหาร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะใน LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)
Mg-Al	1:1	12:1	2	2
Mg-Fe	1:1	12:1	2	2
Li-Al	1:1	12:1	2	2

จากการทดลองในตารางที่ 3.2 เมื่อได้ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่ให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดแล้ว จะนำมาศึกษาผลของตัวแปรอื่นๆ ดังตารางที่ 3.3-3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะใน LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)
ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.2	1:1	12:1	2	2
	2:1	12:1	2	2
	3:1	12:1	2	2
	4:1	12:1	2	2

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะใน LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)
ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.2	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.3	8:1	2	2
		10:1	2	2
		12:1	2	2
		15:1	2	2
		20:1	2	2

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะใน LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)
ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.2	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.3	โมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.4	1	2
			2	2
			3	2
			5	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะใน LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)
ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.2	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.3	โมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.4	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.5	1
				2
				4
				6

3.3.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา

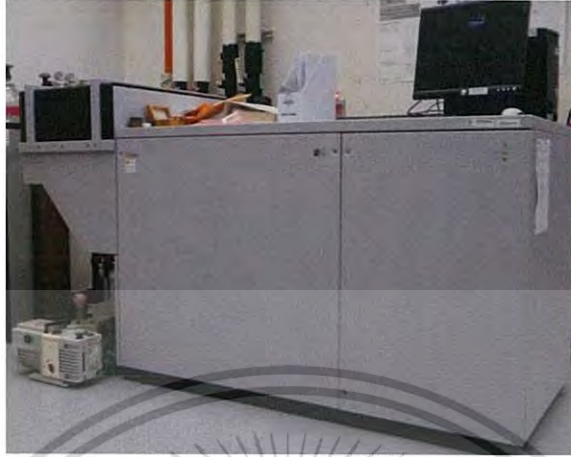
1) การวิเคราะห์องค์ประกอบและความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)



รูปที่ 3.3 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะภายในตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)



รูปที่ 3.4 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)

3) สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)



รูปที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค BET



รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวตามวิธีของ BET (Brunauer-Emmett-Teller Analyzer)

5) วิเคราะห์ปริมาณของตำแหน่งที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค CO₂-TPD



รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณตำแหน่งที่ว่องไว CO₂-TPD
(CO₂-temperature-programmed desorption)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์

เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้

1. การศึกษาเอกลักษณ์ทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) และเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer, FT-NMR)



รูปที่ 3.8 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)



รูปที่ 3.9 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-NMR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid Value)

วิธีทำ

1. ใส่เอทานอลกับไดเอทิลอีเทอร์อย่างละ 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่เขย่าให้เข้ากัน เติมฟีนอล์ฟทาลีน 3-4 หยด แล้วทำให้เป็นกลางด้วยการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จนเห็นเป็นสีชมพู่อ่อนๆ (ไม่ต้องจดปริมาตร)
2. นำขวดดังกล่าวไปวางบนเครื่องชั่ง ปรับน้ำหนักให้เป็นศูนย์ แล้วเติมน้ำมันประมาณ 5 กรัมลงไป เขย่าและไทเทรตด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จนถึงจุดยุติ ซึ่งจะได้สารละลายสีชมพู่คงตัว (5-10 นาที)
3. จดปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต แล้วนำไปคำนวณหาค่าความเป็นกรด

วิธีการคำนวณ

ให้ g เป็นจำนวนกรัมของน้ำมันที่ใช้

ให้ V เป็นจำนวนมิลลิลิตรของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

จำนวนโมลของ KOH ที่ใช้ = $0.01V / 1000$

จำนวนมิลลิกรัมของ KOH = $(0.01V/1000) \times MW_{\text{KOH}} \times 1000$
 $= (0.01V) \times 56$

ค่าความเป็นกรด = $(0.01V) \times 56/g$

3. การวิเคราะห์เลขไอโอดีน (Iodine value)

การเตรียมสารละลายฮานส์ไอโอดีน

สารละลาย 13.2 กรัม ในกรดอะซิติกกลั่น 1 ลิตร นำไปอุ่นให้ร้อนเพื่อช่วยให้ไอโอดีนละลายดีขึ้น เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในขวดสีชาที่มีฝาปิดแน่น

วิธีทำ

1. นำขวดรูปกรวย (ล้างภายในขวดด้วยคลอโรฟอร์ม) วางบนเครื่องชั่งปรับน้ำหนักให้เป็นศูนย์ และเติมน้ำมันประมาณ 0.3-1 กรัม
2. เติมคลอโรฟอร์ม 10 มิลลิลิตร แล้วเปิดสารละลายฮานส์ไอโอดีน 20 มิลลิลิตร ลงไปในขวดแล้วปิดจุกเขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 45 นาที (ให้ทำขวดเปรียบเทียบแบบลงค้ไปพร้อมกัน โดยทำเช่นเดียวกันแต่ไม่ใส่น้ำมัน)
3. เติม 10% โพแทสเซียมไอโอไดด์ลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับฮานส์ไอโอดีนที่เหลืออยู่ในชั้นคลอโรฟอร์ม ซึ่งจะได้ไอโอดีนออกมาอยู่ในชั้นของโพแทสเซียมไอโอไดด์ (เห็นสารละลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม)
4. ใช้น้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร ชะล้างไอโอดีนที่ติดอยู่ที่ผนังขวดและฝาให้หมดแล้วรีบปิดฝา
5. นำไปไทเทรตกับโซเดียมไทโอซัลเฟตจนสีของไอโอดีนจางลง (เห็นเป็นสีน้ำตาลจางๆอมเหลือง) แสดงว่าเหลือไอโอดีนอีกเพียงเล็กน้อย จึงเติมน้ำแบ่งลงไปประมาณ 0.5-1 มิลลิลิตร สารละลายจะเป็นสีน้ำเงินแล้วไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินหายไป จดปริมาตรไว้

วิธีคำนวณ



ให้ A = มิลลิลิตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตขวดตัวอย่าง

ให้ B = มิลลิลิตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตขวดเปรียบเทียบ

จากสมการ 1 โมลของไอโอดีน = 2 โมลของโซเดียมไทโอซัลเฟต

ดังนั้น จำนวนโมลของไอโอดีนที่ถูกดูดด้วยไขมัน = $\frac{1}{2} (0.2(B-A)/1000)$

น้ำหนักโมเลกุลของไอโอดีน = 254

จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดด้วยไขมัน = $\frac{1}{2} (0.2 (B-A)/1000) \times 254$
 $= 2.54 (B-A)/100$

เนื่องจากเลขไอโอดีน = จำนวนกรัมของไอโอดีนถูกดูดด้วยไขมัน 100 กรัม

g = จำนวนกรัมของน้ำมันที่ใช้

ดังนั้น เลขไอโอดีน = $(2.54(B-A)/100) \times 100/g$
 $= 2.54(B-A)/g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

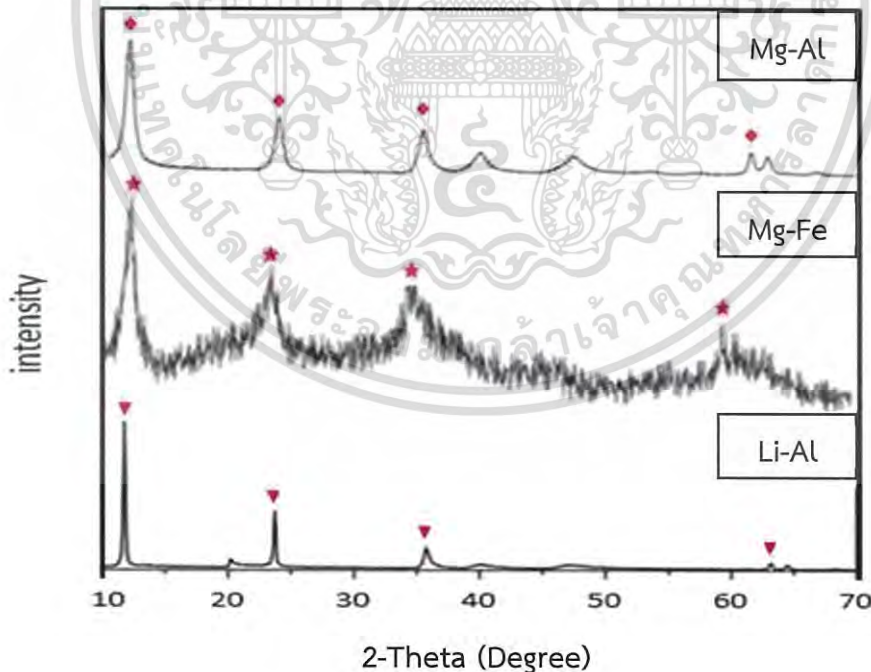
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มและเมทานอลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการศึกษา ลักษณะและพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา ตอนที่ 2 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ และตอนที่ 3 เป็นการศึกษาพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีและทดสอบสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้

4.1 การศึกษาลักษณะและพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1.1 ลักษณะโครงสร้างและความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา

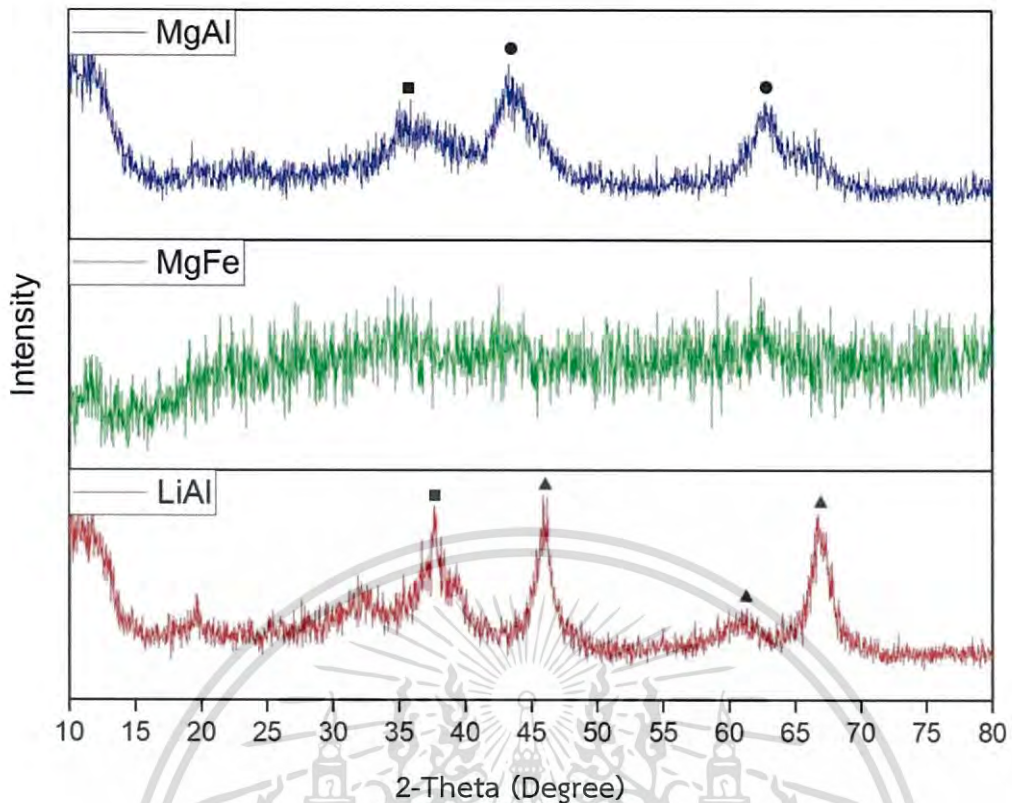
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH) ที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ Mg-Al (1:1), Li-Al (1:1) และ Mg-Fe (1:1) โดยทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างและความเป็นผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ LDH ชนิด Mg-Al (1:1), Mg-Fe (1:1) และ Li-Al (1:1) ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ [18-20]

หมายเหตุ : Hydrotalcite Mg-Al (◆), Hydrotalcite Mg-Fe (★) และ Hydrotalcite Li-Al (▼)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



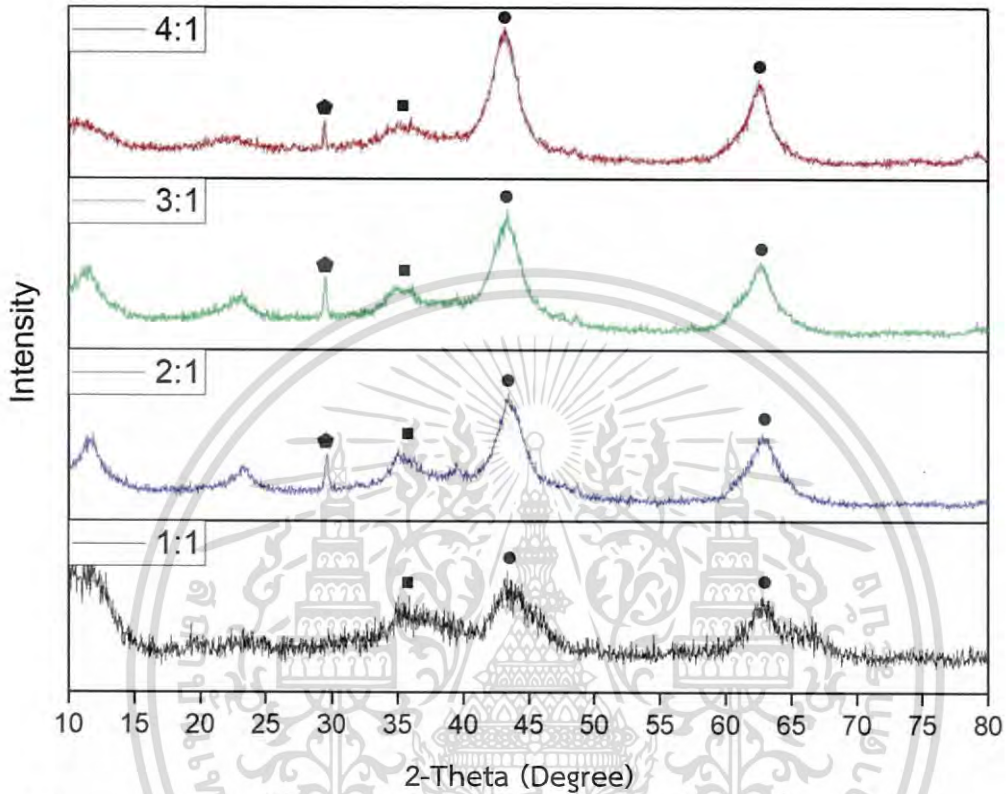
รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ LDH ชนิด Mg-Al (1:1), Mg-Fe (1:1) และ Li-Al (1:1) แคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส
 หมายเหตุ : Al_2O_3 (■), MgO (●) และ LiAlO_2 (▲)

พิจารณาตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ชนิด Mg-Al (1:1), Mg-Fe (1:1) และ Li-Al (1:1) ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ (รูปที่ 4.1) เปรียบเทียบกับ Mg-Al (1:1), Mg-Fe (1:1) และ Li-Al (1:1) ที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.2) จะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ทั้ง 3 ชนิดที่ไม่ผ่านการแคลไซน์พบพีคที่ตำแหน่ง 2θ ประมาณ 11° , 23° , 35° และ 62° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ที่แสดงถึงโครงสร้างที่เป็น layer ของ hydroxalcite ($[\text{M}^{2+}_{1-x}\text{M}^{3+}_x(\text{OH})_2]^{+x}[\text{A}^n]_{x/n}$) [21] เมื่อทำการแคลไซน์ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ทั้ง 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่า Mg-Al LDH พิกที่มุม 2θ เท่ากับ 23° และ 34° หายไป ปรากฏพีคเอกลักษณ์ของ MgO ที่มุม 2θ เท่ากับ 43° และ 63° และพีคเอกลักษณ์ของ Al_2O_3 ที่มุม 2θ เท่ากับ 37° ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Mg-Al LDH เกิดการพังทลายของโครงสร้างที่เป็น layer เมื่อนำไปแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และเกิดผลึกของ MgO และ Al_2O_3 ขึ้น

Li-Al LDH พบว่า พิกที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 20° และ 22° หายไป และเกิดพีคเอกลักษณ์ของ Al_2O_3 ที่มุม 2θ เท่ากับ 37° และพีคเอกลักษณ์ของ LiAlO_2 ที่มุม 2θ เท่ากับ 46° , 61° และ 67° ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Li-Al LDH เกิดการพังทลายของโครงสร้างที่เป็น layer เมื่อนำไปแคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส และเกิดผลึกของ LiAlO_2 และ Al_2O_3 ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mg-Fe LDH พบว่า ไม่สามารถวัดมุมที่ตำแหน่ง 2θ ได้ เนื่องจากพิกัดเกิดขึ้นในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันมากและมีช่วงของพิกัดค่อนข้างกว้าง (Broad peak) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Mg-Fe LDH เกิดการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างที่เป็น layer กลายเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous) เมื่อนำไปแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส [22]



รูปที่ 4.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 แคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส
 หมายเหตุ : Al_2O_3 (■), MgO (●) และ MgAl_2O_6 (◆)

จากรูปที่ 4.3 เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าทุกอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ปรากฏพิกัดเอกลักษณ์ของ Al_2O_3 ที่มุม 2θ เท่ากับ 37° และพิกัดเอกลักษณ์ของ MgO ที่มุม 2θ เท่ากับ 43° และ 63° โดยพบว่าพิกัดเอกลักษณ์ของ MgO มี intensity สูงขึ้น และพิกัดเอกลักษณ์ของ Al_2O_3 มี intensity ลดลง เนื่องจากเกิดผลึกของ mixed oxide (MgAl_2O_6) ของ Mg-Al ที่มุม 2θ เท่ากับ 30° ขึ้น แสดงว่า เมื่อทำการแคลไซน์ Mg-Al LDH ที่มีอัตราส่วน Mg/Al สูงๆ จะเกิดผลึก MgO และ MgAl_2O_6 มากกว่าที่อัตราส่วน Mg/Al ต่ำๆ

4.1.2 องค์ประกอบของธาตุบนตัวเร่งปฏิกิริยา

นำตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ทั้งสามชนิด ได้แก่ Mg-Al (1:1), Mg-Fe (1:1) และ Li-Al (1:1) แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ซึ่งมีปริมาณธาตุต่างๆในตัวเร่งปฏิกิริยา ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy, XRF)

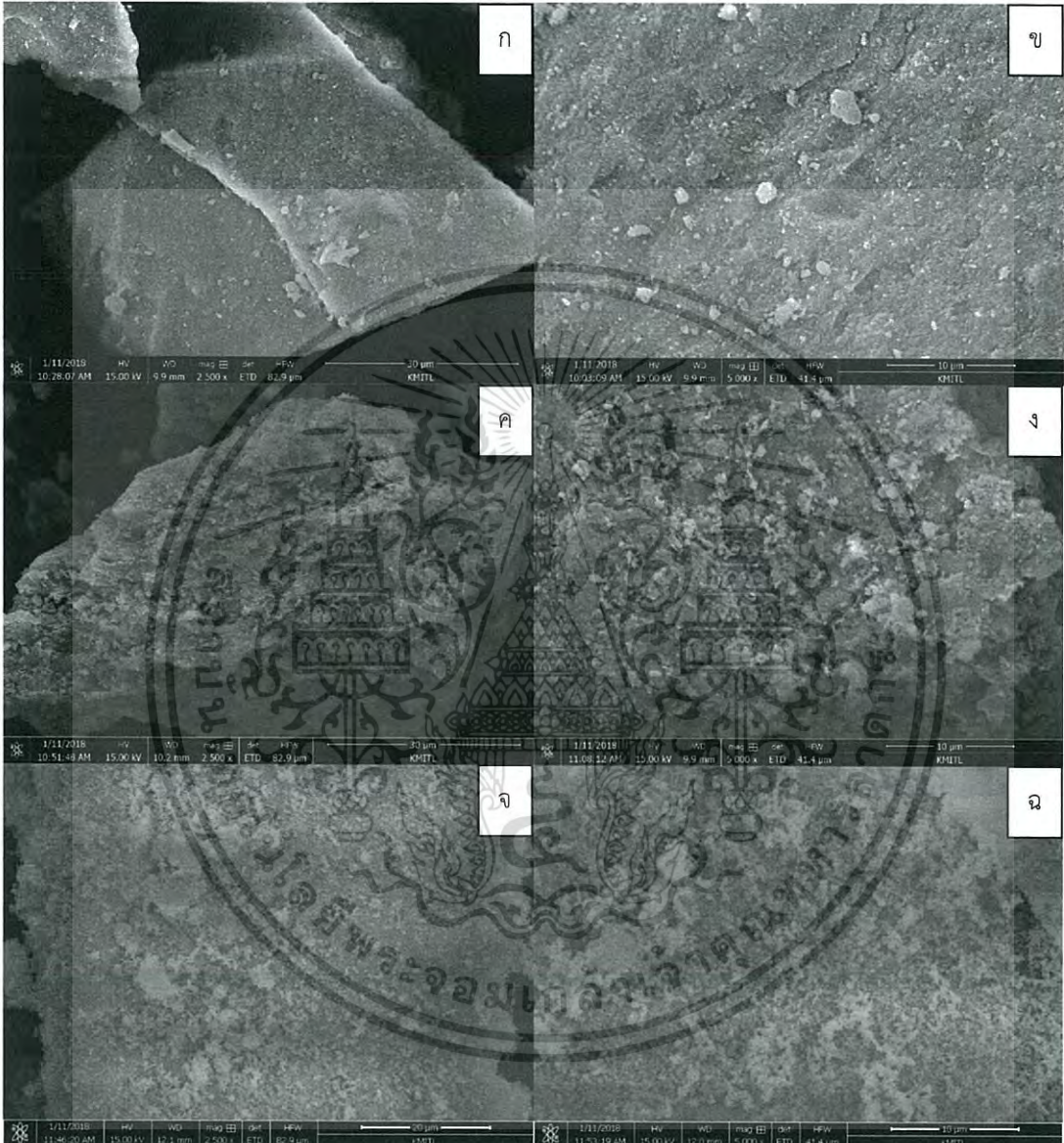
ตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณธาตุในตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)				อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ
	Mg	Al	Li	Fe	
Mg-Al (1:1)	28.7	27.5	-	-	Mg/Al = 1 : 0.96
Li-Al (1:1)	-	52.7	N/A	-	Li/Al ไม่สามารถคำนวณได้
Mg-Fe (1:1)	24.3	-	-	39.2	Mg/Fe = 1 : 0.70

หมายเหตุ : * ตัวเร่งปฏิกิริยา Lithium-Aluminum ไม่สามารถหาปริมาณธาตุในตัวเร่งปฏิกิริยาได้ เนื่องจาก Lithium มีขนาดอะตอมเล็ก (เลขอะตอมน้อยกว่า 20)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (1:1) ประกอบไปด้วยธาตุ Mg และ Al ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al เป็น 0.96 ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราส่วนโดยโมล Mg/Al ที่กำหนด คือ 1:1 สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Fe (1:1) พบว่ามีอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe เป็น 1:0.70 ซึ่งต่ำกว่าอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe ที่กำหนดคือ 1:1 ซึ่งเกิดจากในขั้นตอนการสังเคราะห์ Mg-Fe LDH $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ อาจจะตกตะกอนร่วมกับ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ได้บางส่วน ทำให้ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ เหลืออยู่ในสารละลาย และถูกชะล้างไปในขั้นตอนการกรอง

4.1.3 ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

นำตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ชนิด Mg-Al (1:1), Mg-Fe (1:1) และ Li-Al (1:1) ที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส มาทำการศึกษาลักษณะพื้นผิว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ดังรูปที่ 4.4 ที่กำลังขยาย 2,500 และ 5,000 เท่า



รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH แคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส

- ก) และ ข) Mg-Al (1:1) กำลังขยาย 2,500 และ 5,000 เท่า ตามลำดับ
 ค) และ ง) Mg-Fe (1:1) กำลังขยาย 2,500 และ 5,000 เท่า ตามลำดับ
 จ) และ ฉ) Li-Al (1:1) กำลังขยาย 2,500 และ 5,000 เท่า ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 (ก) และ (ข) แสดงพื้นผิวของ Mg-Al LDH ซึ่งมีลักษณะรูขรุขระเล็กน้อย โดยมีอนุภาคขนาดเล็กปกคลุมบนพื้นผิวอย่างไม่หนาแน่น ส่วน Mg-Fe LDH (รูปที่ 4.4 (ค) และ (ง)) และ Li-Al LDH (รูปที่ 4.4 (จ) และ (ฉ)) มีลักษณะพื้นผิวที่มีความขรุขระมากกว่า Mg-Al LDH และมีอนุภาคเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนปกคลุมบนพื้นผิวอย่างหนาแน่น

4.1.4 พื้นผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา

นำตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ Mg-Al LDH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 Mg-Fe ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Fe 1:1 และ Li-Al ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Li/Al 1:1 ซึ่งผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มาทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค N_2 -adsorption-desorption โดยใช้เครื่อง BET-Autosorp-1C Surface Area and Pore Size Analyzer โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พื้นผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET

ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	ขนาดรูพรุน (nm)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)	ขนาดผลึก (A°)
Mg-Al	Mg/Al = 1:1	302.01	13.44	1.02	23.75*
	Mg/Al = 2:1	321.97	9.27	1.59	40.09*
	Mg/Al = 3:1	292.64	14.96	1.22	39.15*
	Mg/Al = 4:1	123.92	16.36	1.36	41.42*
Mg-Fe	Mg/Fe = 1:1	227.80	10.84	0.62	-
Li-Al	Li/Al = 1:1	309.27	3.83	1.30	54.95**

หมายเหตุ : * ขนาดผลึกของ MgO คำนวณได้จาก Scherrer equation โดยใช้ พีค ที่ $2\theta = 43^\circ$

** ขนาดผลึกของ $LiAlO_2$ คำนวณได้จาก Scherrer equation โดยใช้ พีค ที่ $2\theta = 46^\circ$ และ 67°

*** Mg-Fe (1:1) มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน จึงไม่สามารถหาขนาดของผลึกได้

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาพื้นที่ผิวจำเพาะของ LDH ที่อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ 1:1 จะเห็นได้ว่า Li-Al มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า Mg-Al เล็กน้อย ส่วน Mg-Fe มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยที่สุด นอกจากนั้น Mg-Al ยังมีขนาดผลึกที่เล็กกว่า Mg-Fe และ Li-Al

เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ Mg-Al ที่อัตราส่วนโดยโมลของโลหะต่างๆ มาทำการเปรียบเทียบกัน พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ 2:1 มีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนมากที่สุด คือ $321.97 \text{ m}^2/\text{g}$ และ $1.59 \text{ cm}^3/\text{g}$ ตามลำดับ โดยมีขนาดรูพรุนเท่ากับ 9.27 nm ซึ่งน้อยกว่าที่อัตราส่วน Mg/Al อื่นๆ

4.1.5 ความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยา

นำตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH ซึ่งแคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al 1:1 และ 2:1 มาทำการวิเคราะห์ความเป็นเบส (basicity) ด้วยเครื่องมือ Temperature Programmed Desorption Analyzer (TPD) โดยการใช้ CO_2 เป็นก๊าซในการดูดซับ ซึ่งได้ค่าความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ด้วยเทคนิค CO_2 -TPD

ตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ Mg : Al	ความเป็นเบส (basicity) (mmol/g)	ความเป็นเบสต่อพื้นที่ผิว (mmol/m ²)
Mg-Al (แคลไซน์ที่ 450 °C)	1:1	0.4532	0.0015
	2:1	0.5051	0.0016

จากผลการวิเคราะห์ความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH ซึ่งแคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิค CO_2 -TPD พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1) มีความเป็นเบสมากกว่า Mg-Al (1:1) ซึ่งตำแหน่งว่องไวที่เป็นเบส (basic sites) ของ Mg-Al LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ประกอบด้วย medium basic site (Mg-O) และ strong basic site (O^{2-}) [13] โดย Mg-Al (2:1) ประกอบด้วย MgO ที่มากกว่า Mg-Al (1:1) ดังนั้น จึงมีความเป็นเบสที่สูงกว่า ซึ่งความเป็นเบสเป็นปัจจัยสำคัญในการทำปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

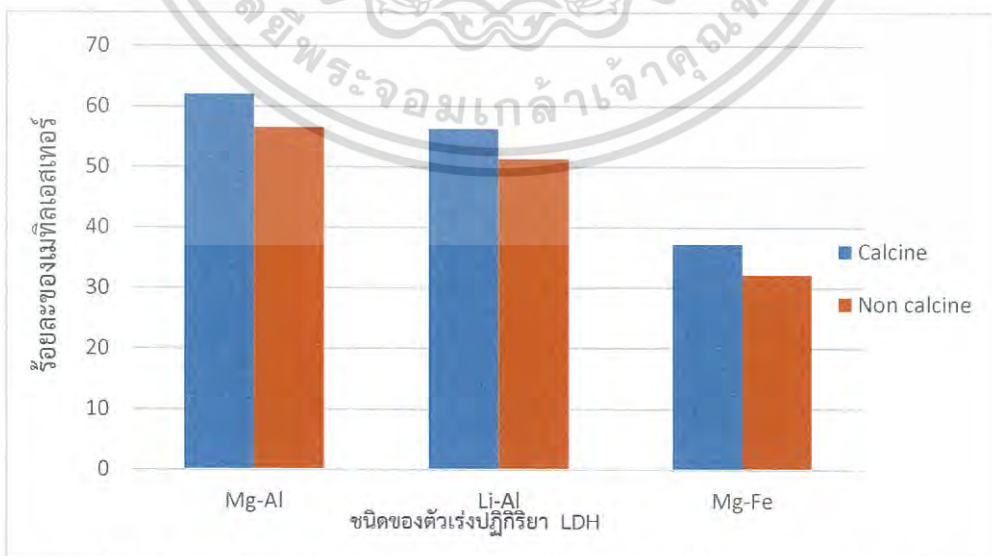
4.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

4.2.1 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์

ในการศึกษาผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ Mg-Al (1:1), Li-Al (1:1) และ Mg-Fe (1:1) ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และไม่ผ่านการแคลไซน์ จะถูกนำไปเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะใน LDH	อุณหภูมิแคลไซน์ (°C)	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%)
Mg-Al	1:1	450	12:1	2	2	62.03
	1:1	-	12:1	2	2	56.52
Li-Al	1:1	450	12:1	2	2	56.28
	1:1	-	12:1	2	2	51.32
Mg-Fe	1:1	450	12:1	2	2	37.29
	1:1	-	12:1	2	2	32.17



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่ผ่านการแคลไซน์และ

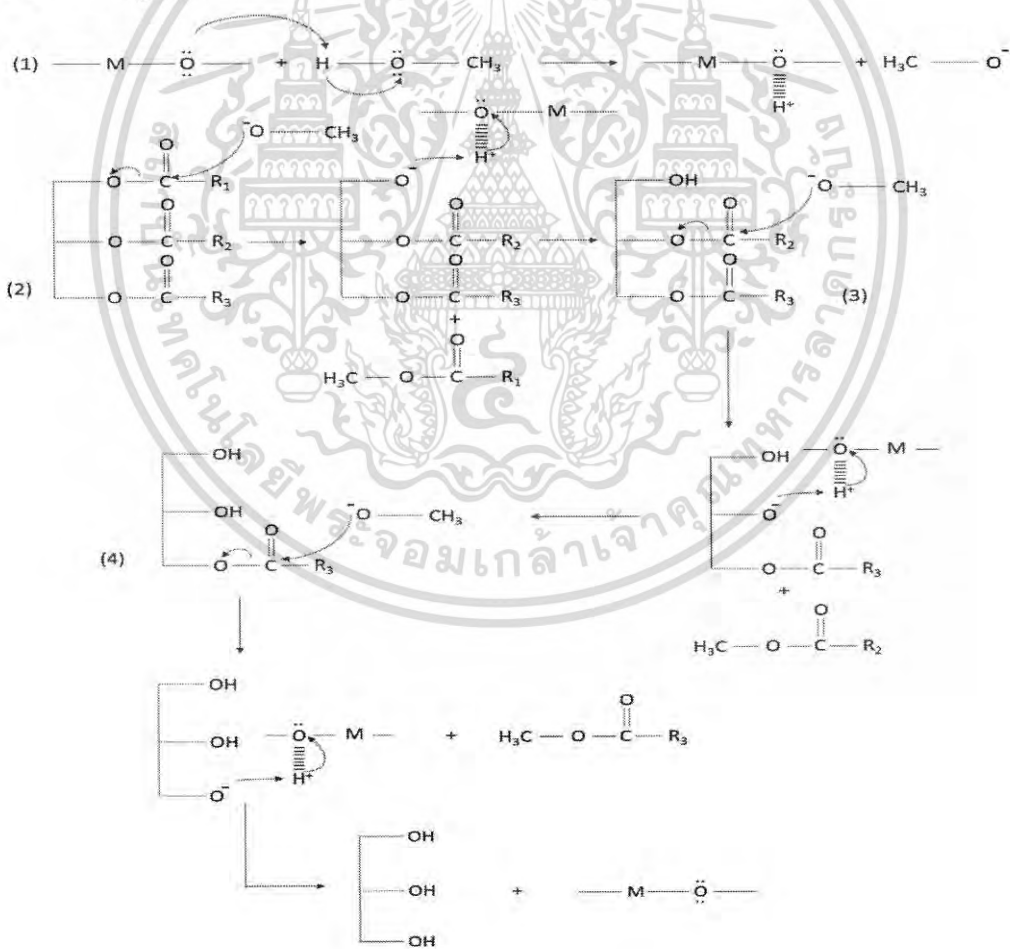
ไม่ผ่านการแคลไซน์ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ชนิด Mg-Al (1:1), Li-Al (1:1) และ Mg-Fe (1:1) ซึ่งผ่านการแคลไซน์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (1:1) ให้อัตราของเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด เป็นผลมาจากพื้นที่ผิวของ MgO ซึ่ง Mg-Al LDH ที่ผ่านการแคลไซน์มีพื้นที่ผิวจำเพาะใกล้เคียงกับ Li-Al LDH แต่ขนาดผลึก MgO เล็กกว่า LiAlO₂ มาก รวมทั้ง LiAlO₂ มีความเป็นเบสน้อยกว่า MgO [23] จึงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ดีกว่า สำหรับ Mg-Fe LDH ให้อัตราของเมทิลเอสเทอร์ต่ำที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยที่สุดและมีโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึก

เมื่อพิจารณาผลของการแคลไซน์ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ จะให้อัตราของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา LDH ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์ เนื่องจาก LDH ที่สังเคราะห์ได้และไม่แคลไซน์ มีโครงสร้างเป็นชั้น เมื่อนำไปแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะเกิดการพังทลายของโครงสร้าง ทำให้ได้ผลึกที่มีขนาดเล็กลง และมีพื้นที่ผิวมากขึ้น

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH ที่ผ่านการแคลไซน์ แสดงดังรูป 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ MgO

โดยที่ M แทนด้วย Mg [24]

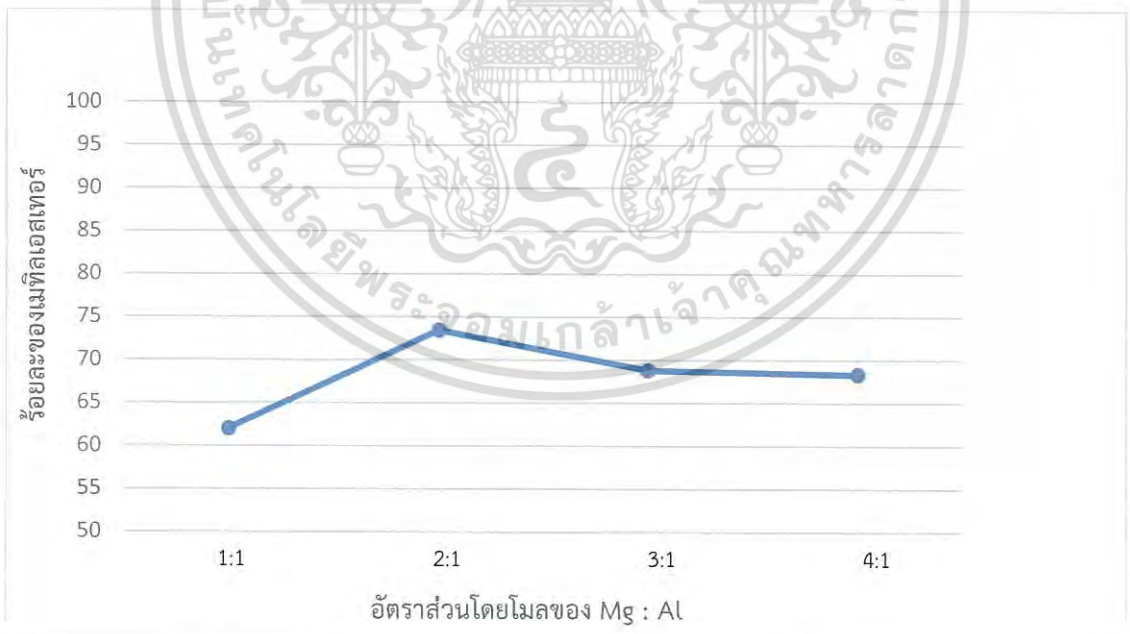
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

Mg-Al LDH ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดจากตอนที่ 4.2.1 จะนำมาศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al โดยทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.5 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%)
Mg-Al (1:1)	12:1	2	2	62.03
Mg-Al (2:1)	12:1	2	2	73.47
Mg-Al (3:1)	12:1	2	2	68.80
Mg-Al (4:1)	12:1	2	2	68.36



รูปที่ 4.7 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของโลหะที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

เมื่อใช้ Mg-Al LDH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

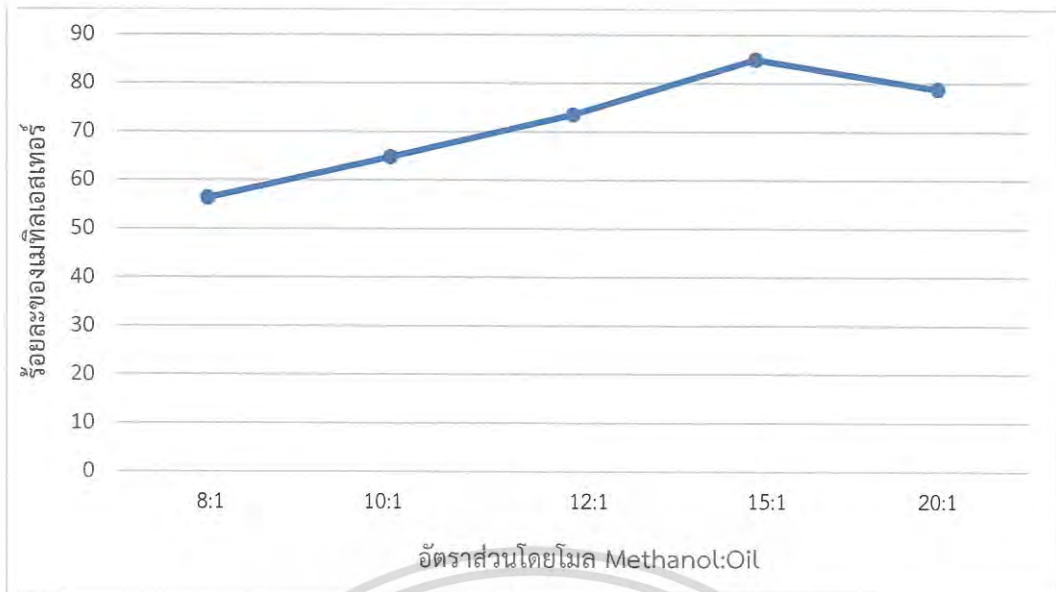
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al จาก 1:1 เป็น 2:1 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจาก 62.03 เป็น 73.47 ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ผิวจำเพาะและความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ Mg-Al (2:1) สามารถเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้มากกว่า Mg-Al (1:1) ทำให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al มากกว่า 2:1 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (3:1) และ Mg-Al (4:1) มีพื้นที่ผิวต่ำกว่า Mg-Al (2:1) ดังนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH (2:1) จึงมีความเหมาะสมในการใช้สังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ เนื่องจากให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุด

4.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของโลหะเป็น 2:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.6 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1)

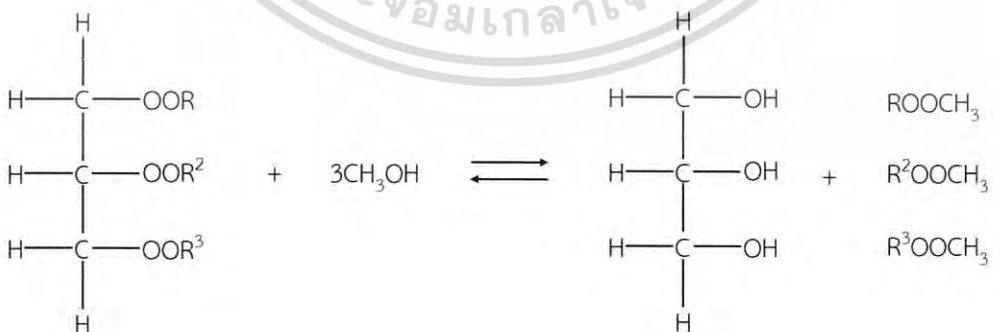
ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%)
Mg-Al (2:1)	8:1	2	2	56.37
	10:1	2	2	64.79
	12:1	2	2	73.47
	15:1	2	2	84.86
	20:1	2	2	78.79



รูปที่ 4.8 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์
เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเพิ่มจาก 8:1 เป็น 15:1 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 15:1 มีร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด คือ 84.86

เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ทำให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการมีปริมาณเมทานอลที่มากเกินไป จะทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ เลื่อนไปด้านของผลิตภัณฑ์ ทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น ดังสมการต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

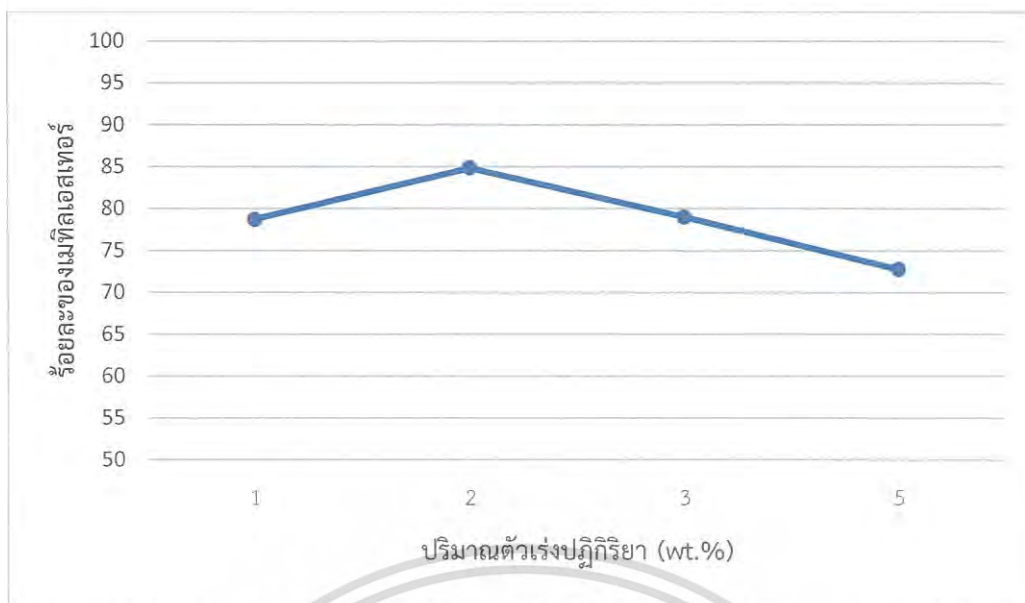
จากสมการ จะเห็นได้ว่าต้องใช้ 3 โมลของเมทานอลและ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ เพื่อที่จะได้ 3 โมลของเมทิลเอสเทอร์ กับ 1 โมลของกลีเซอรอล เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มจาก 8:1 เป็น 15:1 ทำให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากขึ้น ดังนั้น อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 15:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มจาก 15:1 เป็น 20:1 พบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ลดลง เนื่องจากการมีปริมาณของเมทานอลที่มากเกินไป ทำให้มีการละลายเพิ่มขึ้นของกลีเซอรอล ซึ่งเป็นปัญหาต่อการแยกตัวของกลีเซอรอลจากน้ำมัน เมื่อกลิเซอรอลเหลืออยู่มากในปฏิกิริยา จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับ เป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ลดลง [25]

4.2.4 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ในการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1) อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 15:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1)

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%)
Mg-Al (2:1)	15:1	1	2	78.71
		2	2	84.86
		3	2	79.02
		5	2	72.75



รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์
เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.9 เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1) จาก 1% เป็น 2% โดยน้ำหนัก พบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 2% โดยน้ำหนัก ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มที่ลดลง โดยการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยานั้น เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและเพิ่มความเป็นเบส ทำให้ปฏิกิริยาเกิดเมทิลเอสเทอร์ได้มากขึ้น แต่ถ้าเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไป จะส่งผลให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีค่าลดลง เนื่องจากปฏิกิริยานี้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิจพันธ์ ซึ่งมีลักษณะของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาบนพื้นผิว (Surface Reaction) ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่เข้าของสารตั้งต้นสู่ชั้นผิวและภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราการแพร่ออกของสารผลิตภัณฑ์ออกจากรูพรุนและพื้นผิว ดังนั้นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไป ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนและขัดขวางการแพร่ของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้าลง [23] นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการเกิดสบู่อิ่มในปฏิกิริยาทำให้ไปยับยั้งการเกิดไบโอดีเซลเนื่องจากความเป็นเบสที่มากเกินไปของปฏิกิริยา [25]

ดังนั้น ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1) 2% โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด คือ 84.86

4.2.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ในการศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1) ทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 15:1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1)

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%)
Mg-Al (2:1)	15:1	2	1	71.36
			2	84.86
			4	80.61
			6	76.80



รูปที่ 4.10 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1)

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.10 พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมง เป็น 2 ชั่วโมง ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 71.36 เป็น 84.86 และเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 2 ชั่วโมง ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มลดลง อาจเป็นผลมาจากการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากเกินไป ทำให้เมทิลเอสเทอร์ที่ได้เกิดการผันกลับไปเป็นไตรกลีเซอไรด์ จึงส่งผลให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ลดลง ดังนั้นเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุด คือ 2 ชั่วโมง ซึ่งได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 84.86

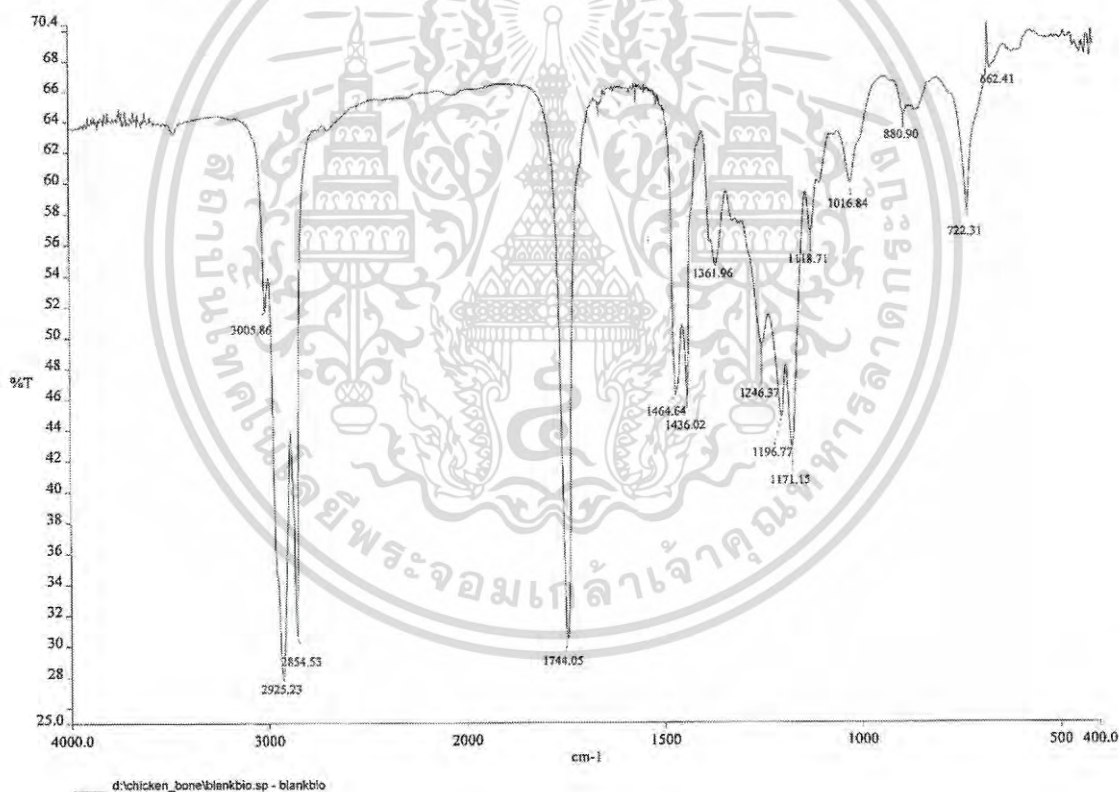
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ทางกายภาพและเคมีของเมทิลเอสเทอร์

นำเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสม เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ มาทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมทรี (FT-IR) และเทคนิคฟูเรียรทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตเมทรี (FT-NMR) รวมทั้งทำการหาค่าความเป็นกรดและเลขไอโอดีน

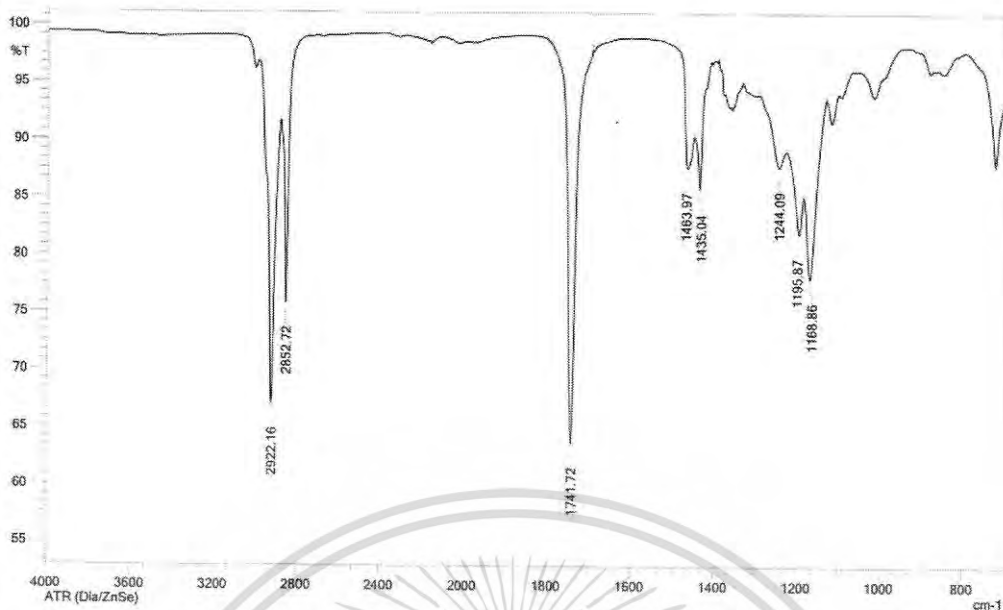
4.3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)

น้ำมันปาล์มและเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์โดยตัวเร่ง Mg-Al และ Li-Al จะถูกนำมาตรวจวัดหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ดังรูปที่ 4.11 - 4.13 ตามลำดับ และทำการแสดงตารางหมู่ฟังก์ชันที่ดูดกลืนแสงที่เลขคลื่นต่างๆ ดังตารางที่ 4.9

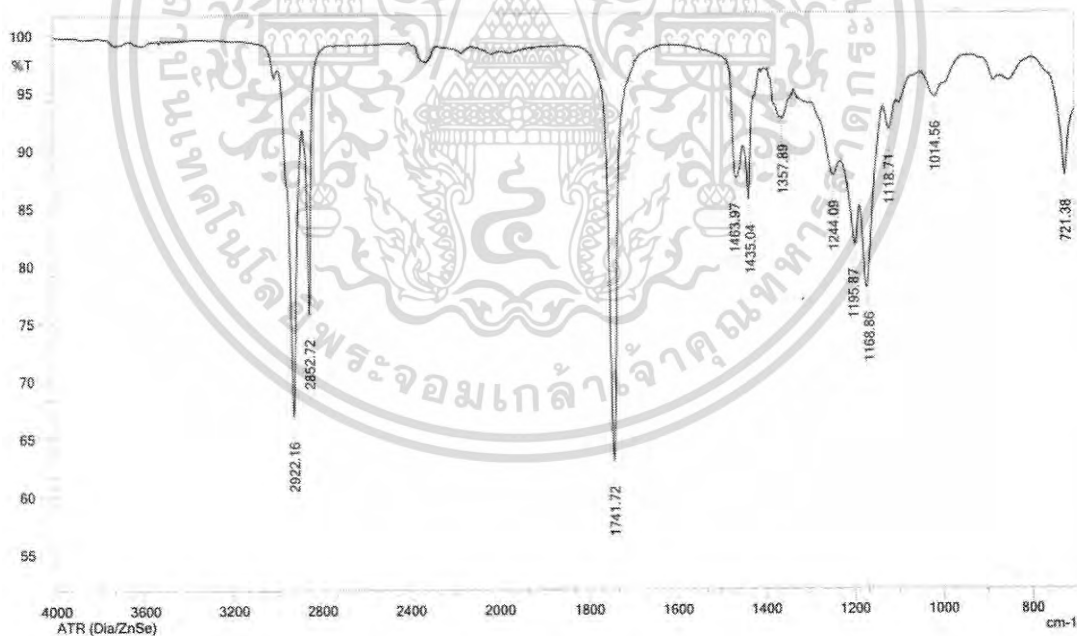


รูปที่ 4.11 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มจากเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH (2:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม เท่ากับ 15:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.13 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Li-Al LDH (1:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม เท่ากับ 12:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์ที่การดูดกลืนแสงที่เลขคลื่นต่างๆ [24]

Absorption frequency (cm-1)	Factional group	Remarks
3100 – 3000	Alkene	Unsat. C-H stretching
3000 – 2800	Alkane	Sat. C-H stretching
~ 1740	Ester	Carbonyl ester
1470 - 1400	Alkane	C-H bending for CH ₂
~ 1365	Alkane	C-H bending for CH ₃
1300 – 1200	Ester	C-O stretching
1250 , 1100	Ester	C-O-C ester
~ 700-690	Cis-Alkene	C-H (OOP bending)

หมายเหตุ ที่ความถี่ 3470 – 3440 และ 2100 cm^{-1} อาจเป็นสัญญาณที่มาจากความชื้นของ KBr

OOP = out – of – plane (การสั่นออกนอกระบบ)

จากรูป FT-IR จะเห็นได้ว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันปาล์มและเมทิลเอสเทอร์มีลักษณะใกล้เคียงกัน เนื่องจากน้ำมันปาล์มและเมทิลเอสเทอร์มีหมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกัน ดังนั้น เพื่อให้การวิเคราะห์มีความละเอียดและแยกแยะความแตกต่างระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทิลเอสเทอร์ จะถูกนำไปตรวจสอบด้วยเทคนิค FT-NMR ต่อไป

4.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer, FT-NMR)

น้ำมันปาล์มและเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์โดยตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1) และ Li-Al (1:1) จะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

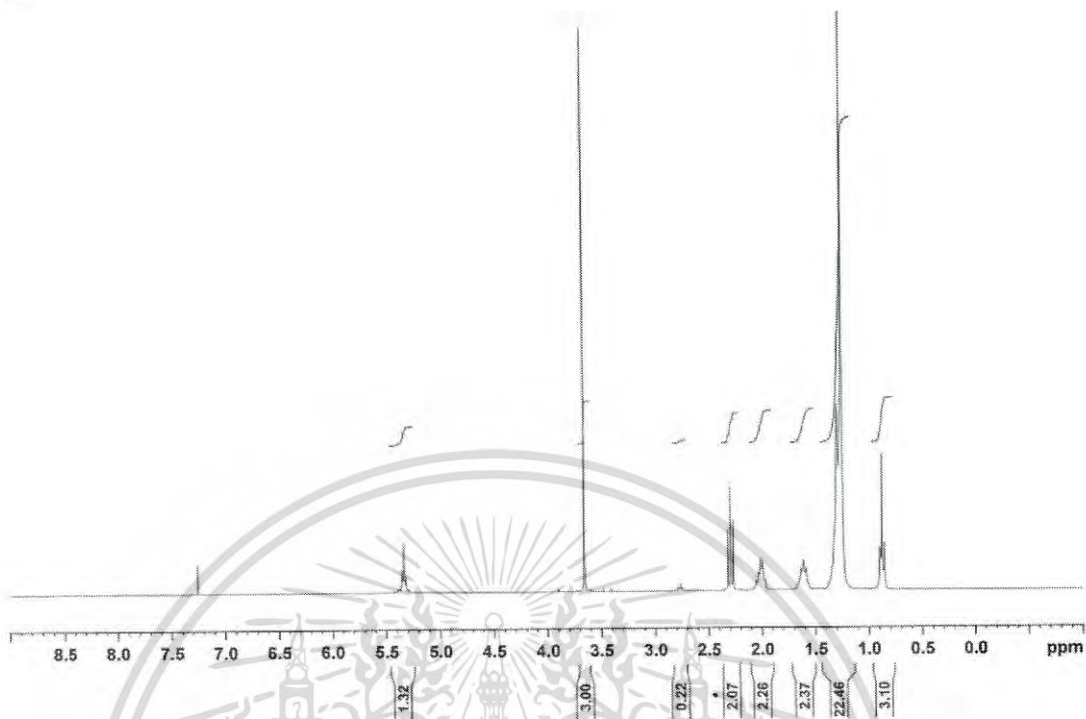


รูปที่ 4.14 สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มจากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

จากรูปที่ 4.14 แสดงถึง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลโปรตอน ($\text{CH}_3\text{-C-}$) และ เมทิลีนโปรตอน ($\text{-C-CH}_2\text{-C-}$) ที่ δ 0.85-0.88 และ 1.25-1.30 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C-}$ ที่ δ 1.61 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-C=C}$ ที่ δ 2.01-2.05 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-COO-C-}$ ที่ δ 2.28-2.33 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-C=C-CH}_2\text{-C=C-}$ ที่ δ 2.74-2.76 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-OOC-R}$ และ -CH-OOC-R ที่ δ 4.11-4.17 และ 4.27-4.32 ppm, สเปกตรัมของ -CH=CH- ที่ δ 5.26-5.35 ppm [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

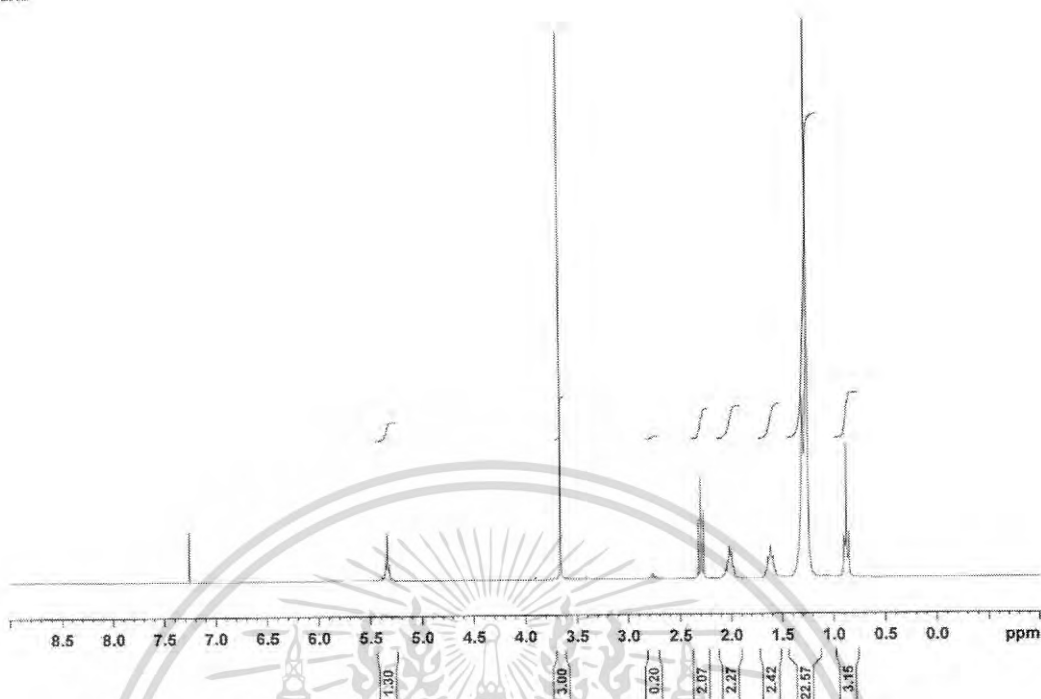
Mg/L



รูปที่ 4.15 FT-NMR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH (2:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อ น้ำมันปาล์ม เท่ากับ 15:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LiAl



รูปที่ 4.16 FT-NMR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Li-Al LDH (1:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อ น้ำมันปาล์ม เท่ากับ 12:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

จากรูป 4.15 และ 4.16 เมื่อนำน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al LDH (2:1) และ Li-Al LDH (1:1) ตามลำดับ พบว่า ตำแหน่งโปรตอนของ CH-OOC-R และ $-\text{CH}_2\text{-OOC-R}$ ในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ที่ δ 4.11-4.17 และ 4.27-4.32 ppm หายไปเกิดเป็นตำแหน่งโปรตอนของ R-COO-CH_3 ในโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ขึ้นมาแทนที่ที่ δ 3.60-3.70 ppm สำหรับที่สถานะอื่นๆผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน [24] แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้เป็นเมทิลเอสเทอร์จริง

4.3.3 การทดสอบค่าความเป็นกรดและเลขไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์

หลังจากทำการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ที่สภาวะต่างๆแล้ว จะนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดและเลขไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์ โดยค่าความเป็นกรดจะทดสอบโดยวิธี ASTM D 664 และเลขไอโอดีนจะถูกทดสอบโดยวิธี EN 14111 ผลการทดสอบจะแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าความเป็นกรดและเลขไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะต่างๆ

ชนิดของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดย โมล Methanol:oil	ปริมาณ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการ ทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ค่าความเป็น กรด (mgKOH/g)	ค่าไอโอดีน (g Iodine/100 g)
Mg-Al (1:1)	12:1	2	2	0.2455	19.8670
Mg-Al (2:1)	12:1	2	2	0.2454	13.8608
Mg-Al (2:1)	15:1	2	2	0.2124	19.8627
Mg-Al (2:1)	15:1	7	2	0.2785	16.8085
Mg-Al (2:1)	15:1	2	6	0.2567	18.6116
Mg-Fe (1:1)	12:1	2	2	0.2124	14.0498
Li-Al (1:1)	12:1	2	2	0.4350	19.8179

หมายเหตุ : ตัวเร่งปฏิกิริยาทุกชนิดผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.10 ค่าความเป็นกรดและค่าไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะต่างๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของสมบัติด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล ดังตารางที่ 2.4 ในบทที่ 2 จะเห็นได้ว่า ค่าความเป็นกรดของเมทิลเอสเทอร์มีค่าอยู่ในช่วง 0.2124-0.4350 mgKOH/g ซึ่งมีค่าไม่สูงกว่า 0.50 mgKOH/g แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ไม่หลุดออกเป็นกรดไขมันอิสระ น้ำมันจะมีความเป็นกรดต่ำและบ่งบอกให้เห็นถึงคุณภาพที่ดีของน้ำมัน ส่วนค่าไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์มีค่าอยู่ในช่วง 13.8608-19.8670 g Iodine/100 g ซึ่งมีค่าไม่สูงกว่า 120 g Iodine/100 g ตามที่มาตรฐานกำหนด แสดงว่า ถ้าน้ำมันพืชถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงก็จะสามารถป้องกันการเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ของน้ำมันพืชในเครื่องยนต์ได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เอกเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET และความเป็นเบสด้วยเทคนิคโปรแกรมอุณหภูมิ (TPD) จากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า

1. เมื่อนำเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDH) ชนิด แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม (Mg-Al), แมกนีเซียม-เหล็ก (Mg-Fe) และลิเทียม-อะลูมิเนียม (Li-Al) ที่อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ 1:1 ไปแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างที่เป็นชั้นเกิดการพังทลายลง โดย Mg-Al LDH สลายตัวเป็น MgO และ Al₂O₃, Li-Al LDH สลายตัวเป็น LiAlO₂ และ Al₂O₃ ส่วน Mg-Fe LDH สลายตัวได้โครงสร้างที่เป็นอสัณฐาน

2. เมื่อทำการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการแคลไซน์ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม (Mg-Al), แมกนีเซียม-เหล็ก (Mg-Fe) และลิเทียม-อะลูมิเนียม (Li-Al) ที่อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ 1:1 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด คือ Mg-Al เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าและขนาดผลึกของ MgO เล็กกว่า Li-Al และ Mg-Fe LDH

3. เมื่อทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al ที่ 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg/Al 2:1 ให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ เนื่องจาก Mg-Al (2:1) มีพื้นที่ผิวและความเป็นเบสสูง

4. สำหรับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา LDH พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ 84.86 ที่สภาวะการทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al (2:1) อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 15:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงและจากการทดสอบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้พบว่าเลขโอไอดีนและค่าความเป็นกรดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของอุตสาหกรรม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ หลังจากผ่านการแคลไซน์แล้ว ควรเก็บรักษาในสภาวะที่ปราศจากความชื้น เนื่องจากการรวมตัวของตัวเร่งปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาลดลง

2. เนื่องจากร้อยละของเมทิลเอสเทอร์จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม ยังไม่สูงมากพอ ดังนั้นจึงควรปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการเติมออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

3. ควรศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการผลิต

4. คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ เลขไอโอดีน และค่าความเป็นกรด อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ควรทำการทดสอบสมบัติอื่นตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เพื่อทดสอบก่อนการนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล เช่น ความหนืด จุดวาบไฟ และค่าความร้อน

5. ควรนำไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์มาทดลองผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อใช้กับเครื่องยนต์จริง



เอกสารอ้างอิง

- [1] วิฑูรช กู๊ดวิน, อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ และดร.อ้อยใจ ทองเมอ. ไบโอดีเซลกับพลังงานทางเลือกใหม่. [Online]. Available: <http://www.vcharkarn.com/varticle/39240> เข้าเมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2561
- [2] Maloney, T.M. **Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard manufacturing**, 1st Ed., Sanfrancisco: Miller Freeman Publication, 1997.
- [3] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ไบโอดีเซลกับการใช้งาน. [Online]. Available: <http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php?Aid=409&page=2> เข้าเมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2561
- [4] Kusdiana,D. and Saka, S.H. Effect of Water on Biodiesel Fuel Production by Supercritical Methanol Treatment. *Journal of Bioresource Technology*, 91(2004) 289-295.
- [5] Nalawade, P., Aware,B., Kadam,V.J. and Hirlekar, R.S. Layered double hydroxides: A Review. *Journal of Scientific & Industrial Research* 68 (2009) 267-272
- [6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. “ไบโอดีเซล” พลังงานใหม่เพื่อคนไทย. [Online]. Available: <http://www.rsu.ac.th/engineer/energy/download/002/Fact%20Sheet.doc> เข้าเมื่อวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2561
- [7] คมสัน หุตะแพทย์, สุทัศน์า กำเนิดทอง, กำพล กาหลง และณัฐภูมิ สุดแก้ว. 2550. ทำไบโอดีเซลใช้เอง. หน้า 5-32. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ.
- [8] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ความรู้เกี่ยวกับไบโอดีเซล. [Online]. Available: http://www.biodiesel.rdi.ku.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=12 เข้าเมื่อวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2561
- [9] จตุพร วิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษฏานุรักษ์. 2547. การเร่งปฏิกิริยา: พื้นฐานการประยุกต์. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] ทิพย์วิมล สุขวานิชย์เจริญ 2558. “การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 และรีแอคทีฟออเรนจ์ 16 โดยใช้ไฮดรอกไซด์ผสมของแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [11] พชร พงษ์ไพบูลย์, สาวิตรี อ่อนก้านเหลือง, วาสนา จันทร, วิชุดา ขามสันเทียะ และมนัส พิลา. ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีผลต่อเครื่องยนต์ [Online]. Available: http://sites.google.com/site/_biodieselphlangngnganthdthaen/11phlk-ra-thb-khxng-bi-xo-disel-thi-mi-tx-kheruxngy_nt เข้าเมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2561
- [12] David,G.C.,Lisa,J.G.,Adam,F.L.,Karen,W. Structure-reactivity correlations in MgAl hydrotalcite catalysts for biodiesel synthesis. Applied Catalysis A: General 287 (2005) 183-190
- [13] Wenlei,X.,Hong,P.and Ligong,C. Calcined Mg-Al hydrotalcites as solid base catalysts for methanolysis of soybean oil. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 246 (2006) 24-32
- [14] Eugena,L., Zhi P.X. and Victor, R. MgCoAl-LDH derived heterogeneous catalysts for the ethanol transesterification of canola oil to biodiesel. Applied Catalysis B: Environmental 88 (2009) 42-49
- [15] Reyero,I., Velasco,I., Montes,O., Arzamendi,G. and Gandia,L.M. Structured catalysts based on Mg-Al hydrotalcite for the synthesis of biodiesel. Catalysis Today 216 (2013) 211-219
- [16] Sivashunmugam S.,Churchil, A.A. and Kannan,S. Tranesterification of edible, non-edible and used cooking for biodiesel production using calcined layered double hydroxides as reusable base catalysts. Bioresource Technology 109 (2012) 57-62
- [17] Yi-Tong,W., Fang,Z., Zhang,F. and Bao-Jin,X. One-step production of biodiesel from oils with high acid value by activated Mg-Al hydrotalcite nanoparticles. Bioresource Technology 193 (2015) 84-89

[18] Lin Deng, Zhou Shi and Xiaoxu Peng. Adsorption of Cr(VI) onto magnetic CoFe₂O₄/MgAl-LDH composite and mechanism study. [Online]. Available: <http://pubs.rsc.org/en/content/getauthorversionpdf/C5RA06178D> เข้าเมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2561

[19] Kagunya,W., Hassan,Z. and Jones,W., Catalytic Properties of Layered Double Hydroxides and Their Calcined Derivatives. Inorg. Chem 35 (1996) 590-5974

[A] Puttaswamy, N.S. and Kamath, V. Reversible Thermal Behavior of Layered Double Hydroxides a Thermogravimetric Study. Journal of Materials Chemistry, 7 (1997) 1941-1945

[20] Naveen,B., Tsung-Yen,T. and Yang-Zhi,Y. Synthesis and characterization of Poly(ethylene terephthalate)/bio inorganic modified LiAl LDH nanocomposites. Materials Today: Proceeding 3 (2016) 1415-1422

[21] Kamellia,N., Karim,A., Zolfaghar,R. and Rogayah,P. Determination of 2-Nitrophenol by Electrochemical Synthesized Mg/Fe Layered Double Hydroxide Sensor. Int. J. Electrochem.Sci. 9 (2014) 5222-5234

[22] Puttaswamy, N.S. and Kamath, V. Reversible Thermal Behavior of Layered Double Hydroxides a Thermogravimetric Study. Journal of Materials Chemistry, 7 (1997) 1941-1945

[23] Shumaker, J.L., Crofcheck, C., Tackett, S.A., Santillan-Jimenez, E. and Crocker, M. Biodiesel production from soybean oil using calcined Li-Al layered double hydroxide catalysts. Catalysis Letters 115 (2007) 56-61

[24] พลอยรุ่ง พิมสุวรรณ และสุธินี ตั้งสมสุข. การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ ออกไซด์ผสมของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ปรับปรุงด้วยเกลือโพแทสเซียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. ปรินญาณพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2557)

[25] Wenlei, X. and Tao, W. Biodiesel production from soybean oil transesterification using tin oxide-supported WO₃ catalysts. Fuel Processing Technology 109 (2013) 150-155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

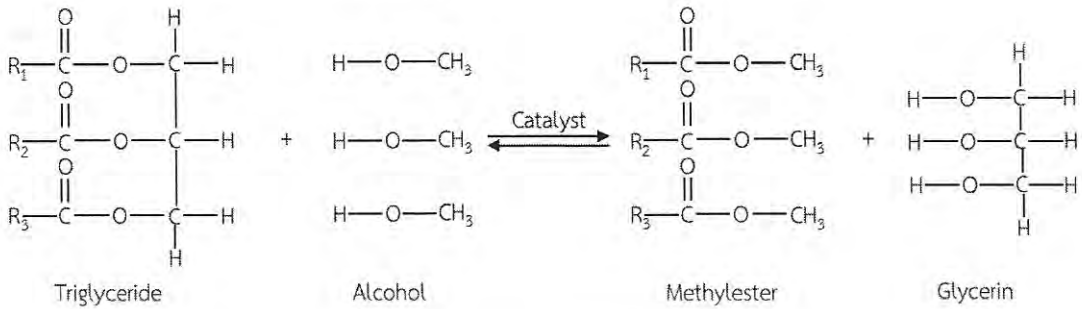


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

1. การคำนวณหาร้อยละของเมทิลเอสเทอร์



จากสมการแสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันต้องใช้ 3 โมลของเมทานอล และ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ เพื่อที่จะได้ 3 โมลของเมทิลเอสเทอร์กับ 1 โมลของกลีเซอรอล ดังนั้นร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (%yield) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้}}{\text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ตามทฤษฎี}} \times 100 \quad (1)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ที่สภาวะการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ใช้ น้ำมันพืช 50.00 กรัม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Mg-Al ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยโมลของโลหะ เท่ากับ 2:1 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม เท่ากับ 15:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2% โดยน้ำหนัก และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง พบว่าน้ำหนักของไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 42.43 กรัม

ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ หาได้จาก

$$\text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ตามทฤษฎี} = 50.00 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้} = 42.43 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (\%yield)} &= (42.43/50.00) \times 100 \\
 &= 84.86\%
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การคำนวณหาขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

สามารถคำนวณหาขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ได้จากสมการของเซอร์เรอร์ (Scherrer equation) ดังแสดงในสมการที่ ข-1

$$\text{สูตร} \quad D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (\text{ข-1})$$

โดยที่ D คือ ขนาดของผลึก

K คือ ค่าคงที่ของเซอร์เรอร์ มีค่าเท่ากับ 0.94

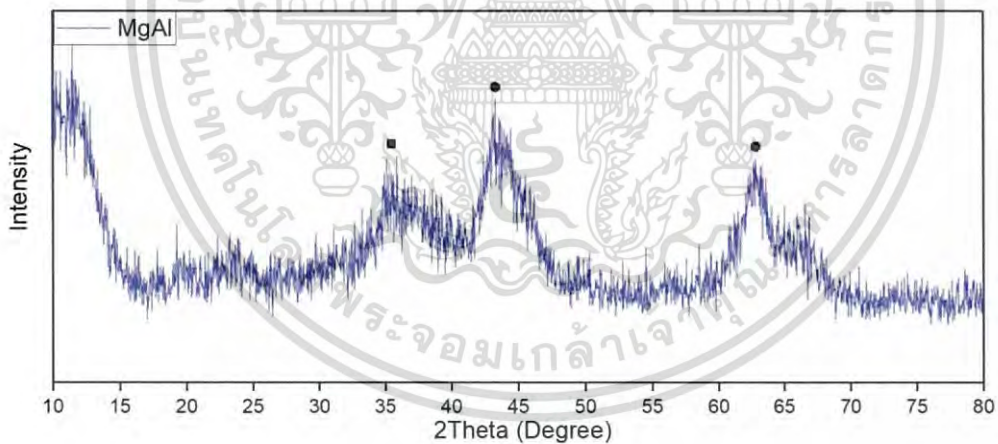
λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ มีค่าเท่ากับ 1.5406 อังสตรอม

β คือ ค่าความกว้างที่ความสูงครึ่งหนึ่งของพีค (Full Width at Half Maximum, FWHM) ของพีคในมุมเรเดียนที่ 2θ (หน่วย : เรเดียน, rad)

θ คือ มุมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (หน่วย : องศา)

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณหาขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้



รูปที่ ข.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ LDH ชนิด Mg-Al (1:1)

แคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส

จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่า ที่มุม 2θ เท่ากับ 43.6931° จะได้ θ เท่ากับ 21.84655° โดยความกว้างที่ความสูงครึ่งหนึ่งของพีค (FWHM) มีค่าเท่ากับ 3.7625° และจากมุม 180° มีค่าเท่ากับ π (rad)

$$\text{ถ้าหากมุม } 3.7625^\circ \text{ จะมีค่าเท่ากับ } \frac{\pi \text{ (rad)} \times 3.7625^\circ}{180^\circ} = 0.0657^\circ$$

จากสมการของเซอร์เรอร์

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$$

$$D = \frac{0.94 \times 1.5406 \text{ \AA}}{0.0657 \text{ (rad)} \times \cos(21.84655^\circ)}$$

$$D = 23.7475 \text{ \AA}$$

ดังนั้น ขนาดผลึกของ Mg-Al (1:1) แคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 23.7475 อังสตรอม

ตารางที่ ข.1 การคำนวณหาขนาดผลึกเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ขนาดของผลึกเฉลี่ย
Mg-Al (1:1)	23.7475*
Mg-Al (2:1)	40.0899*
Mg-Al (3:1)	39.1466*
Mg-Al (4:1)	41.4142*
Li-Al (1:1)	54.9468**
Mg-Fe (1:1)	-

หมายเหตุ : * ขนาดผลึกของ MgO คำนวณได้จาก Scherrer equation

** ขนาดผลึกของ LiAlO₂ คำนวณได้จาก Scherrer equation

*** Mg-Fe (1:1) มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน จึงไม่สามารถหาขนาดของผลึกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

1. ตารางบันทึกผลร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ในสภาวะต่างๆ

ตารางที่ ค.1 ผลของโลหะที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อ ร้อยละเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วน โดย โมลของ โลหะใน LDH	เวลาใน การเผา (ชั่วโมง)	อัตราส่วนโดย โมล Methanol:Oil	ปริมาณ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาใน การทำ ปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก น้ำมันที่ ซั่งได้ (g)	น้ำหนัก เมทิลเอส เทอร์ที่ ซั่งได้ (g)	ร้อยละ ของเมทิล เอสเทอร์ (%)
Mg-Al	1:1	3	12:1	2	2	50.0219	31.0286	62.03
	1:1	-	12:1	2	2	50.0041	28.2623	56.52
Li-Al	1:1	3	12:1	2	2	50.0072	28.1440	56.28
	1:1	-	12:1	2	2	50.0099	25.6651	51.32
Mg-Fe	1:1	3	12:1	2	2	50.0796	18.6747	37.29
	1:1	-	12:1	2	2	50.2136	16.1537	32.17

ตารางที่ ค.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของโลหะ ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วน โดยโมลของ โลหะใน LDH	อัตราส่วนโดย โมล Methanol:Oil	ปริมาณ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาใน การทำ ปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก น้ำมันที่ ซั่งได้ (g)	น้ำหนัก เมทิลเอส เทอร์ที่ซั่งได้ (g)	ร้อยละ ของเมทิล เอสเทอร์ (%)
Mg-Al	1:1	12:1	2	2	50.0219	31.0286	62.03
	2:1	12:1	2	2	50.0139	36.7452	73.47
	3:1	12:1	2	2	50.0972	34.4669	68.80
	4:1	12:1	2	2	50.0059	34.1824	68.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะใน LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำมันที่ซั่งได้ (g)	น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ที่ซั่งได้ (g)	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%)
Mg-Al	2:1	8:1	2	2	50.0027	28.1865	56.37
		10:1	2	2	50.1415	32.4888	64.79
		12:1	2	2	50.0219	36.7504	73.47
		15:1	2	2	50.0052	42.4335	84.86
		20:1	2	2	50.1031	39.4768	78.79

ตารางที่ ค.4 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วนโดยโมลของโลหะใน LDH	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำมันที่ซั่งได้ (g)	น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ที่ซั่งได้ (g)	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%)
Mg-Al	2:1	15:1	1	2	50.0813	39.4184	78.71
			2	2	50.0052	42.4335	84.86
			3	2	50.1141	39.5978	79.02
			5	2	50.0291	36.3962	72.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา LDH	อัตราส่วน โดยโมลของ โลหะใน LDH	อัตราส่วนโดย โมล Methanol:Oil	ปริมาณ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา (wt.%)	เวลาใน การทำ ปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก น้ำมันที่ ซังได้ (g)	น้ำหนัก เมทิลเอส เทอร์ที่ซังได้ (g)	ร้อยละ ของเมทิล เอสเทอร์ (%)
Mg-Al	2:1	15:1	2	1	50.0249	35.6966	71.36
				2	50.0052	42.4335	84.86
				4	50.0622	40.3551	80.61
				6	50.0337	38.4259	76.80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 20 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า นางสาว นิตา	ศิริมณฑร	รหัสประจำตัว	57050438
นาย พงศ์ชัย	มงคลสุดสวาท	รหัสประจำตัว	57050463
นางสาว เพชรรัตน์	เสร็จประสงค์	รหัสประจำตัว	57050480

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

ชื่อภาษาอังกฤษ Synthesis of Biodiesel from Palm Oil using Layered Double Hydroxides as Catalysts

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน

เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม

โครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขรวิสุทธิ์ 2.40 %

ลงชื่อ นิตา ศิริมณฑร ลงชื่อ พงศ์ชัย มงคลสุดสวาท ลงชื่อ เพชรรัตน์ เสร็จประสงค์

(นางสาวนิตา ศิริมณฑร) (นายพงศ์ชัย มงคลสุดสวาท) (นางสาวเพชรรัตน์ เสร็จประสงค์)

นักศึกษา

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ
ของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลง
ชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

(ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้