

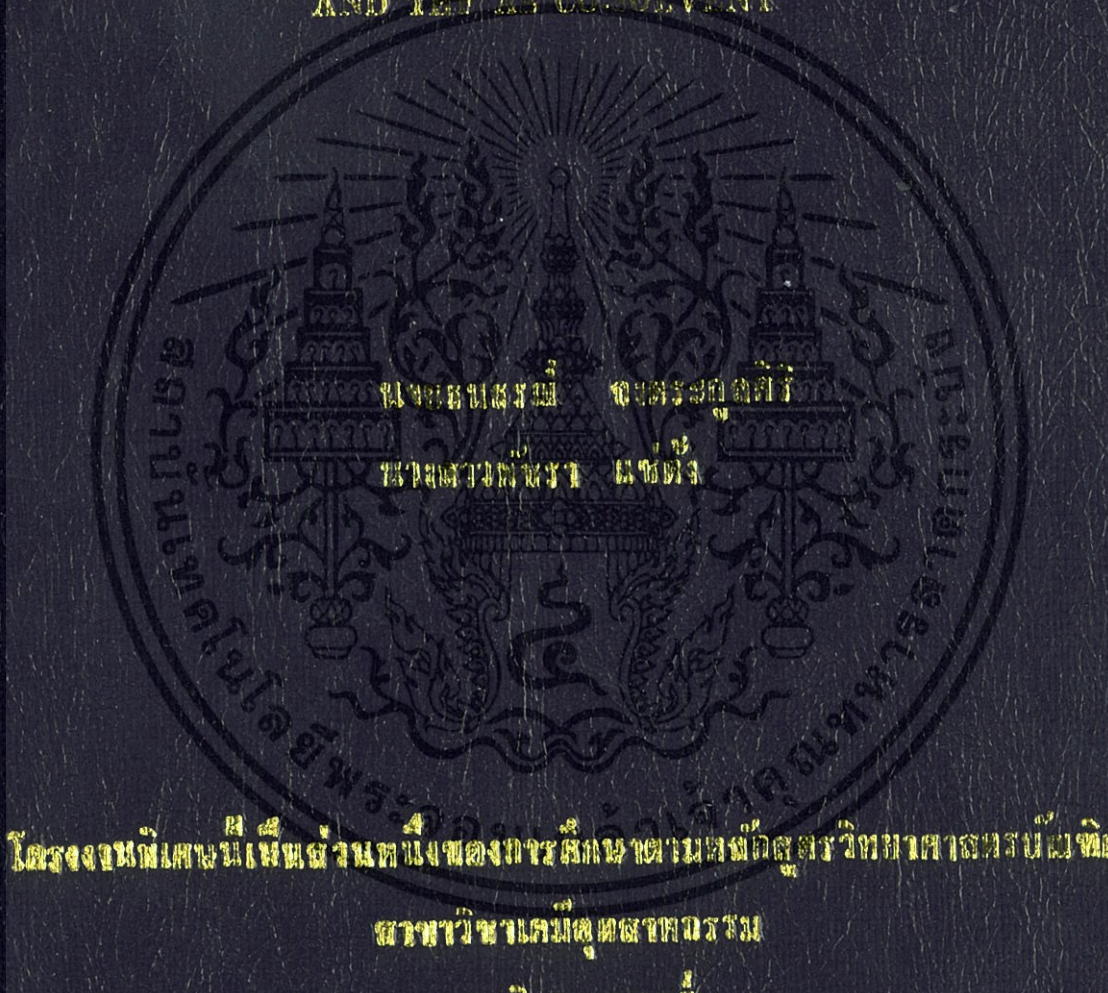
การเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของ

แมกนีเซียมและแคลเซียมในโซลเวนต์ biodiesel และ THF เป็นตัวทำละลายร่วม

ACCELERATING TRANSESTERIFICATION REACTION OF PALM OIL WITH

MIXED OXIDES OF MAGNESIUM AND CALCIUM CATALYSTS USING BIODIESEL

AND THF AS CO-SOLVENT



โครงการนี้เสนอเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏปัตตานี

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของ
แมกนีเซียมและแคลเซียมโดยใช้ไบโอดีเซลและTHFเป็นตัวทำละลายร่วม

ACCELERATING TRANSESTERIFICATION REACTION OF PALM OIL WITH
MIXED OXIDES OF MAGNESIUM AND CALCIUM CATALYSTS USING BIODIESEL
AND THF AS CO-SOLVENT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ACCELERATING TRANSESTERIFICATION REACTION OF PALM OIL WITH
MIXED OXIDES OF MAGNESIUM AND CALCIUM CATALYSTS USING BIODIESEL
AND THF AS CO-SOLVENT**

MR. THANATORN CHONGTRAKULSIRI

MISS PATCHARA SAETANG

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL
CHEMISTRY**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมโดยใช้ไบโอดีเซลและ THF เป็นตัวทำละลายร่วม

ชื่อนักศึกษา นาย ธนธรณ์ จงตระกูลศิริ 53050238

นางสาว พัชรา แซ่ตั้ง 53050291

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. พัทธ์ณี เจริญยิ่ง	ผศ.ดร. พัทธ์ณี เจริญยิ่ง
ดร.ปานไพลิน สีหาราช	ดร.ปานไพลิน สีหาราช
ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล	ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ โครงการพิเศษ การเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมโดยใช้ไบโอดีเซลและ THF เป็นตัวทำละลายร่วม

ชื่อนักศึกษา นาย ธนธรณ์ จงตระกูลศิริ

นางสาว พัทธรา แซ่ตั้ง

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและเมทานอลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเตรียมจากวิธีการตกตะกอนร่วม รวมถึงทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วน โดยโมลของแมกนีเซียมต่อแคลเซียม อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมไบโอดีเซลต่อเทระไฮโดรฟูแรน อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนโดยโมลแมกนีเซียมต่อแคลเซียมเป็น 1:1 ให้ปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น นอกจากนี้พบว่าปฏิกิริยาที่มีการใช้ตัวทำละลายร่วมผสมระหว่างไบโอดีเซลและเทระไฮโดรฟูแรนที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 75:25 จะให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าการไม่ใช้ตัวทำละลายร่วม สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์คือ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแมกนีเซียมต่อแคลเซียมเป็น 1:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 อัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลต่อเทระไฮโดรฟูแรน 75:25 เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส

Title Accerating Transesterification Reaction of Palm Oil with Mixed Oxides of
Magnesium and Calcium Catalyst Using Biodiesel and THF as Co-Solvent

Students Mr. Thanatorn Chongtrakulsiri

 Miss. Patchara Saetang

Degree Bachelor of Science

Major Industrial chemistry

Academic Year 2013

Advisor Dr. Amnat Permsubscul

ABSTRACT

The objectives of this research were to determine the optimum condition for the synthesis of biodiesel via transesterification reaction of palm oil with methanol using mixed oxide of magnesium and calcium (MgCaO) as catalyst that prepared by co-precipitation method. The variables that affect on the yield of methyl ester, namely the type of catalyst, mole ratio of magnesium and calcium, volume ratio of biodiesel and tetrahydrofuran (THF), the quantity of catalyst and reaction time were also studied. The results shown that mixed oxide of magnesium and calcium (MgCaO) gave the highest yield of methyl ester than magnesium oxide (MgO) and calcium oxide (CaO). In addition, the reaction using of mixed co-solvent between biodiesel and THF at the volume ratio of 75:25 was found to be more effective than the reaction without co-solvent. Moreover, the results also indicated that the optimum condition when using MgCaO with the mole ratio of magnesium to calcium of 1:1, the catalyst amount of 3% w/w, methanol/oil mole ratio of 10:1, the volume ratio of biodiesel/tetrahydrofuran of 75:25 at 60 ± 5 °C for 3 hours.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วง ได้เป็นอย่างดีความกรุณาจาก ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง และตรวจทานแก้ไขโครงการฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พัทธนี เจริญยิ่ง และดร. ปานไพลิน สีหาราช กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อชี้แนะ และตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พัทธนี เจริญยิ่ง ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และสารเคมี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์สาร

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ต่างกลุ่ม ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจกันเสมอ

นาย ธนธรณ์ จงตระกูลศิริ

นางสาว พัทธรา แซ่ตั้ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูปภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช.....	5
2.2 ไบโอดีเซล (Biodiesel)	7
2.2.1 ประเภทของไบโอดีเซล	8
2.2.2 กระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2.1 การนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงและการผสม (Direct use and blending).....	8
2.2.2.2 การทำไมโครอิมัลชัน (Microemulsion).....	9
2.2.2.3 การแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking or Pyrolysis).....	9
2.2.4 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	10
ก. การทำปฏิกริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	12
ข. การทำปฏิกริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	13
ค. การทำปฏิกริยาในภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล.....	14
จ. การทำปฏิกริยาโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	16
ฉ. การทำปฏิกริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาแบบวิวิธพันธ์.....	16
2.3 ชนิดของตัวเร่งปฏิกริยา.....	17
2.3.1 ตัวเร่งปฏิกริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst).....	17
2.3.2 ตัวเร่งปฏิกริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst).....	17
2.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกริยา.....	18
2.4.1 การเตรียมตัวเร่งกลุ่มออกไซด์.....	18
2.4.2 การเตรียมออกไซด์ผสม.....	18
2.4.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกริยาโดยการวางองค์ประกอบที่ว่องไวบนตัวรองรับ.....	18
2.4.3.1 การตกตะกอน.....	18
2.4.3.2 การดูดซับ.....	20
2.4.3.3 การแลกเปลี่ยนไอออน.....	21
2.4.3.4 การทำให้เอบซึม.....	21
2.4.4 การเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกริยาให้อยู่ในรูปที่ว่องไว.....	22
2.4.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกริยาแบบอื่นๆ.....	23
2.4.5.1 Raney metal.....	23
2.4.5.2 Reduced fused oxides.....	23
2.5 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 ปัจจัยที่ผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	24
2.6.1 ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ.....	24
2.6.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน.....	25
2.6.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	26
2.6.4 ผลของเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา.....	27
2.6.5 ผลของอัตราการกวนผสม.....	27
2.7 ผลิตภัณฑ์ร่วมจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	27
2.7.1 คุณสมบัติของกลีเซอรอล.....	27
2.8 สมบัติด้านเชื้อเพลิงที่สำคัญของไบโอดีเซล.....	28
2.8.1 ค่าความร้อน (Heating value).....	29
2.8.2 จุดวาบไฟ (Flash point).....	29
2.8.3 ค่าความหนืด (Viscosity).....	29
2.8.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value).....	29
2.8.5 เลขไอโอดีน (Iodine value).....	29
2.9 ประโยชน์ของไบโอดีเซล.....	29
2.9.1 ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม.....	30
2.9.2 ประโยชน์ด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	31
2.9.4 ประโยชน์ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศ.....	31
2.9.5 ประโยชน์ด้านความมั่นคง.....	31
2.10 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์.....	32
2.11 ตัวทำละลายร่วมสำหรับผลิตไบโอดีเซล (Co-solvent for biodiesel production).....	34
2.11.1 เทตระไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran, THF).....	35
2.11.2 เมทิล เทอร์บิวทิล อีเทอร์ (Methyl tert-butyl, MTBE).....	35
2.11.3 Petroleum Ether.....	36
2.11.4 เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl, MEK).....	36
2.12 แมกนีเซียมออกไซด์.....	37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.12.1 การประยุกต์ใช้.....	38
2.12.2 ข้อควรระวัง.....	39
2.13 แคลเซียมออกไซด์.....	39
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41
บทที่ 3 การดำเนินการ.....	45
3.1 สารเคมี.....	45
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	45
3.3 วิธีการทดลอง.....	46
3.3.1 การสังเคราะห์ไบโอโอติเซลซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายร่วม.....	47
3.3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียม (MCO) จากวิธีการตกตะกอนร่วม.....	49
3.3.3 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาMCO.....	50
3.3.4 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	53
3.3.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเมทิลเอสเทอร์.....	55
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	56
4.1 การศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	56
4.1.1 ความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	56
4.1.2 สันฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	61
4.1.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะตัวเร่งปฏิกิริยา.....	63
4.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	64
4.2.1 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	64
4.2.2 ผลของชนิดตัวทำละลายร่วมและอัตราส่วน โดยปริมาตร.....	69
4.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน.....	72
4.2.4 ผลของปริมาณตัวเร่งในปฏิกิริยา.....	74

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา.....	76
4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์.....	78
4.3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fouier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR).....	78
4.3.2 การวิเคราะห์เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fouier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer, FT-NMR).....	80
บทที่ 5 การสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	82
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	82
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
เอกสารอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชต่างๆ.....	6
2.2 องค์ประกอบกรดไขมัน และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้ว.....	7
2.3 สมบัติของไหลภาวะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับแก๊สและของเหลว.....	15
2.4 แสดงความแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเบส และ เอนไซม์.....	26
2.5 แสดงคุณสมบัติมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล.....	30
2.7 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษใน ไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซล.....	33
2.8 แสดงการเปรียบเทียบการใช้ไบโอดีเซล 100% (B100)และน้ำมันดีเซลซึ่งผสมด้วยไบโอดีเซล 20% (B20).....	33
2.9 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวทำละลายร่วม.....	37
3.1 ความเข้มข้นและปริมาณของ $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ และ $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา MCO.....	49
3.2 ศึกษาผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์.....	51
3.3 ศึกษาอัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลต่อTHFที่มีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์.....	51
3.4 ศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน.....	52
3.5 ศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา.....	52

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.6	ศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา.....53
4.1	พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา วิเคราะห์โดยใช้ไอโซเทอมแบบBET.....63
4.3	ผลของชนิดตัวทำละลายร่วมและอัตราส่วน โดยปริมาตรที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์.....69
4.4	ผลของอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....73
4.5	ตารางแสดงผลการทดลองศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์.....74
4.6	ผลเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1.....76
4.7	แสดงหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์ที่การดูดคลื่นแสงที่ความถี่ต่างๆ.....79

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของไบโอดีเซล.....	5
2.2 ปฏิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน.....	10
2.3 ปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	11
2.4 การทำปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิริยา.....	13
2.5 การทำปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิริยา.....	14
2.6 เฟสไดอะแกรมของของไหลเหนือภาวะวิกฤต.....	16
2.7 ขั้นตอนในการเตรียมตัวเร่งปฏิริยาด้วยวิธีตกตะกอน.....	19
2.8 (a) การเตรียมโดยวิธีการคูดซับ.....	20
(b) ไอโซเทอมของการคูดซับของไอออนที่เป็นตัวเร่งปฏิริยา.....	20
2.9 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิริยาด้วยวิธีเอิบซุ่ม.....	22
2.10 แสดงปฏิริยาการเกิดสบู่.....	24
2.11 ปฏิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	25
3.1 การตั้งอุปกรณ์สำหรับการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์.....	47

สารบัญรูปรภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 การแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลในกรวยแยก.....	48
3.3 เมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการควบแน่นด้วยแอนไฮดริส โซเดียมซัลเฟต.....	48
3.4 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (XRD).....	53
3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	54
3.6 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวตามวิธีของ BET (Surface Area and Porosity Analyzer).....	54
3.7 เครื่องฟูเรียทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR).....	55
3.8 เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-NMR).....	55
4.1 รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO).....	57
4.2 รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของแคลเซียมออกไซด์ (CaO).....	57
4.3 รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่อัตราส่วนโดยโมล Mg ต่อ Ca เป็น (MgCaO-0.5).....	58
4.4 รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่อัตราส่วนโดยโมล Mg ต่อ Ca เป็น (MgCaO-1).....	59
4.5 รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่อัตราส่วนโดยโมล Mg ต่อ Ca เป็น (MgCaO-2).....	59

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 สัณฐานวิทยาของ MgO.....	61
4.7 สัณฐานวิทยาของ CaO.....	62
4.8 สัณฐานวิทยาของ MgCaO-2.....	62
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดตัวเร่งปฏิกิริยากับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	65
4.10 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน บน CaO โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของ Mg และ Ca (MgCaO).....	67
4.11 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันบน MgO โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของ Mg และCa (MgCaO).....	68
4.12 ผลของชนิดตัวทำละลายร่วมที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	70
4.13 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	73
4.14 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	75
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1.....	77

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1 ปริมาณตัวเร่งร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 180 นาที.....	78
4.17 สเปกตรัมของน้ำมันปล้ำมจากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	80
4.20 FT-NMR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 180 นาที และอัตราส่วนโดยปริมาตรของ BD:THF 75:25.....	81

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ในปัจจุบันราคาของปิโตรเลียมในตลาดโลกนั้นไม่เสถียรและทำให้เกิดภาวะโลกร้อนซึ่งส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เมื่อวิกฤตน้ำมันของโลกมีมากขึ้นเป็นลำดับราคาน้ำมันดิบสูงมากเป็นประวัติการณ์และไม่มีทีท่าว่าจะลดลง เนื่องจากมีการคาดการณ์ว่าน้ำมันกำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ รวมถึงปัญหาทางภาคการเกษตรด้านผลผลิตสินค้าเกษตร ราคาตกต่ำ ปัญหาทางการเงินของประเทศที่ต้องการรักษาเงินตราต่างประเทศ และที่สำคัญคือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้นส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ทำให้มีการมองหาพลังงานทางเลือกซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลเป็นน้ำมันทางเลือกใหม่ที่ผลิตจากพืช หรือไขมันสัตว์ โดยน้ำมันชนิดนี้เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์แล้วพบว่ามีความสมบัติในการเผาไหม้ได้ดีไม่ต่างจากน้ำมันจากปิโตรเลียม แต่มีข้อดีกว่าหลายอย่าง คือ มีการเผาไหม้ที่สะอาดกว่า ไอเสียมีคุณภาพที่ดีกว่า เพราะออกซิเจนในไบโอดีเซลทำให้มีการสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลปกติ จึงมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่า และเนื่องจากไม่มีกำมะถันในไบโอดีเซล จึงไม่มีปัญหาสารซัลเฟต นอกจากนี้ยังมีเขม่าคาร์บอนน้อย ไม่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบไอเสียง่าย ช่วยยืดอายุการใช้งานได้เป็นอย่างดี จึงมีการเพิ่มการใช้พลังงานทดแทนในประเทศต่างๆ ทั่วโลก ไบโอดีเซลจึงเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงทดแทนทางเศรษฐกิจมากที่สุด [1]

ไบโอดีเซล มีจุดเริ่มต้นมาจากประเทศในแถบยุโรปมีการทดลองกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในปี พ.ศ.2525 โดยใช้เม็ลส์เรฟ ณ สถาบัน Institute of Organic Chemistry, Graz, Austria ปัจจุบันในสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกา มีการผลิตและจำหน่ายอย่างกว้างขวางโดยได้รับการยอมรับจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์และผู้ค้าน้ำมันกว่า 28 ประเทศทั่วโลกมีการศึกษาและพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่อง และในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา ประเทศที่ผลิตไบโอดีเซลเป็นอุตสาหกรรมมากที่สุด

5 อันดับแรก ได้แก่ เยอรมนี ฝรั่งเศส อิตาลี สหรัฐอเมริกา และออสเตรีย ประเทศสหรัฐอเมริกานิยมใช้น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันใช้แล้ว (Used cooking oil) เป็นวัตถุดิบ ประเทศที่พัฒนาแล้ว ใช้น้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และไขสัตว์ เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล [2,3]

น้ำมันไบโอดีเซลถูกนำมาทดลองใช้ในเครื่องยนต์เป็นผลสำเร็จครั้งแรกของโลก โดย "รูดอล์ฟ ดีเซล" (Rudolf C. Diesel : 1858 - 1913) วิศวกรชาวเยอรมัน ผู้ประดิษฐ์เครื่องยนต์ที่มีชื่อว่า " ดีเซล " เป็นผลสำเร็จในปี 1893 และจดสิทธิบัตรในปีถัดมา ไบโอดีเซลช่วยประเทศชาติแก้ไขปัญหาวิกฤตพลังงาน เนื่องจากไบโอดีเซลมีคุณสมบัติเทียบเคียงน้ำมันดีเซล และผลิตได้จากพืชน้ำมันในประเทศจึงช่วยลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศได้ การพัฒนาและการส่งเสริมไบโอดีเซลจึงช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล และช่วยสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศ นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังช่วยสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศ ในด้านเกษตรอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย[4]

โดยทั่วไปแล้วไบโอดีเซลจะผลิตจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ของ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์กับเอทานอลหรือเมทานอล โดยกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของกลีเซอไรด์ให้อยู่ในรูปของเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl ester) หรือเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) แต่ปัญหาที่พบคือในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันมีสบู่มักเกิดขึ้นปริมาณมากทำให้ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ลดลงและยังต้องทำให้ไบโอดีเซลเป็นกลางโดยผ่านขั้นตอนการล้างหลายครั้งจึงทำให้เกิดน้ำทิ้งจำนวนมากอีกด้วย [4]

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยใช้ออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบบิวริพันธ์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของ Mg และ Ca ในตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อ น้ำมันปาล์ม ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อได้ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและสถานะของปฏิกิริยาที่ให้อัตราส่วนของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดแล้ว จะทำการเติมตัวทำละลายร่วม ได้แก่ ไบโอดีเซลและเททระไฮโดรฟูแรนเข้าไปในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อศึกษาถึงความสามารถของตัวทำละลายร่วมในปรับปรุงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่เตรียมจากวิธีการตกตะกอนร่วมในอัตราส่วนโดยโมลต่างๆเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์
- 2) เพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่เตรียมจากวิธีการตกตะกอนร่วม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของ Mg ต่อ Ca อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยาและอัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลต่อเทพระไฮโดรฟูแรนซึ่งเป็นตัวทำละลายร่วม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มและเมทานอลเมื่อใช้ออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่เตรียมจากวิธีการตกตะกอนร่วมในอัตราส่วนโดยโมลต่างๆกัน ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่

1. ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่

1.1 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

1.2 แคลเซียมออกไซด์ (CaO)

1.3 ออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียม (MgCaO) ที่อัตราส่วนโดยโมล Mg ต่อ Ca ดังนี้

1.3.1 อัตราส่วนโดยโมล Mg/Ca = 0.5:1 (MgCaO-0.5)

1.3.2 อัตราส่วนโดยโมล Mg/Ca = 1:1 (MgCaO-1)

1.3.3 อัตราส่วนโดยโมล Mg/Ca = 2:1 (MgCaO-2)

2. อัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลต่อเทพระไฮโดรฟูแรนซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายร่วม คือ

100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ช่วงที่ทำการศึกษาคือ 1% , 2% , 3% และ 5% โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันปาล์ม

4. อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ช่วงที่ทำการศึกษา คือ 6:1 , 8:1 , 10:1 และ 12:1

5. เวลาของการทำปฏิกิริยา คือ 60 , 120, 180 และ 240 นาที

2) ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของไบโอดีเซล โดยใช้เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier – Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) และเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer , FT-NMR)

3) ศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่

1. ความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrophotometer, XRD)
2. สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
3. พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวตามวิธีของ BET (Surface Area and Porosity Analyzer)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงอัตราส่วน โดยโมลแมกนีเซียมต่อแคลเซียมที่เป็นองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด
- 2) ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรสถานะที่มีต่อร้อยละของไบโอดีเซล ได้แก่ อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อ น้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาของปฏิกิริยาและชนิดของตัวทำละลายร่วม
- 3) ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลที่มีร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด

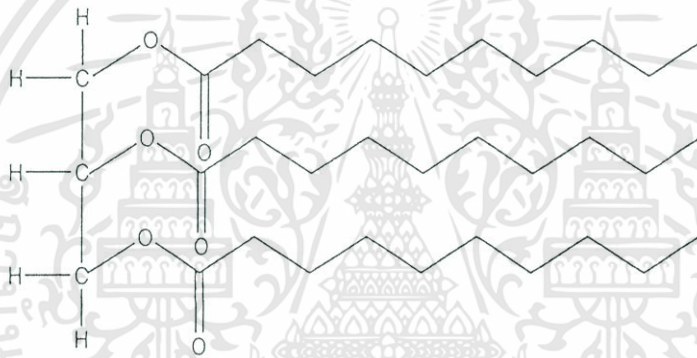
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช [5]

โดยทั่วไปแล้วน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ทุกชนิดเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์มีกรดไขมันชนิดต่างๆกันเป็นองค์ประกอบ โดยที่มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมีและกายภาพ แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

น้ำมันพืชเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์มีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 98 ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์รีฟิเคชันของกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระส่วนประกอบที่เหลือจะเป็นส่วนของไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ ซึ่งส่วนใหญ่มีคาร์บอนในกรดไขมันระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันพืชแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่สูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำและมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ลดลงหรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้นไปจะมีค่าไอโอดีนสูงขึ้นไปตามลำดับ น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวเมื่อสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรส์แล้วน้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวข้น โดยทั่วไปค่าเลขไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีบอกถึงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นๆซึ่งบอกถึงความยากง่ายของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วย ถ้าน้ำมันมีค่าเลขไอโอดีนสูงจะเกิดปฏิกิริยา พอลิเมอร์ไรเซชันง่าย ดังนั้นควรเลือกใช้น้ำมันพืชที่

มีค่าเลขไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิง เพราะจะป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในเครื่องยนต์ในเบื้องต้น

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชต่างๆ [6]

น้ำมันชนิดดิบ	ค่าไอโอดีน	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
น้ำมันปาล์มโอสลิน	>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
น้ำมันปาล์มสเตียร์น	<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
น้ำมันเมล็ดสบูดำ	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 ND: ไม่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบกรดไขมัน และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้ว [6]

Fatty acid compositions (%)	
Dodecanoic acid	0.48
Tetradecanoic acid	0.91
Palmitic acid	37.05
Stearic acid	4.82
Oleic acid	46.20
Linoleic acid	10.54
Free fatty acid (%)	4.5
Iodine value	55.91
Saponification	209.53
Molecular weight	850.25

2.2 ไบโอดีเซล (Biodiesel) [7]

ปัจจุบันประเทศไทยต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียมที่กำลังจะหมดไป พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานจากแหล่งอื่น ๆ ที่สามารถใช้แทนแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลแบบตามแหล่งที่ได้เป็น 2 ประเภท คือ พลังงานสิ้นเปลืองเป็นพลังงานทดแทนจาก แหล่งที่ใช้แล้วหมดไป ได้แก่ ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ หินน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานหมุนเวียน เป็นพลังงานทดแทนจากแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม น้ำ เป็นต้น และ ที่ได้รับการกล่าวถึงมากที่สุดในตอนนี้คือ ไบโอดีเซล ซึ่งผลิต เป็นพลังงานทดแทนน้ำมัน และ ช่วยลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ และ ยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับภาคการเกษตรอีกด้วยไบโอดีเซล (biodiesel) คือเชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันพืช และ สัตว์ที่ผ่านกระบวนการทาง เคมีเกิดเป็นสารที่เรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่กลั่นจากปิโตรเลียมสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี โดยไม่ต้องทำการ ดัดแปลงเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ประเภทของไบโอดีเซล

1. น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ ไบโอดีเซลประเภทนี้คือ น้ำมันพืชแทน ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง หรือน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ซึ่งสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้

เลยโดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่น ๆ ไม่ต้องนำมาแปลงสมบัติของน้ำมันอีก

2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสม ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นลูกผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือ น้ำมันจากไขมันสัตว์ กับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล หรืออะโรกี้ได้ เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มี คุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ไบโอดีเซลประเภทนี้มีกระบวนการที่ย่างยากมากต้องผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า Transesterification คือ การนำน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ไปทำ ปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้เอสเทอร์

ดังนั้น ไบโอดีเซลเอสเทอร์มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดแต่ให้การเผาไหม้ที่สะอาดกว่า ไอเสียมีคุณภาพดีกว่าเพราะออกซิเจนในการสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล จึงทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย และในไบโอดีเซลเอสเทอร์ไม่มีกำมะถัน จึงไม่มีปัญหาเรื่องซัลเฟต นอกจากนี้ยังมีเขม่าคาร์บอนน้อย จึงไม่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบไอเสีย และยังช่วยยืดอายุ การทำงานของเครื่องยนต์ได้ดี

2.2.2 กระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม สามารถเตรียมได้ 4 ชนิด

2.2.2.1 การนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงและการผสม (Direct use and blending) ไบโอดีเซลประเภทนี้ เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมถือเป็นวิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชได้โดยตรงไม่ต้องเตรียมสารเคมีอื่นๆ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงความหนืด แต่ถ้าผสมมากเกินไปอาจเกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวได้ เพราะในน้ำมันพืชมีส่วนผสมของกรดไขมันอิสระที่นำไปสู่ปัญหาการเสื่อมสภาพน้ำมันเครื่อง ทำให้เกิดคราบยางเหนียวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษา และปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจากการเผาไหม้จึงเกิดคราบสะสมที่เครื่องยนต์ นอกจากนี้แล้ว น้ำมันพืชยังมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอช้าและน้อยมาก ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยาก เครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ที่ไม่

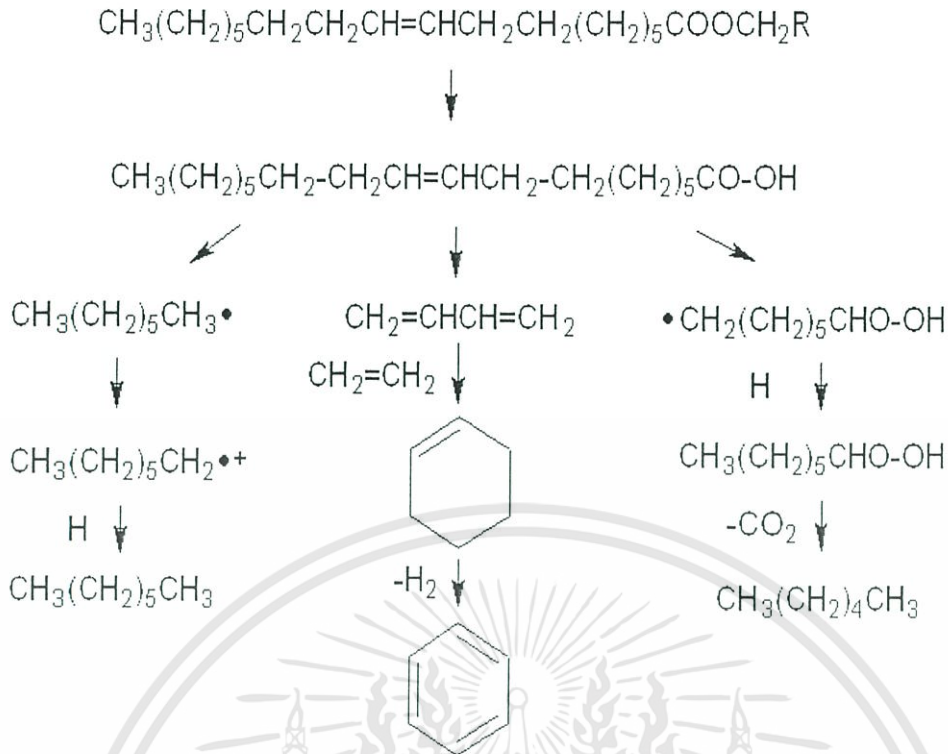
สมบูรณ์และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ และวาล์ว ทั้งนี้ในการนำน้ำมันพืชผสมกับ น้ำมันดีเซล พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 20:80 ตามลำดับ จะให้ผลเหมือนกับกรณีที่ใช้ น้ำมันดีเซลร้อยละ 100 ทำให้อัตราส่วนดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด

2.2.2.2 การทำไมโครอิมัลชัน(Microemulsion)

ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล ซึ่งของเหลวทั้งสองชนิดนี้จะไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะกระจายอยู่ได้ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุและไม่มีประจุ โดยเกิดในลักษณะการกระจายอนุภาคของเหลวในตัวกลางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางของเหลวอีกชนิดอย่างสมดุล มีขนาดอนุภาคในช่วง 1-150 นาโนเมตร วิธีนี้สามารถช่วยลดปัญหาความหนืดของน้ำมันพืชได้ดีเพราะผสมด้วยตัวทำละลาย เช่น 1- บิวทานอล, เมทานอล และ เอทานอล แต่ มักเกิดปัญหาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ตามมา

2.2.2.3 การแตกสลายด้วยความร้อน(Thermal cracking or Pyrolysis)

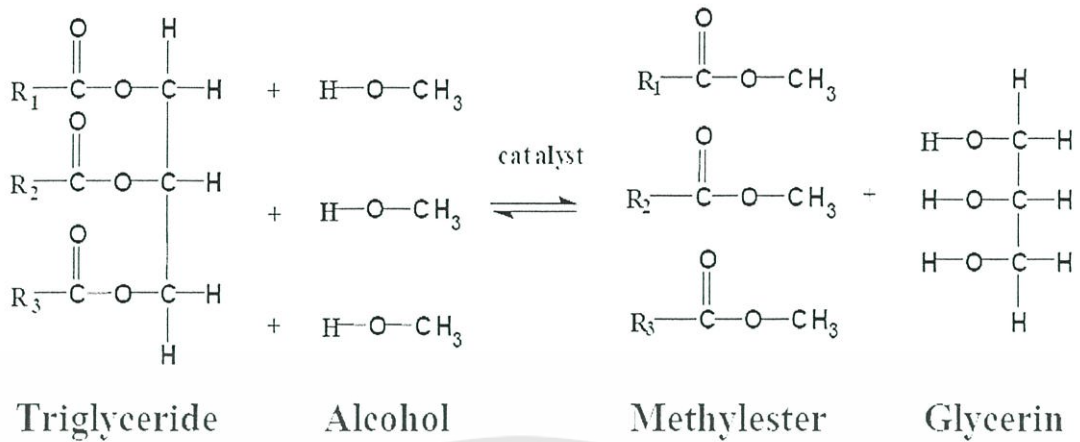
ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนจากสารหนึ่งไปเป็นสารอื่นๆมากกว่าหนึ่งสาร โดยอาศัยความร้อนเพียงอย่างเดียวหรือบางครั้งอาจใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วยแต่จะไม่ใช้ออกซิเจนหรือออกซิเจน กล่าวคือ นำน้ำมันพืชมาให้ความร้อนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อให้โมเลกุลของน้ำมันแตกตัวเป็น โมเลกุลที่เล็กลง ผลที่ตามมาคือทำให้ความหนืดของน้ำมันพืชลดลง แต่มักจะเกิดปัญหาที่สำคัญคือการควบคุมการเกิดผลิตภัณฑ์ทำได้ยาก



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน

2.2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นกรดหรือด่าง โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Mono alkyl Ester) ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) หรือ เอทิลเอสเทอร์ (Ethyl-Ester) และได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นกลีเซอรอลหรือกลีเซอรอล (Glycerine or Glycerol) ดังรูปที่ 2.3

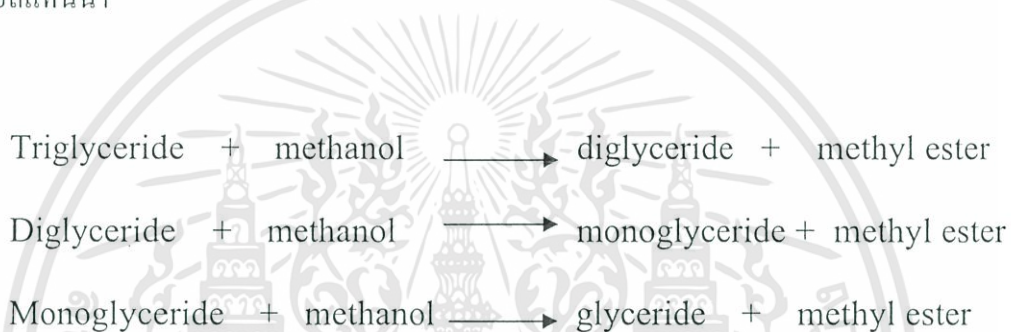


รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็น “ไบโอดีเซลที่แท้จริง” เป็นที่ยอมรับในสากลและมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย มีคำจำกัดความว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ “น้ำมันดีเซล” มากที่สุดทำให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ มีความคงตัวสูง สามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิดทั้งเดิมโดยตรงและผสมลงในน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน เช่น BS หมายถึงการผสมไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5.95 หรือ B100 ซึ่งเป็นน้ำมันไบโอดีเซล 100% เป็นต้น แต่ปัญหาคือต้นทุนการผลิตมีราคาแพงกว่าเมื่อเทียบกับไบโอดีเซลแบบอื่นๆ ปัจจุบันราคาของไบโอดีเซลยังคงสูงกว่าน้ำมันดีเซล 1-2 เท่าตัว อย่างไรก็ตาม การนำมาใช้กับเครื่องยนต์มักจะนำน้ำมันดีเซล มาผสมด้วยซึ่งในปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในระบบขนส่งมวลชน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีราคาไม่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก นอกจากนี้ ยังสามารถเผาไหม้ได้อย่างหมดจด ไม่มีเขม่าควันหลงเหลือให้เกิดเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

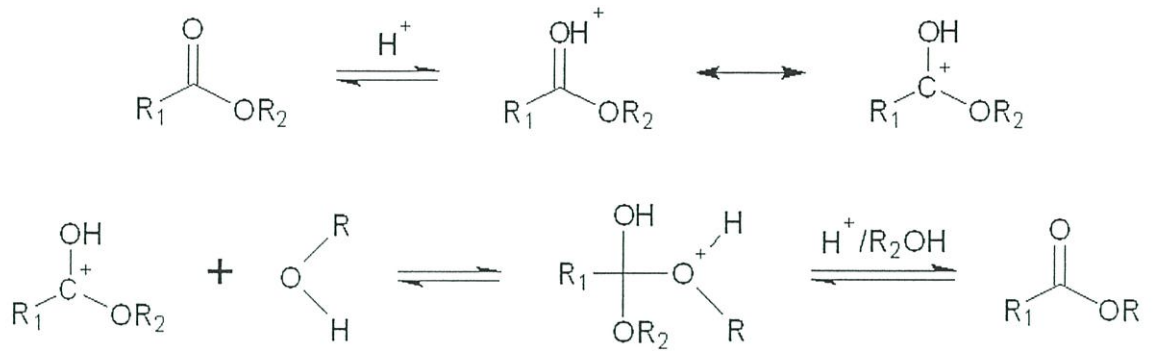
ความนิยมที่เพิ่มมากขึ้นเช่นนี้ ทำให้ปริมาณน้ำมันจำนวนมากนำไบโอดีเซลมาให้บริการกับลูกค้า เชื้อเพลิงชนิดนี้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง จุดวาบไฟของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้ว ค่าซีเทนที่เป็นดัชนีบอกระดับคุณภาพการติดไฟของไบโอดีเซลยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลอีกด้วย

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อยดังแสดงในรูป โดยอัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์และไตรกลีเซอไรด์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันสมบูรณ์เท่ากับ 3:1 แต่สามารถเร่งปฏิกิริยาให้เกิดไปข้างหน้าได้เร็วขึ้นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในการทำปฏิกิริยาคือเมทานอลหรือเอทานอล เนื่องจากราคาถูก หาง่าย เป็นโมเลกุลที่มีขั้วขนาดเล็กจึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว แต่มีข้อควรระวังในการทำปฏิกิริยาคือต้องไม่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน(saponification)ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ลดลงและการแยกเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลทำได้ยากขึ้น ดังนั้นการเตรียมเบสในปฏิกิริยาจะใช้วิธีการละลายเบส ในเมทานอลแทนน้ำ



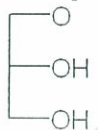
(ก) การทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา(Acid catalyst)

กรดที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ กรดซัลฟูริก(H_2SO_4) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะทำให้ได้ผลผลิตคือ น้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมาก แต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก อาจใช้เวลามากกว่า 1 วัน เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้เช่น ในน้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น



R = alkyl group of the alcohol

R₁ = carbon chain of the fatty acid

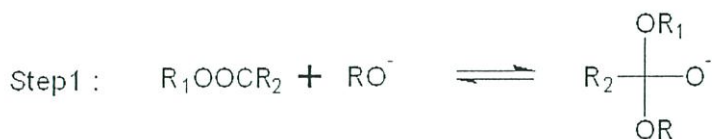
R₂ =  : glyceride

รูปที่ 2.4 การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

(ข) การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนโดยขั้นตอนที่ 1 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสจะเข้าทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์เกิดเป็นอัลคอกไซด์ (alkoxide, RO⁻) และโปรโตเนต (protonated, BH⁺) ในขั้นตอนที่ 2 อัลคอกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของไตรกลีเซอไรด์เกิดเป็นสารมัธยันต์เตตระฮีดรอล (tetrahedral intermediate) และขั้นตอนสุดท้าย แอนไอออนของไตรกลีเซอไรด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับโปรโตเนตเกิดเป็นไตรกลีเซอไรด์และให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสกลับคืนมา ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาจะกลับไปที่ยังขั้นตอนที่ 1 ใหม่แล้วให้อัลคิลเมสเทอร์และกลีเซอรอลออกมา สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



R_1OH : diglyceride

R_2 : long chain alkyl group

R : short alkyl group

รูปที่ 2.5 การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาเบสชนิดนี้ จะทำปฏิกิริยาเกิดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังให้ไบโอดีเซลในปริมาณที่สูงด้วย ส่วนข้อจำกัดตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสคือตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสสามารถแตกตัวในแอลกอฮอล์ได้และให้ไอออนของโลหะ ถ้าในระบบของการเกิดปฏิกิริยาและมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) อยู่มาก ไอออนของโลหะจะทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันกับกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ได้ผลิตภัณฑ์สบู่เกิดขึ้นแทนที่น้ำมันไบโอดีเซล ทำให้เกิดความยุ่งยากในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซล เนื่องจากสบู่ผสมกับน้ำจะได้อัลชันที่เสถียร ทำให้แยกไบโอดีเซลออกได้ยาก

(ค) การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต

จากตารางที่ 2.3 การทำปฏิกิริยาในภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอลเป็นวิธีที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะที่สภาวะนี้ต้องใช้อุณหภูมิสูง ทำให้พันธะไฮโดรเจนของเมทานอลอ่อนลงและสภาพขั้วของเมทานอลลดลง ทำให้เมทานอลกับน้ำมันพืชสามารถรวมเป็นเฟสเดียวกันได้

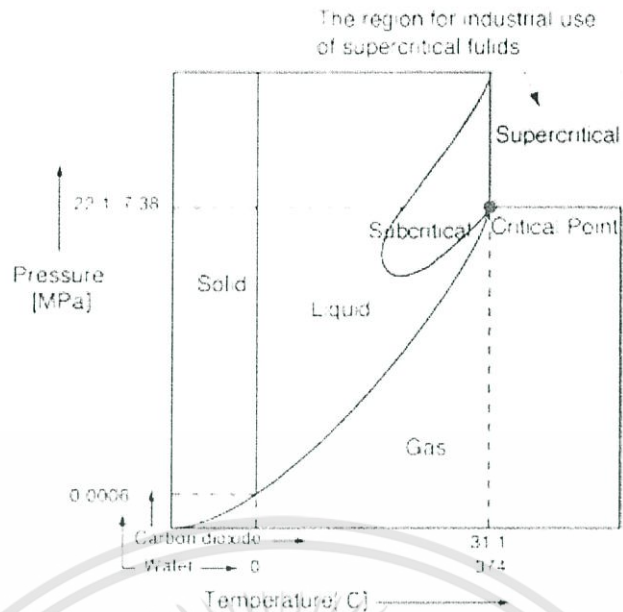
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สมบัติของไหลสถานะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับแก๊สและของเหลว

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

ของไหลเหนือภาวะวิกฤต หมายถึง สารใดๆ ในสถานะซึ่งจำแนกไม่ได้ว่าเป็นแก๊สหรือเป็นของเหลว เมื่อพิจารณาถึงแก๊สที่สามารถเปลี่ยนเป็นของเหลวได้มีอยู่ 2 วิธี โดยการลดอุณหภูมิหรือการเพิ่มความดัน เพื่อลดพลังงานจลน์ทำให้ระยะระหว่างโมเลกุลลดลงเกิดแรงดึงดูดระหว่างกันควบแน่นเป็นของเหลว แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดๆหนึ่งโมเลกุลของแก๊สจะมีพลังงานจลน์มากถึงแม้จะให้ความดันเท่าไรก็ไม่สามารถทำให้แก๊สเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวได้ อุณหภูมิสูงสุดที่แก๊สยังสามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้เรียกว่า อุณหภูมิวิกฤต ความดันที่จุดๆ นี้ เรียกว่า ความดันวิกฤต เพราะฉะนั้นจุดวิกฤตคือ จุดที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิวิกฤตและความดันเท่ากับความดันวิกฤต

ที่อุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิวิกฤต และความดันมากกว่าความดันวิกฤต เรียกว่า สถานะเหนือวิกฤต โดยสารที่อยู่ในสถานะนี้จะจำแนกไม่ได้ว่าเป็นแก๊สหรือเป็นของเหลว



รูปที่ 2.6 เฟสไดอะแกรมของของไหลเหนือภาวะวิกฤต

(จ) การทำปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอนไซม์ไลเปสถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ เช่น ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) และ แอซิโดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปสคือสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ไม่มีของเสียจากกระบวนการ ข้อเสียของการใช้เอนไซม์คือมีราคาค่อนข้างแพง

(ค) การทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyst)

เป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น $ZrO_2, ZnO_2, KNO_3/KL$ zeolite เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งในระบบที่มีน้ำ

2.3 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา [8]

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแยกออกได้เป็น 2 แบบคือ

2.3.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์(Homogeneous catalyst)

เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอยู่ในสถานะเดียวกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่มักเป็นสารละลายที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นละลายอยู่ด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับเร่งปฏิกิริยาชัดเจนทำให้ง่ายต่อการศึกษา แต่มีข้อเสียคือมักสลายตัวหรือเสียดสภาพในสถานะที่ใช้ความร้อนหรือความดันสูง

2.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์(Heterogeneous catalyst)

เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะต่างกับสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นของแข็งและสารตั้งต้นจะเป็นก๊าซหรือของเหลว การใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธุ์สามารถพบได้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ปูน ผลิตภัณฑ์ยา เชื้อเพลิง เส้นใยสังเคราะห์ ตัวทำละลาย เนื่องจากสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือง่ายกว่าระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์เนื่องจากตัวเร่งแบบเอกพันธ์จะอยู่ในวัฏภาคเดียวกันกับสารตั้งต้นจึงมีข้อดีคือประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาสูง และสามารถเลือกให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการได้ง่ายกว่าอีกทั้งสถานะการทดลองที่ใช้ไม่รุนแรง สามารถศึกษากลไกของปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าด้วยเทคนิคสเปกโทรโทรสโกปีต่างๆ และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการแพร่ของสารตั้งต้นไปหาตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากอยู่ในวัฏภาคเดียวกัน แต่มีข้อเสียคือการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ทำได้ยากวิธีการส่วนใหญ่คือ การกลั่นหรือการสกัดตัวทำละลาย และนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับใช้ใหม่ทำได้ยากกว่าและอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์นั้นสั้นกว่า ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ มีข้อดีคือ สามารถแยกสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่ายสามารถใช้ได้ในสถานะที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่า

2.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา [8]

สมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นกับกรรมวิธีที่ใช้ในการเตรียมสาร การเตรียมแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ พื้นที่ผิว, เสถียรภาพและความทนทาน การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 คือ การเตรียมตัวเร่งกลุ่มออกไซด์ (Active oxide component)

ประเภทที่ 2 คือ การนำองค์ประกอบที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Active site) วางบนตัวรองรับ (support)

ประเภทที่ 3 คือ กลุ่มที่มีการเตรียมพิเศษเฉพาะตัวอย่าง

2.4.1 การเตรียมตัวเร่งกลุ่มออกไซด์

ตัวเร่งกลุ่มออกไซด์ในที่นี้มีความหมายรวมทั้งองค์ประกอบที่ว่องไวและตัวรองรับ ซึ่งจะถูกเตรียมให้มีพื้นที่ผิวและความพรุนสูง เช่น ไฮดรอกไซด์ ซึ่งอาจเป็นทั้งองค์ประกอบกัมมันต์และตัวรองรับ

2.4.2 การเตรียมออกไซด์ผสม

ออกไซด์ผสม (Dual Oxide) คือการรวมตัวของออกไซด์สองชนิด เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของการเร่งปฏิกิริยา วิธีที่ดีที่สุด คือ การตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) และการเตรียมเจลสองชนิดเพื่อให้ได้ การกระจายตัวที่มีอันตรกิริยาต่อกันสูง ตัวอย่างเช่น $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{NiO-Al}_2\text{O}_3$ และซีโอไลต์

2.4.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการวางองค์ประกอบที่ว่องไวบนตัวรองรับ

การทำให้ออกไซด์กระจายตัวบนตัวรองรับเป็นวิธีการที่นิยมมาก สามารถทำได้ 4 วิธี คือ การตกตะกอน การดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออนและการทำให้เอ็บซุ่ม แต่ละเทคนิคมีทั้งข้อดีและข้อเสียซึ่งจะพิจารณาจากชนิดของตัวรองรับที่ใช้ หากเป็นผงหรือเป็นก้อนเล็กๆ การเติมองค์ประกอบที่ว่องไวลงไปในตัวรองรับอาจมีข้อจำกัดเรื่องการแพร่เข้าไปในรูพรุน

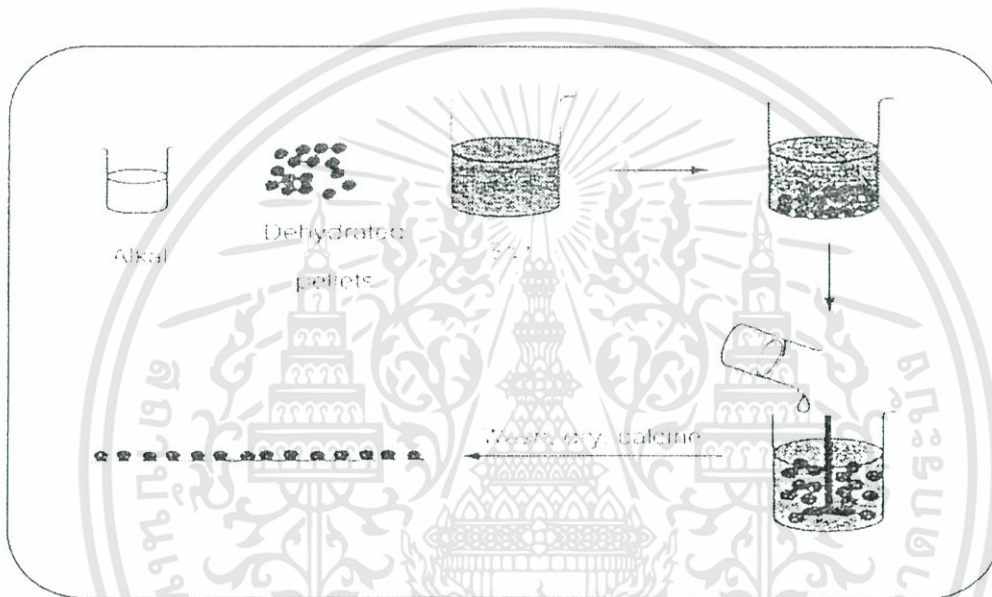
2.4.3.1 การตกตะกอน

การตกตะกอน คือ การทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างผงอนุภาคของตัวรองรับกับเกลือของสารละลายซึ่งอาจจะเป็นออกซาลेट ไนเตรด ซัลเฟต หรือ คลอไรด์ ในตัวกลางที่เป็นเบส เช่น NaOH , KOH , NH_4OH หรือ Na_2CO_3 ทำให้ได้ไฮดรอกไซด์หรือคาร์บอเนตของโลหะที่ไม่ละลายน้ำสารเหล่านี้สามารถเปลี่ยนเป็นออกไซด์ได้โดยการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตกตะกอนเหมาะกับการเตรียมตัวเร่งเพื่อให้มีปริมาณโลหะขององค์ประกอบที่วงไวประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ถ้าต้องการปริมาณที่ต่ำกว่านี้ควรพิจารณาใช้วิธีอื่น

การเตรียมทำได้โดยคละเคล้าผงตัวรองรับกับสารละลายเกลือ ตามปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการ ก่อนทำปฏิกิริยา แต่ในบางกรณีอาจจะต้องดูดไล่อากาศในตัวรองรับ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีอากาศในรูพรุน หลังจากนั้นจึงเติมสารละลายเบสเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอน ขั้นตอนมาคือการกรองหรือการแยก แล้วล้างกำจัดสารต่างๆ ได้แก่ สารละลายเบส ซึ่งเป็นไอออนของสารตั้งต้นและสารที่จับอยู่บนผิวหน้าที่มากเกินไปออก

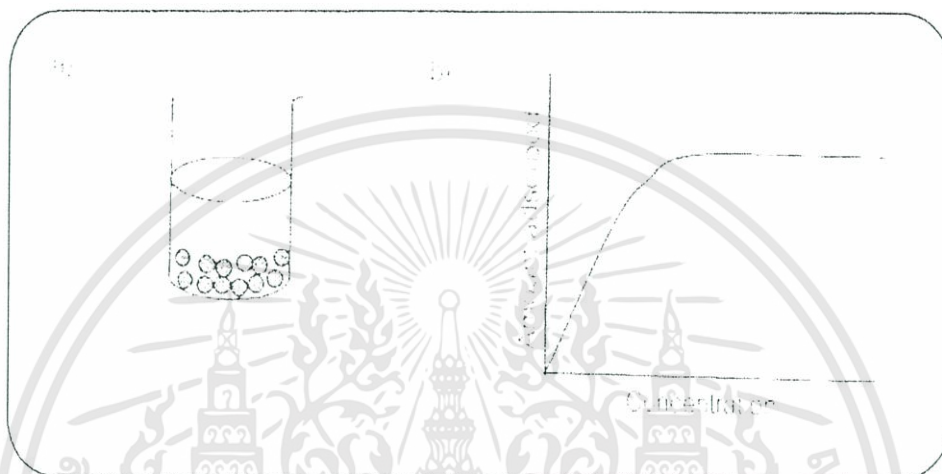


รูปที่ 2.7 ขั้นตอนในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 การดูดซับ

การดูดซับ คือ การนำเอาวัสดุที่เป็นตัวรองรับมาแช่ในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการดูดซับ ซึ่งการดูดซับเป็นวิธีที่เหมาะสมเมื่อต้องการปริมาณองค์ประกอบกัมมันต์ต่ำ ผงหรืออนุภาคจะนำมากำจัดและทำให้ชุ่มในสารละลายที่เหมาะสมในเวลาที่เหมาะสม การจับแบบนี้จะสม่ำเสมอและองค์ประกอบที่ว่องไวและจะเข้าไปจับในรูพรุนอย่างทั่วถึงระหว่างการทำให้ชุ่ม



รูปที่ 2.8 (a) การเตรียมโดยวิธีการดูดซับ

(b) ไอโซเทอมของการดูดซับของไอออนที่เป็นตัวแรงปฏิกิริยา

การดูดซับจากสารละลายอาจเป็นทั้งการดูดซับไอออนบวกหรือไอออนลบ ขึ้นกับสมบัติของผิวหน้า ตัวอย่างเช่น ซีโอไลต์เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่ดี แต่ซิลิกาเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่ไม่ดี ส่วนอะลูมินาเป็นตัวแลกเปลี่ยนที่ไม่ดีทั้งไอออนบวกและไอออนลบ แมกนีเซียมเป็นตัวดูดซับไอออนลบที่ดี และคาร์บอนมักจะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีการถ่ายโอนประจุ (Charge transfer complex) กับการให้อิเล็กตรอน แต่ก็ดูดซับไอออนบวกได้บ้างเช่นกัน ถ้าไม่นับซีโอไลต์ซึ่งมีกลไกการดูดซับที่ต่างออกไปแล้ว ลักษณะการดูดซับเชิงไอออนิกของหมู่ที่มีความสำคัญในเชิงการเร่งปฏิกิริยา

2.4.3.3 การแลกเปลี่ยนไอออน

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน จะเหมือนกับการดูดซับไอออนิก ต่างกันมีเพียงแค่การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นนอกเหนือจากโปรตอน ไอออนที่มีประจุต่ำเช่น Na^+ จะแลกเปลี่ยนกับ ไอออนที่มีประจุสูงกว่า เช่น Ni^{2+} และมีสมมูลเกิดขึ้น ดังนี้ (S คือหมู่ฟังก์ชันใด ๆ)

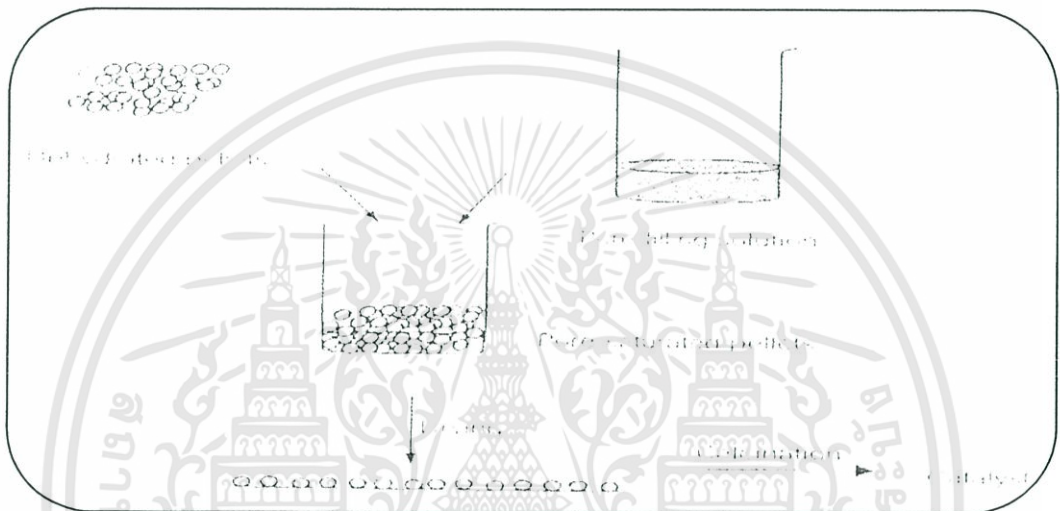


การแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นได้ดี เมื่อไอออนตัวใหม่ที่เข้ามาแทนที่สามารถจับกับตัวรองรับได้แข็งแรงกว่าไอออนเดิม ส่วนใหญ่ เมื่อก้าวถึงการแลกเปลี่ยนไอออน มักจะหมายถึงการแช่ตัวรองรับลงในสารละลายเกลือของโลหะที่ต้องการแลกเปลี่ยนไอออน แล้วรอนได้ปริมาณการแลกเปลี่ยนที่ต้องการ ข้อดีของการแลกเปลี่ยนคือจะได้การกระจายตัวของไอออนโลหะที่เป็นเนื้อเดียว แต่การแลกเปลี่ยนมีข้อจำกัดเนื่องจากต้องใช้เวลาาน และเมื่อการแลกเปลี่ยนอิ่มตัวแล้วจะไม่สามารถเพิ่มปริมาณไอออนได้อีก

2.4.3.4 การทำให้เอิบซุ่ม

เทคนิคการทำให้เอิบซุ่ม เป็นเทคนิคที่ง่ายและสะดวกที่สุด เพราะเป็นการที่องค์ประกอบที่ว่องไวจับกับตัวรองรับโดยตรง จุดประสงค์คือต้องการเติมรูพรุนด้วยสารละลายของเกลือโลหะที่มีความเข้มข้นเพียงพอสำหรับค่าปริมาณโลหะที่ต้องการ สารละลายที่ใช้ต้องมีปริมาณที่จะเติมรูพรุนได้พอดีเรียกว่าค่า Incipient wetness ขั้นตอนการเตรียมเริ่มจากให้ความร้อนแก่ตัวรองรับหรือนำไปดูดอากาศออกด้วยสุญญากาศเพื่อกำจัดความชื้นในรูพรุน และทำให้การแพร่ของสารละลายเข้าไปในรูพรุนได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นหยดสารละลายในปริมาณพอดี ที่สามารถเติมรูพรุนและทำให้ผิวหน้าภายนอกของตัวรองรับเปียกพอดีลงไปบนตัวรองรับ ซึ่งปริมาณดังกล่าวสามารถคำนวณได้ก่อนการเตรียมจากปริมาตรของรูพรุนหรือทำการทดสอบก่อน โดยใช้ตัวทำละลายหยดลงบนตัวรองรับที่ทราบปริมาณแน่นอน และทำการวัดปริมาตรที่ทำให้ตัวรองรับเปียกพอดี แล้วจึงนำปริมาตรตัวทำละลายที่ได้ มาใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย เพื่อให้ได้ปริมาณโลหะตามที่ต้องการ

สำหรับการทำให้แห้งจะทำให้เกิดการตกผลึกของเกลือบนผิวหน้าของรูพรุนชั้นตอนนี้อาจไม่ระวัง อาจจะทำให้เกิดการกระจายตัวของสารในรูพรุนไม่สม่ำเสมอ ถ้าทำให้แห้งช้าเกินไปจะทำให้สารละลาย เคลื่อนลงไปอยู่ด้านล่างของรูพรุน เกิดการตกตะกอน ทำให้ผลึกที่ได้ตกอยู่แต่ตอนล่างของรูพรุน ในทางตรงกันข้าม ถ้าแห้งเร็วเกินไปสารละลายจะติดอยู่เฉพาะตอนบนของรูพรุนทำให้ผลึกเกิดเฉพาะ ช่วงบนของรูพรุน การทำให้แห้งในอัตราเร็วที่เหมาะสม จะทำให้ได้ผลึกในอัตราที่เท่าๆกัน



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีอบแห้ง

การแคลไซน์เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะถ้าตัวเร่งปฏิกิริยาเจอกับความชื้นในอากาศผลึกในรูพรุนอาจจะละลายในน้ำที่เกิดควบแน่นได้ การแคลไซน์เป็นการเปลี่ยนเกลือโลหะให้อยู่ในรูปของ โลหะหรือออกไซด์ และจะหยุดการกระจายของสารละลายได้

2.4.4 การเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาให้อยู่ในรูปที่ว่องไว

ขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ การเปลี่ยนวัสดุที่เตรียมได้ให้เป็น องค์ประกอบกัมมันต์ วัสดุที่เตรียมได้มักจะอยู่ในรูปของออกไซด์ ดังนั้นถ้าสารที่ต้องการคือรูปที่เป็น ออกไซด์อาจไม่ต้องทำการกระตุ้น แต่ถ้าต้องการในรูปโลหะจะต้องใช้ปฏิกิริยารีดักชัน และถ้าเป็นรูป ซัลไฟด์ต้องใช้ปฏิกิริยาการเติมซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาารูปแบบอื่นๆ

2.4.5.1 Raney metal

ตัวเร่งปฏิกิริยาอีกแบบหนึ่ง คือ โลหะที่มีความว่องไวและมีรูพรุน(Active porous metal) ซึ่งเรียกว่า Raney metal โลหะที่ใช้เตรียมโดยวิธีนี้เช่น นิกเกิล โคบอลต์ ทองแดง และเหล็ก สามารถเกิดเป็นอัลลอยด์กับอะลูมิเนียมได้ และส่วนที่เป็นอะลูมิเนียมสามารถล้างออกได้โดยใช้ สารละลายที่มีความสามารถในการกัดกร่อน(Caustic) ทำให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นโลหะที่มีความพรุนและมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง

2.4.5.2 Reduced fused oxides

ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบนี้คือ $\text{Fe-Al}_2\text{-K}_2\text{O}$ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์แอมโมเนียซึ่งสามารถเตรียมได้โดยการหลอม Fe_2O_3 กับ Al_2O_3 และ K_2O ในปริมาณที่เหมาะสม(ประมาณ 1500 องศาเซลเซียส) เมื่อผสมกันดีแล้วทำให้เย็นลง จากนั้นนำมาบดและร่อนเพื่อใช้งาน โดยจะมีขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตร ขั้นตอนสุดท้ายคือการรีดิวซ์ด้วยไฮโดรเจนเพื่อกำจัดออกซิเจนในโครงผลึก Fe_3O_4 ทำให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีรูพรุนสูง การยุบตัวของโครงสร้างรูพรุนซึ่งมักเกิดที่ 400-500 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดขึ้นเพราะมีอะลูมินาซึ่งเป็นตัวกันช่องอยู่ ส่วน K_2O ทำหน้าที่เป็นตัวโปรโมเตอร์ โดยเชื่อกันว่ามันจะเข้าไปจับบนตำแหน่งที่เป็นกรดซึ่งป้องกันการหลุดออกไปของแอมโมเนีย ซึ่งทำให้เกิดตำแหน่งซึ่งว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาและเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่เหล็กทำให้ไนโตรเจนถูกดูดซับง่ายขึ้น

2.5 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [5]

แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และ บิวทานอล โดยเฉพาะเมทานอลถูกใช้มากที่สุดเพราะมีราคาถูกอีกทั้งยังมีข้อดีในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและด้านเคมี คือ เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมีขั้ว ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของ เมทานอลสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็วและสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดี ตามสัดส่วนของปฏิกิริยาเคมีพบว่าเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ต้องใช้อัตราส่วน โดยโมล แอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3:1 แต่ในทางปฏิบัติต้องใช้อัตราส่วนที่มากกว่านั้น

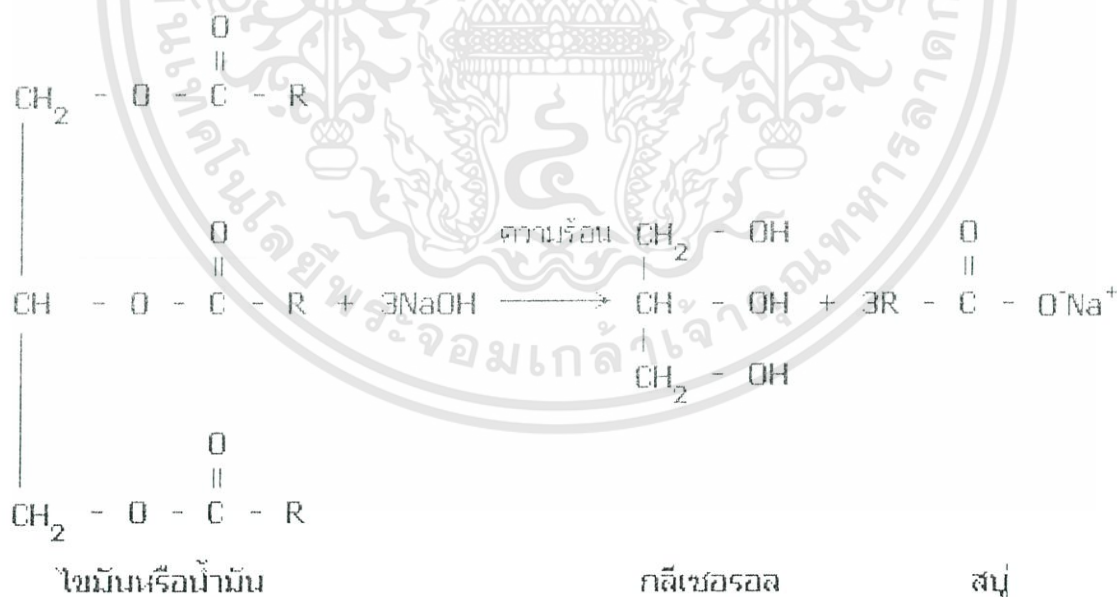
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังปฏิกิริยาลิ้นสุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของผสมระหว่าง เอสเทอร์ กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา ไตร-, ได-, และ โมโนกลีเซอไรด์ เพราะฉะนั้นการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เพราะถ้าไบโอดีเซลมีส่วนผสมของ โมโนกลีเซอไรด์จะทำให้ไบโอดีเซลเกิดการแข็งตัวง่าย ทั้งนี้ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่ในไบโอดีเซลก็จะทำให้จุดหมอกควัน (Cloud Point) และจุดไหลเท (Pour Point) มีค่าสูงขึ้นด้วย

2.6 ปัจจัยที่ผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [6,7]

2.6.1 ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ซึ่งกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสม เพราะน้ำเป็นสาเหตุการเกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลคือ ทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล และ ยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย

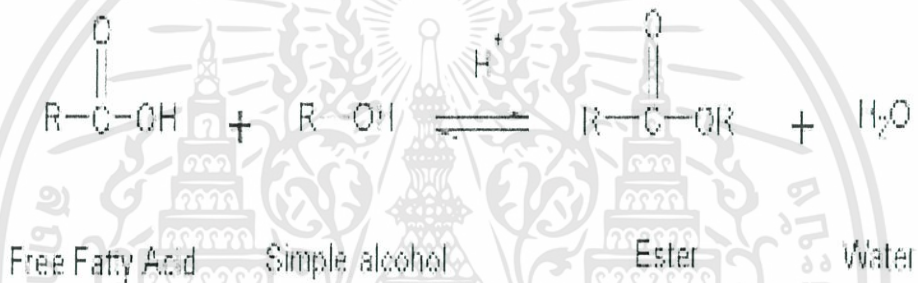


รูปที่ 2.10 แสดงปฏิกิริยาการเกิดสบู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.10 จะเห็นว่าปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดสมบูรณ์ได้นอกจากน้ำแล้ว ยังมี กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบ ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบมากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง

แต่สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่มีค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาลดค่าความเป็นกรดลง โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (acid esterification) ดังสมการในรูปที่ 2.11 แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

2.6.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน โดยในรูปที่ 2.3 สัดส่วนที่ใช้ในปฏิกิริยา คือ 3 โมลของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นยังใช้อัตราส่วนมากเท่าไรก็จะทำให้ได้เอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นเท่านั้นและภายในเวลาที่สั้นลงด้วย อัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ถูกใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมพบว่าได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์

2.6.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งสามารถแบ่งได้เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด หรือ เอนไซม์ กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่ง แต่อย่างไรก็ตาม กลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ด้วยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า โดยในตารางที่ 2.4 คือตารางที่เปรียบเทียบข้อแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์

เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่ความเข้มข้น 0.5 - 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ (Yield) 94 - 99 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบสไม่ได้เป็นการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2.4 : แสดงความแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเบส และ เอนไซม์

ตัวแปร	ตัวเร่งชนิดเบส	ตัวเร่งชนิดกรด	เอนไซม์ไลเปส
อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	60-70	55-80	30-40
กรดไขมันอิสระ	เกิดสบู่	เกิดเอสเทอร์	เกิดเอสเทอร์
น้ำในน้ำมันพืช	มีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยา	มีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยา	ไม่มีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยา
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง
การ Recovery กรีน	ยาก	ยาก	ง่าย
การทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้องล้าง
ราคา	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 ผลของเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลานั้นคือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน ส่วนทางด้านอุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชันเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอ ปฏิกิริยาก็จะเกิดอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้เช่น ถ้าใช้เมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60-70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ

2.6.5 ผลของอัตราการกวนผสม

การกวนผสมเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชันเพราะน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์ และตัวเร่งปฏิกิริยาดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกันกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชันจึงจะเกิด และได้เป็นไบโอดีเซล

2.7 ผลิตภัณฑ์ร่วมจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชัน [9]

จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชันของน้ำมันพืชนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์ร่วมคือกลีเซอรอลหรือกลีเซอริน มีโครงสร้างเป็นสารประกอบจำพวกพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์(Polyhydric Alcohol) มีชื่อทางการค้า 1,2,3-โพรเพนไตรอล(1,2,3-Propanetriol)

2.7.1 คุณสมบัติของกลีเซอรอล

-คุณสมบัติทางกายภาพ

มีคุณสมบัติเป็นของเหลว ใส หนืด ละลายน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี ละลายได้เล็กน้อยในไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลอีเทอร์ และไดเอทิลอีเทอร์ไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอนจะไม่ค่อยพบผลึกของกลีเซอรอล เนื่องจากผสมน้ำแล้วมีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมาก กลีเซอรอลร้อยละ 66.7 ที่มีน้ำ 33.3 โดยน้ำหนัก จะมีจุดเยือกแข็งอยู่ที่ -46.5 องศาเซลเซียส

-คุณสมบัติทางเคมี

กลีเซอรอลสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนแอลกอฮอล์ทั่วไป โดยที่คาร์บอนอะตอมนอกจะมีความว่องไวมากกว่าอะตอมกลางภายใต้สภาวะที่เป็นกรดหรือด่าง กลีเซอรอลที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดอะโครลีน(Acrolein) ในทางกลับกัน ในสภาวะกรดจะเกิดอะโครลีนที่ 160 องศาเซลเซียสกลีเซอรอลจะดีไฮเดรตเกิดเป็นอีเทอร์ลิงค์โพลีกลีเซอรอล(Ether-linked polyglycerol) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิห้องกลีเซอรอลจะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วและถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายโดยที่คาร์บอนอะตอมถูกออกซิไดซ์เป็นอัลดีไฮด์ ส่วนคาร์บอนอะตอมกลางเกิดเป็นคาร์บอนิล

2.8 สมบัติด้านเชื้อเพลิงที่สำคัญของไบโอดีเซล [9]

2.8.1 ค่าความร้อน(Heating value)

ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิง คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิงเนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของพลังงานต่อปริมาณของมวลสารนิยมนวัดได้โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกสารไฮโดรคาร์บอนเมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจน ผลของการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนและน้ำ(ซึ่งอยู่ในสถานะของไอน้ำ)ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออก มาค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนแฝงสูงสุดแต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัวค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ

2.8.2 จุดวาบไฟ(Flash point)

จุดวาบไฟแสดงถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ไอของเชื้อเพลิงมีปริมาณมากพอที่ทำให้เกิดการติดไฟคุณสมบัตินี้ไม่มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์แต่จะบอกถึงความสามารถในการติดไฟของเชื้อเพลิงซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยในการขนส่งและการเก็บรักษาเชื้อเพลิง

2.8.3 ค่าความหนืด(Viscosity)

ความหนืดหรือความข้นใส คือแรงต้านทานภายในตัวของน้ำมันต่อการไหล กล่าวคือ น้ำมันใสจะไหลได้ง่าย ส่วนน้ำมันข้นจะไหลได้ช้า ความหนืดของน้ำมันจึงต้องเหมาะสมเพื่อให้ระบบการฉีดน้ำมัน(Injection System)ฉีดเป็นฝอยอย่างละเอียด ในขณะที่เดียวกันน้ำมันจะช่วยหล่อลื่นปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงได้ด้วย น้ำมันที่ข้นเกินไปจะไม่กระจายเป็นฝอย ในขณะที่น้ำมันที่ใสเกินไปจะทำให้การหล่อลื่นไม่เพียงพอ

2.8.4 ค่าความเป็นกรด(Acid value)

ค่าความเป็นกรดจะแสดงถึงปริมาณของกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซล ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของน้ำมัน เนื่องจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันนอกจากจะเกิดจากการออกซิไดซ์พันธะคู่ของกรดไขมันแล้ว ยังอาจเกิดจากการสลายพันธะเอสเทอร์ให้กรดไขมันอิสระออกมาปริมาณกรดไขมันอิสระรวมทั้งความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพและความเก่าใหม่ของน้ำมัน

2.8.5 เลข ไอโอดีน(Iodine value)

เลข ไอโอดีนจะแสดงถึงความไม่อิ่มตัวหรือปริมาณพันธะคู่ในไบโอดีเซล แสดงได้ด้วยจำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดไว้ด้วยน้ำมัน 100 กรัม เลข ไอโอดีนเป็นค่าคงที่และเฉพาะตัวสำหรับน้ำมันแต่ละชนิด น้ำมันที่มีพันธะคู่มากจะมีเลขไอโอดีนสูง ซึ่งพันธะคู่นี้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันได้ เลข ไอโอดีนจึงเป็นค่าที่แสดงถึงอายุการใช้งานของน้ำมัน

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (เซนติสโตกส์)	(Viscosity at 40,cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 - 5.0	ASTM D 445
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	(Flash Point,)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัม KOH)/กรัม	(Acid Value,mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100กรัม)	(Iodine Value,g Iodine/100g)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111

2.9 ประโยชน์ของไบโอดีเซล

2.9.1 ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

2.9.1.1 การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่เกิดได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel Board) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency) ได้ทำการวิจัยและทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่างๆกันเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งได้รายงานผลว่าการใช้ไบโอดีเซลสูตร B100 และ B20 สามารถช่วยลดมลพิษลดปล่อยการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญในส่วนของกรมอุทกหารเรือก็ได้มีการรายงานผลการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้า ว่าสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 40

2.9.1.2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันมิให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วซึ่งเป็นมีสารก่อมะเร็ง ไปผลิตเป็นอาหารสัตว์อีกด้วย

2.9.2 ประโยชน์ด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์

2.9.2.1 การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซลจากผลการทดลองของสถาบันวิจัยของ บริษัท ปตท.จำกัด(มหาชน) พบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าว ในอัตราส่วนร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า

2.9.2.2 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นเนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดีจึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น

2.9.2.3 ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อด้อยนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานเพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

2.9.3 ประโยชน์ด้านเศรษฐกิจ

2.9.3.1 การใช้ไบโอดีเซลสามารถช่วยสร้างงานในชนบท โดยโครงสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค

2.9.3.2 การใช้ไบโอดีเซลสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบมากกว่า 300,000 ล้านบาท

2.9.4 ประโยชน์ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศ

2.9.4.1 ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้ น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก ตลาดน้ำมันดีเซลในประเทศไทยจึงมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซินถึง 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้ภายในประเทศ ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้

2.9.4.2 การผสมน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 1-2 สามารถเพิ่มความหล่อลื่นในน้ำมันดีเซลได้ โดยเฉพาะกรณีที่จะมีการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

2.9.5 ประโยชน์ด้านความมั่นคง

การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ถือเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ

2.10 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลนั้น มีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือว่าไม่มีผลกระทบทางด้านลบ หรือมีแต่น้อยมาก เช่น เป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล ชิ้นส่วนจากยางของปั้มน้ำมันจะเสื่อมคุณภาพเร็ว ค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปการใช้น้ำมันดีเซลในต่างประเทศนั้น นิยมนำไปผสมเป็นสูตรต่างๆ เช่น

2.10.1 B2(ไบโอดีเซล 2% : ดีเซล 98%) มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกาและจะบังคับใช้ทั้งรัฐในปี พ.ศ.2548

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

2.10.3 B20(ไบโอดีเซล 20% : ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติและสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา แนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ(Alternative Motor Fuel Act : AMFA 1988)ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะรถของบริษัทและรถของหน่วยงานราชการกว่า 147 แห่ง รวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษ เช่น รถรับส่งนักเรียน เรือ หรือ เครื่องจักรกลที่ใช้ในเมืองแร่ ทั้งนี้ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตระบบหัวฉีดน้ำมันและเครื่องยนต์

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

2.10.5 B100(ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ใช้ในประเทศเยอรมันและออสเตรเลียได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของประเทศ

จากตารางที่ 2.6 และ 2.7 พบว่าแม้เครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจะปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ออกมาในปริมาณใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่ปริมาณของไฮโดรคาร์บอน แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ ฝุ่นละอองและสารก่อมะเร็งอื่นจะมีปริมาณน้อยกว่า จึงส่งผลดีในแง่สิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน ทั้งนี้หากมีการผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลจะส่งผลให้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ฝุ่นละอองและสารก่อมะเร็งลงในสัดส่วนที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลบริสุทธิ์

ตารางที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษในไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ในไบโอดีเซล

แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์	เทียบเท่าน้ำมันดีเซล
ไฮโดรคาร์บอน	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 40
แก๊สไนโตรเจนออกไซด์	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 15
ฝุ่นละออง	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 40
สารก่อมะเร็ง	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 50

ตารางที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบผลการใช้ไบโอดีเซล 100% (B100) และน้ำมันดีเซลซึ่งผสมด้วยไบโอดีเซล 20% (B20)

มลพิษในไอเสีย	ไบโอดีเซล 100% (B100)	น้ำมันดีเซลที่มีด้วยไบโอดีเซล 20%(B20)
1. แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์	ลดลง 42.3%	ลดลง 12.6%
2. ไฮโดรคาร์บอน	ลดลง 56.2%	ลดลง 11.0%
3. ฝุ่นละออง	ลดลง 55.4%	ลดลง 18.0%

ดังนั้นไบโอดีเซลแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลปกติดังนี้

-ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือสัตว์ พกน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์มักมีปัญหา เนื่องจากมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก จึงมีปัญหาเรื่องการสันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสะดุด มีผลต่อลูกสูบและวาล์ว มีตะกอนขาวอยู่ในถังน้ำมันและหม้อ ความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำทำให้สตาร์ทติดยาก และหากอากาศเย็นมากอาจสตาร์ทไม่ติดเลย แต่มีข้อดีคือ ราคาถูก สามารถใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำได้ แต่ก็ไม่ค่อยนิยมใช้กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ไบโอดีเซลถูกผสม เนื่องจากไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำมันพืชและน้ำมันปิโตรเลียม ทำให้ลดปัญหาเรื่องความหนืดลงไปได้บ้าง แต่ก็ยังมีปัญหาตอนที่อากาศเย็นและมีปัญหาเรื่องการจุดตัน คือ ใ้สักรองจะจุดตันเร็วกว่าปกติ คุณสมบัติของไบโอดีเซลประเภทนี้ส่วนมากจะเหมือนกับน้ำมันดีเซล เครื่องจะเดินเรียบ ไม่มีปัญหาเรื่องสะดุดกุกกักเหมือนแบบแรก เครื่องสตาร์ทติดง่าย แต่ควรมีการอุ่นน้ำมันก่อนการใช้งาน เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลการเกษตร

-ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ข้อดีอันดับแรกคือค่าซีเทน(Cetane)ซึ่งเป็นค่าดัชนีการจุดติดไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล นั่นคือจุดติดไฟได้เร็วกว่าน้ำมันดีเซล การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปสมบูรณ์คาร์บอนมอนอกไซด์เกิดน้อย ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซ้ำเติมสิ่งแวดล้อม ความหนืดคงที่จึงตัดปัญหาเรื่องความหนืดออกไปได้ นอกจากนี้ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์สามารถใช้กับเครื่องยนต์รอบสูงอย่างรถยนต์ได้ แต่มีข้อเสียคือต้นทุนการผลิตสูงกว่าไบโอดีเซลแบบอื่นๆ

ในอนาคตการใช้ไบโอดีเซลจะได้รับความนิยมมากขึ้นตามลำดับ ศักยภาพหลายมิติดังที่กล่าวมา ประการสำคัญที่สุดคือการพัฒนาโครงการไบโอดีเซลในประเทศ ถือได้ว่าเป็นการพัฒนาเพื่อการพึ่งพาตนเองตามแนวทฤษฎีเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวอย่างแท้จริง

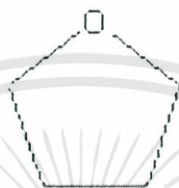
2.11 ตัวทำละลายร่วมสำหรับผลิตไบโอดีเซล (Co-solvent for biodiesel production)

ปัญหาหลักที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยา Transesterification ลดลงเกิดจากการที่สารผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เพราะน้ำมันและแอลกอฮอล์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีน้ำมันกระจายตัวในเมทานอลได้ปานกลาง ดังนั้นจึงมีโอกาที่จะเกิดการรวมกันเป็นกลีเซอไรด์ จะทำให้ความเข้มข้นของโมเลกุล methoxide ลดลงและทำให้ใช้เวลานานในการเกิดปฏิกิริยามีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงเปลืองแรงงานคนเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยากที่จะผสมสารที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ในการทำปฏิกิริยาการเกิดปฏิกิริยาในเฟสเดียวกันจึงมีข้อเสนอของ Boocoak และคณะ [10] โดยเสนอเกี่ยวกับแบบจำลองทางโครงสร้างของอะตอมของตัวทำละลาย ว่าอาจจะรวมสารเป็นเนื้อเดียวกันได้ในเฟสเดียวและอาจมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วขึ้น เพราะว่าจะไม่มีการแยกชั้นของสารที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันเป็น 2 เฟสในอัตราการเกิดปฏิกิริยาคำทำละลายร่วมที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่เททระไฮโดรฟูราน(Tetrahydrofuran, THF), เมทิล เทอร์เชียรีบิวทิล อีเทอร์ (Methyl t-Ethyl Ether), เมทิลเอทิลคีโตน(Methyl Ethly Ketone) และ ปิโตรเลียมอีเทอร์(Petroleum Ether)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

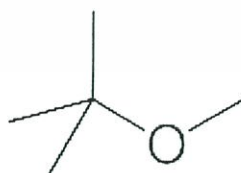
2.11.1 เทตระไฮโดรฟูราน(Tetrahydrofuran,THF) [11]

เทตระไฮโดรฟูราน(THF)เป็นสารไม่มีสี สามารถผสมกันได้ในสารละลายอินทรีย์ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย มีความหนืดต่ำ ที่อุณหภูมิและความดันปกติ เป็นสารประกอบ Heterocyclic มีสูตรโครงสร้าง $(CH_2)_4O$ เป็นอีเทอร์ที่มีคุณสมบัติความเป็นขั้วมากที่สุดเมื่อเป็นของเหลว นิยมใช้เป็นตัวทำละลายเป็นสารหลักที่ใช้กันก่อนที่จะใช้ Polymer THF มีกลิ่นคล้าย Diethyl ether แต่มีกลิ่นอ่อนกว่า



2.11.2 เมทิล เทอร์บิวทิล อีเทอร์(Methyl tert-butyl, MTBE) [12]

Methyl tert-butyl ether หรือ Methyl tertiary-butyl ether, MTBE เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุลคือ $C_5H_{12}O$ MTBE สารละลายได้ง่าย ไวไฟ และเป็นของเหลวที่ไม่มีสี ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ มีกลิ่นคล้ายโบสาระแทน ใน Diethyl ether กลิ่นจึงไม่ชัดเจนเหมือนกับกลิ่นโบสาระแทนในน้ำ MTBE เป็นสารเติมแต่งในน้ำมัน Gasoline ใช้เพิ่มออกซิเจนและเพื่อเพิ่มค่าออกเทน มีแนวโน้มการใช้ลดลงในสหรัฐอเมริกาเนื่องจากมีคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ โดยจะทำให้เกิดมลภาวะอย่างมากในน้ำ เมื่อ Gasoline ที่เติม MTBE หกหรือรั่วออกจากปั้มน้ำมัน MTBE ใช้ในทางเคมีอินทรีย์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ค่อนข้างราคาแพงเมื่อเทียบกับ Diethyl ether แต่มีจุดเดือดสูงกว่า และมีความสามารถในการละลายในน้ำต่ำกว่า และในทางการแพทย์จะใช้ละลายนิ้วในถุงน้ำดี



2.11.3 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) [12]

ปีโตรเลียมอีเทอร์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ลักษณะเป็นของเหลวได้มาจากการกลั่นน้ำมันในอุตสาหกรรมปีโตรเลียม โดยจะอยู่ระหว่างชั้นของเนฟทาเบา และ Heavier Kerosene เป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.6-0.8 จากการกลั่นลำดับส่วนโดยปกติจะได้ปีโตรเลียมอีเทอร์ที่ช่วงอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส, 40-60 องศาเซลเซียส, 60-80 องศาเซลเซียส, 80-100 องศาเซลเซียส, 80-120 องศาเซลเซียส และบางครั้งจะพบที่ 100-1200 องศาเซลเซียส ส่วนที่ได้จากการมีอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส จะนิยมใช้แทน Hexane ปีโตรเลียมอีเธอร์ยังนิยมใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมในด้านเภสัชกรรม สามารถใช้ปีโตรเลียมอีเทอร์แทน Pentane ได้เนื่องจากมีราคาถูกกว่า

2.11.4 เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl, MEK) [12]

Butanone หรือ methyl ethyl ketone หรือ MEK เป็นสารประกอบอินทรีย์ โดยมีสูตรโครงสร้างคือ $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_3$ เป็นสารละลายคีโตน ไม่มีสี มีกลิ่นเหมือนนวลผสมเนย และ acetone ส่วนใหญ่จะผลิตได้จากอุตสาหกรรม และพบในธรรมชาติปริมาณน้อย



ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวทำละลายร่วม

Co-solvent	Molecular formula	Molecular weight(g/mol)	Density (g/cm ³)	Boiling point (°C)	Viscosity (cSt)
THF	C ₄ H ₈	72.11	0.8892	65	0.48
MTBE	C ₅ H ₁₂ O	88.15	0.7404	55.2	0.27
Petroleum ether		87-114		40-60	
MEK	C ₄ H ₈ O	72.11	0.8050	79.64	0.43

2.12 แมกนีเซียมออกไซด์ [13]

แมกนีเซียมออกไซด์ หรือแมกนีเซียม มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลคือ MgO ซึ่งเกิดจากการสร้างพันธะไอออนิกระหว่างอะตอมของแมกนีเซียมและอะตอมของออกซิเจน แมกนีเซียมออกไซด์เป็นธาตุที่ว่องไวต่อความชื้นมาก โดยจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ซึ่งปฏิกิริยานี้สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้โดยการให้ความร้อน

2.12.1 การประยุกต์ใช้

- ปูนซีเมนต์ (Cement)

แมกนีเซียมออกไซด์เป็นหนึ่งในวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ โดยในการผลิตปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ที่ผสมแมกนีเซียมออกไซด์จะต้องผสมแร่เซอร์เพนทีนที่ และแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ด้วย ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกทางหนึ่ง

- สารดูดความชื้น (Desiccant)

แมกนีเซียมออกไซด์สามารถนำไปใช้เป็นตัวดูดความชื้นได้ ซึ่งจะนำไปใช้ใน ห้องสมุดเพื่อรักษานั่งสือต่างๆ

- การแพทย์ (Medical)

ทางการแพทย์ ได้นำแมกนีเซียมออกไซด์มาใช้ในการบรรเทาอาการเจ็บปวดในช่องท้อง กระเพาะอาหารอักเสบ ลดกรดในกระเพาะอาหาร และใช้เป็นยาระบายอ่อนๆ นอกจากนี้ยังช่วยให้อาการอาหารไม่ย่อยดีขึ้น แต่แมกนีเซียมออกไซด์อาจส่งผลข้างเคียง เช่น อาการคลื่นไส้ หรือการเป็นตะคริว และหากใช้เป็นยาระบายในระยะยาว อาจทำให้ลำไส้อุดตันได้

- อื่นๆ

แมกนีเซียมออกไซด์ถูกนำไปใช้เป็นฉนวนในอุตสาหกรรมเคเบิ้ลใช้, ใช้ทำครุชเบิล, ทำวัสดุก่อสร้างที่ทนไฟ และยังใช้ทำผนัง เนื่องจากแมกนีเซียมออกไซด์มีคุณสมบัติทนไฟทน, ต่อเชื้อรา และยังมีความแข็งแรงอีกด้วย

นำไปใช้ในอุตสาหกรรมสี เนื่องจากแมกนีเซียมออกไซด์มีคุณสมบัติในการกระจายแสงและสะท้อนแสงได้ดี

นำไปใช้ในอุปกรณ์ในความร้อนไฟฟ้า โดยการนำแมกนีเซียมออกไซด์มาอัดให้แน่น และเหลือช่องว่างเพียงเล็กน้อย เนื่องจากแมกนีเซียมออกไซด์มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า

ใช้เป็นวัสดุเกี่ยวกับทางด้านกรมมองเห็น เนื่องจากแมกนีเซียมออกไซด์มีความโปร่งใส มีค่า refractive index ต่ำ

และนอกจากนี้ยังสามารถนำแมกนีเซียมออกไซด์ไปประยุกต์ในด้านต่างๆ ได้อีกมากมาย

2.12.2 ข้อควรระวัง

แมกนีเซียมออกไซด์ง่ายต่อการทำให้ไหม้ โดยการถูกออกซิไดซ์ด้วยแสง ซึ่งเปลวไฟที่เกิดขึ้นจะดับได้ยากมาก และนอกจากนั้นหากสูดควันของแมกนีเซียมที่เกิดขึ้น อาจทำให้เราไม่สบายได้

2.13 แคลเซียมออกไซด์ [14]

แคลเซียมออกไซด์ มีลักษณะเป็นผลึกของแข็ง สีขาว มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 2572 องศาเซลเซียส สามารถผลิตได้จากการให้ความร้อนกับหินปูน ปะการัง หอยทะเล หรือชอล์ก ซึ่งส่วนใหญ่จะผลิตมาจากแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถแสดงได้ดังสมการ



ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ โดยการให้แคลเซียมออกไซด์ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไดออกไซด์ ก็จะเกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต

ในการผลิตแคลเซียมออกไซด์จากหินปูนเป็นหนึ่งในกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลิตภัณฑ์เหมืองที่เก่าที่สุด ภาษาที่เก่าแก่ที่สุดหลายภาษาได้เรียกแคลเซียมออกไซด์ในชื่อที่ต่าง ๆ กันออกไป ในภาษาละตินเรียกว่า “calx” ซึ่งมาจากชื่อของธาตุแคลเซียม ในภาษาอังกฤษเรียกว่า “lim” ซึ่งมาจาก lime ที่เป็น ชื่อทางการค้าของแคลเซียมออกไซด์ ในปัจจุบันนี้ได้มีการผลิตแคลเซียมออกไซด์มาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งมีการผลิตมากกว่า 22 ล้านตันในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 2000

ในอดีตมีการนำแคลเซียมออกไซด์มาทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อนำแคลเซียมออกไซด์มาผสมกับน้ำและทราย จะได้เป็นปูนก่อสร้าง (mortar) ซึ่งจะนำไปใช้ในงานก่อสร้างร่วมกับอิฐและหิน ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมออกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิห้องจะเกิดปฏิกิริยาได้ช้ามาก แต่หากเรานำแคลเซียมออกไซด์ไปผสมกับน้ำ จะเกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์เรียกว่า “slaked lime”



ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์เกิดเร็วกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่เป็นการเพิ่มความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา ปูนก่อสร้าง มีความต้องการมากขึ้น นอกจากนี้แคลเซียมออกไซด์ยังได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างต่างๆ รวมถึงปูนพลาสเตอร์และปูนพอร์ตแลนด์

เมื่อนำแคลเซียมออกไซด์ไปให้ความร้อนร่วมกับทราย(SiO_2) และ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่เป็นผลึกเมื่อให้ความเย็น มีลักษณะเป็นของแข็ง ใส ไม่มีสี เรียกว่า แก้ว เนื่องจากเป็นวัสดุที่ได้จากการผสม จึงทำให้แก้วมีจุดหลอมเหลวที่ไม่แน่นอน แต่จะอ่อนลงเมื่อให้ความร้อน ดังนั้นเราสามารถกำหนดรูปร่างของแก้วได้ โดยการใช้แม่พิมพ์หรือการเป่า

แคลเซียมออกไซด์กว่า 45% ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า ซึ่งเหล็กกล้าและเหล็กสามารถผลิตได้จากสินแร่ที่มีออกไซด์ของเหล็ก มีสินแร่จำนวนมากที่มีองค์ประกอบเป็นซิลิเกต ซึ่งเมื่อนำแคลเซียมออกไซด์มารวมกับสินแร่แล้วหลอม ซิลิเกตจะรวมตัวกับแคลเซียมออกไซด์ เกิดเป็นสแลค (slag) ซึ่งสแลคนี้จะ (ไม่รวมตัวกับเหล็กที่หลอมเหลว ดังนั้นซิลิเกตจะแยกตัวออกจากสแลค โดยประมาณ 80 กิโลกรัมของแคลเซียมออกไซด์จะถูกใช้ในการผลิตเหล็ก 1000 กิโลกรัม

จะเป็นนำไปใช้ผลิตแคลเซียมออกไซด์เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งจ แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) โดยการนำแคลเซียมออกไซด์มาให้ความร้อนร่วมกับถ่านหิน



เมื่อแคลเซียมคาร์ไบด์ทำปฏิกิริยากับน้ำ จะเกิดเป็นอะเซทิลีน (C_2H_2)

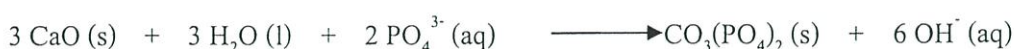


อะเซทิลีนเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญ และยังใช้เป็นสารตั้งต้นของไวนิลคลอไรด์นีโอพรีน และอะคิโลไน , ไทโรล ซึ่งจะนำไปใช้ในการผลิตพอลิเมอร์

ไปใช้เป็นตัวกรองอากาศที่มีการใช้แคลเซียมออกไซด์กำจัดมลพิษทางอากาศ โดยการนำ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยออกมา



นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อกำจัดฟอสเฟต



นอกจากนี้แคลเซียมออกไซด์ยังถูกนำไปประยุกต์ในด้านต่างๆอีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Keera, S.T. และคณะ [15] ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ดฝ้าย โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรที่มีผลต่อลักษณะและร้อยละของ ไบโอดีเซลที่ทำการศึกษาได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยา 3-1 ชั่วโมง, (ความเข้มข้นของเบสบนตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5-0.5)%w/w และ (อัตราส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล) 1:3 - 1:9 ซึ่งจากการทดลองพบว่าร้อยละของผลผลิตที่ได้สูงสุด คือใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6 : 1 ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1 และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ± 1 เซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นหาปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ ด้วยเครื่อง HPLC และหาส่วนประกอบของเมทิลเอสเทอร์ ด้วยเครื่อง Gas chromatography ซึ่งจากผลที่ได้พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้อยู่ในมาตรฐาน

Xuejun, L. และคณะ [16] ศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลือง เป็น ไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลไกปฏิกิริยาถูกเสนอและแสดงให้เห็นถึงผลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา และอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันและน้ำ พบว่าอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 12: 1 ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 8 อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ 65 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 2.03 จะให้ร้อยละของไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 95 ในเวลา ชั่วโมง นอกจากนี้ตัวเร่ง 3 ปฏิกิริยาที่ผลิตได้ยังมีอายุการใช้งานมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา $K_2CO_3 / \gamma-Al_2O_3$ และ $KF / \gamma-Al_2O_3$ โดยแคลเซียมออกไซด์ยังคงมีประสิทธิภาพหลังจากการใช้งานซ้ำๆ จำนวน ครั้ง 20

Zhenzhong, W. และคณะ [17] ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมลิเทียมบนแมกนีเซียมออกไซด์เพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซล พบว่าประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจะขึ้นกับองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา และอุณหภูมิของการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่าถ้ามีเบสแก่โดยเฉพาะลิเทียมอยู่บนตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้ร้อยละของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น และยังพบว่าอัตราส่วนของลิเทียมต่อแมกนีเซียมเป็น และ 0.08 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยา เคลวิน 823 มีประสิทธิภาพสูงสุด และ ร้อยละของไบโอดีเซลจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของลิเทียมต่อแมกนีเซียมสูงเกินกว่า ทั้ง 0.08 นี้เกิดจากลิเทียม ไฮดรอกไซด์ที่มาจากไอออนของลิเทียมมีมากเกินไป นอกจากนี้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเสถียรภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Umdu, E.S. และคณะ [18] ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยา CaO และ MgO บน Al_2O_3 (CaO/ Al_2O_3 และ MgO/ Al_2O_3) ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันจากตะไคร่สีเหลืองอมเขียว (Nannochloropsis oculata) กับเมทานอล จากการทดลองพบว่า CaO และ MgO เพียงอย่างเดียวไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา แต่ถ้านำ CaO/ Al_2O_3 จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ว่องไว และเป็นการเพิ่มความแรงของเบสในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลให้ได้ปริมาณมากกว่าร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา CaO/ Al_2O_3 ให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เป็นร้อยละ 97.5 เมื่อสัดส่วนโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันเป็น 30

Retree,P.และคณะ [19] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 6:1 มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ตัวทำละลายร่วม คือ เตตระไฮโดรฟูแรน และ เฮกเซน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาในอัตราส่วน 1.25 เท่าของปริมาณเมทานอลใช้เวลาทำปฏิกิริยา 20,40 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการกวนใบพัดเป็น 200,200 และ 600 รอบ/นาที ตามลำดับพบว่าเมื่ออุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สำหรับทุกเงื่อนไขการทดลองจะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงใกล้เคียงกันและเพิ่มขึ้นตามเวลา ความเร็วในการกวนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้มีการเคลื่อนย้ายมวล(Mass Transfer) ของไตรกลีเซอไรด์จากวัฏภาคของน้ำมันไปสู่วัฏภาคระหว่างเมทานอลกับน้ำมันดีขึ้น สำหรับการใช้ตัวทำละลายร่วมในการทำปฏิกิริยา สารเตตระไฮโดรฟูแรนให้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์สูงกว่าเฮกเซน พบว่าตัวทำละลายร่วมมีส่วนช่วยให้วัฏภาคของน้ำมัน และวัฏภาคของแอลกอฮอล์รวมกันเป็นวัฏภาคเดียวกันและปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ดี

Lam, M.K. และคณะ [20] ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ที่เป็นกรดนั้นคือ SO_4^{2-}/SnO_2-SiO_2 แต่อย่างไรก็ตามการเข้ากันไม่ได้ของน้ำมันปาล์มและเมทานอลเป็นปัญหาที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าและใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน ดังนั้นจึงได้นำตัวทำละลายร่วมซึ่งสามารถละลายทั้งน้ำมันและเมทานอลเข้ามาร่วมในปฏิกิริยา โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไบโอดีเซลเป็นตัวทำละลายร่วม ผลการทดลองพบว่าเมื่อมีตัวทำละลายร่วม ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 88.2 ในขณะที่กรณีไม่มีตัวทำละลายร่วม ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพียง 50 เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพิศ วงษ์มณีนิล และคณะ [21] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันทอดแล้ว โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทำการทดลองที่สภาวะของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากเกินพอร้อยละ 0.25 ถึง 0.75 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 ถึง 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันทอดใช้แล้วต่อเมทานอล 1:3 ถึง 1:12 รวมถึงการศึกษาการใช้ตัวทำละลายร่วมในการสังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อเอสเตอร์ไฮโดรฟูแรน ที่ (ตัวทำละลายร่วม):1:1.6 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการสองปฏิกิริยา และศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้ จากผลการทดลองพบว่าร้อยละของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากเกินพอ อละอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันทอดใช้แล้วต่อเมทานอล มีผลต่อการเกิดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 78.90 และ 77.02 ตามลำดับ ส่วนเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันพบว่า มีผลต่อการเกิดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ค่อนข้างน้อยในช่วงของการทดลองนี้ สำหรับการใช้ตัวทำละลายร่วมและการใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันร่วมในการสังเคราะห์ มีผลทำให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้พบว่าอยู่ในส่วนกำหนดของมาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยค่าความหนืดจุด, วาบไฟ และดัชนีซีเทนของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันทอดใช้แล้วนั้นมีค่า 6.32 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที, 167 องศาเซลเซียส และ 44 ตามลำดับ

กษิต วิรุทธ์นและคณะ [22] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและเมทานอลผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธุ์ที่มีการปรับปรุงความเป็นเบสให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยเลือกใช้เกลือ ไนเตรตของโลหะแอลคาไลน์บนตัวรองรับออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ ลิเทียมไนเตรต (LiNO_3) และโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) บนตัวรองรับแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาลิเทียมไนเตรตบนตัวรองรับแคลเซียมออกไซด์ ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยามากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น และยังพบอีกว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ คือ ใช้ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไนเตรดร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของแคลเซียมออกไซด์ ปริมาณตัวเร่งร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันพืช และอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 ที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อทำการศึกษาสมบัติต่างๆด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลพบว่า ค่าความเป็นกรดและเลขไอโอดีนของไบโอดีเซลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชฎาพร สุเมธประจักษ์ และคณะ [23] ศึกษาการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มกับเมทานอลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวทำละลายร่วม 3 ชนิด ได้แก่ เทตระไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran, THF) เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์ (Methyl tert-butyl ether, MTBE) และ 2,2-ไดเมทอกซีโพรเพน (2,2-dimethoxypropane, DMP) จากการทดลองพบว่าการใช้ตัวทำละลายร่วมจะให้ร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์มากกว่าการไม่ใช้ตัวทำละลายร่วม และจากการเปรียบเทียบตัวทำละลายร่วมพบว่า MTBE ให้ร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า THF และ DMP โดยสภาวะที่ให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดคือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 6:1 ตัวทำละลายร่วม MTBE อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์เป็น 94.58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) น้ำมันปาล์มโอเลอิน จากบริษัททรกตอินคัสตรี จำกัด (มหาชน)
- 2) เมทานอล (Methanol, CH_3OH) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Labscan
- 3) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba
- 4) แอนไฮไดรรัสโซเดียมซัลเฟต (Anhydrous sodium sulfated, Na_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba
- 5) เตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran, THF) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Labscan
- 6) แมกนีเซียม ออกไซด์ (Magnesiumoxide, MgO) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba
- 7) แคลเซียมออกไซด์ (Calciumoxide, CaO) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba
- 8) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate , Na_2CO_3) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Labscan
- 9) แมกนีเซียมไนเตรต (Magnesium nitrate, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Labscan
- 10) แคลเซียมไนเตรต (Calcium nitrate, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Labscan
- 11) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba
- 12) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid , H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba
- 13) น้ำกลั่น
- 14) น้ำมันพาราฟิน (Parafin oil) เกรดการค้า จากบริษัท Lab System จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier – Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) รุ่น FT-IR SPECTRUM GX
- 2) เครื่องฟูเรียสทรานสฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer , FT-NMR) BRUKER รุ่น Avance DPX 300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrophotometer, XRD) รุ่น Siemens D8 Advance
- 4) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM) รุ่น LEO1455 VP
- 5) เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาตามวิธีของ BET (Surface Area and Porosity Analyzer) รุ่น Autosorb-1C Quantachrome
- 6) เครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Rotary evaporator) Eyela digital water bath รุ่น SB-651
- 7) แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
- 8) ไขปัดปั่นกวน
- 9) อ่างให้ความร้อน
- 10) เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด 2 และ 4 ตำแหน่ง
- 11) ขวดก้นกลมสามคอ
- 12) คอนเดนเซอร์
- 13) เทอร์โมมิเตอร์
- 14) เครื่องแก้ว
- 15) คู่อบสาร
- 16) เต้าเผา
- 17) ชุดกรองลดความดัน
- 18) กระจายยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

- 1) การสังเคราะห์ไบโอซีเซลซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายร่วม
- 2) การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมในอัตราส่วนโดยโมลต่างๆ ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมและวิเคราะห์คุณสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยา
- 3) การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

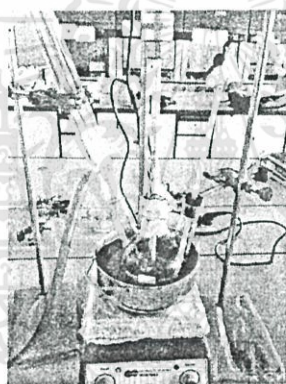
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเมทิลเอสเทอร์

3.3.1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายร่วม

ในขั้นตอนการเตรียมไบโอดีเซลซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายร่วมนี้ จะเตรียมผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันโดยทั่วไป ขั้นตอนการเตรียมมีดังนี้

1) นำน้ำมันปาล์มประมาณ 50 กรัม ใส่ลงขวดสามคอตั้งอุปกรณ์ฟลักซ์ และนำไปให้ความร้อนบนอ่างน้ำมันจนน้ำมันมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 60 -65 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การตั้งอุปกรณ์สำหรับการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

2) เติมเมทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 และตัวเร่งปฏิกิริยา โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มลงในขวดสามคอ แล้วจึงปั่นกวนพร้อมทำการจับเวลา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิ 60 – 65 องศาเซลเซียส

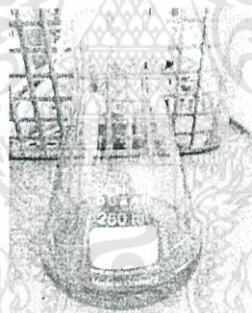
3) เมื่อครบเวลาของปฏิกิริยาแล้วแต่งตั้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของผสมที่ได้ใส่กรวยแยกแล้วโดยชั้นบนจะเป็นชั้นอินทรีย์ซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์มีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายน้ำมันสีเหลือง ส่วนชั้นล่างเป็นชั้นของกลีเซอรอลมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาล ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลในกรวยแยก

- 4) แยกชั้นกลีเซอรอลออกไป แล้วล้างชั้นเมทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำกลั่นจนได้ชั้นเมทิลเอสเทอร์ที่มีลักษณะขุ่นเล็กน้อยและอยู่ในสภาพเป็นกลาง โดยทดสอบด้วยกระดาษนิเวออร์เซลอินดิเคเตอร์
- 5) ควบน้ำที่ปะปนกับเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟตจะได้เมทิลเอสเทอร์ที่ใส ดังรูปที่ 3.3 จากนั้นทำการกรองแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟตออกไป



รูปที่ 3.3 เมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการควบน้ำด้วยแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต

- 6) เก็บรวบรวมไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ใส่ขวดสีชาเพื่อนำไปใช้เป็นตัวทำละลายร่วมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมในอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียม (MgCaO) ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม

- 1) เตรียม 2 M $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร บรรจุลงในบิวเรต
- 2) เตรียม 2M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร บรรจุลงในบิวเรต
- 3) เตรียมสารละลายผสมของ Na_2CO_3 0.25 M และ NaOH 1M โดยให้มี pH คงที่ ในช่วง 9-10 (เตรียม 250 มิลลิลิตร)
- 4) ค่อยๆ ไซสารละลายในข้อ 1 และ 2 จากบิวเรต ลงในสารละลายผสมในข้อ 3 พร้อมทั้งทำการปั่นกววน จากนั้นทิ้งให้ตะกอนตกอย่างสมบูรณ์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 5) เมื่อได้ตะกอนสมบูรณ์แล้ว ทำการกรองตะกอน ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง
- 6) ทำการอบตะกอนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- 7) ทำการแคลไซน์ตะกอนจากข้อ 6 ที่อบได้ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO ที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg:Ca เป็น 1:1
- 8) ทำซ้ำข้อ 1-7 โดยใช้อัตราส่วนโดยโมล Mg:Ca เป็น 0.5:1 และ 2:1 โดยใช้ความเข้มข้นและปริมาณของสารต่างๆตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นและปริมาณของ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO

อัตราส่วนโดยโมล Mg:Ca	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	
	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)
0.5:1	1	50	2	50
2:1	4	50	2	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

- 1) ชั่งน้ำมันปาล์ม 50 กรัม ใส่ลงในขวดสามคอ
- 2) ติดตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์ได้แก่ คอนเดนเซอร์, ใบพัดกวน, และเทอร์โมมิเตอร์ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส
- 3) เติมเมทานอลและตัวทำละลายร่วม ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.2-3.6 ลงในขวดสามคอจากนั้นทำการปั่นกวนเพื่อให้ไขมันและเมทานอลละลายเข้ากันได้
- 4) เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.3-3.7 ลงในขวดสามคอ จากนั้นทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส
- 5) เมื่อครบเวลาของปฏิกิริยา รอของผสมเย็นลง จากนั้นกรองแยกตัวเร่งปฏิกิริยาให้
- 6) เทของผสมที่แยกตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งเกิดการแยกชั้น โดยชั้นบนเป็นชั้นของเมทิลเอสเทอร์และตัวทำละลายร่วม ส่วนชั้นล่างเป็นชั้นของเมทานอล
- 7) ไขแยกชั้นกลีเซอรอลออกไป จากนั้นนำชั้นของเมทิลเอสเทอร์และตัวทำละลายร่วมไประเหยตัวทำละลายร่วมออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน
- 8) ทำการล้างชั้นไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นจนกว่าจะเป็นกลางทดสอบ โดยใช้กระดาษยูนิเวอร์แซล อินดิเคเตอร์
- 9) เทไบโอดีเซลลงในบีกเกอร์ คูดน้ำที่ปะปนกับไบโอดีเซล ด้วยแอนไฮดรัสแมกนีเซียมซัลเฟต จะได้ไบโอดีเซลที่ใส จากนั้นทำการกรองแอนไฮดรัสแมกนีเซียมซัลเฟตออกไป
- 10) ชั่งน้ำหนักของไบโอดีเซลที่ได้และคำนวณหาร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ในการทดลองตามตารางที่ 3.2 จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา $MgCaO$ ที่อัตราส่วนต่างๆ MgO และ CaO ที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ จากนั้นเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดมาทำการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 3.2 -3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ศึกษาผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนโมล Methanol : Oil	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
CaO	8:1	2	120	65
MCO-0.5	8:1	2	120	65
MCO-1	8:1	2	120	65
MCO-2	8:1	2	120	65
Mgo	8:1	2	120	65

ตารางที่ 3.3 ศึกษาอัตราส่วนโดยปริมาตรของ ไบโอดีเซลต่อTHFที่มีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์

อัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลต่อTHF	อัตราส่วนโดยโมล Methanol:oil	ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
100:0	8:1	เลือกจากตารางที่ 3.2	2	65	120
75:25	8:1		2	65	120
50:50	8:1		2	65	120
25:75	8:1		2	65	120
0:100	8:1		2	65	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนโดย ปริมาตรของ ไบโอดีเซลต่อTHF	อัตราส่วน โดยโมล Methanol : oil	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา(นาที)
เลือกจาก ตารางที่ 3.2 ที่ให้ร้อยละของไบโอ ดีเซลสูงสุด	เลือกจาก	6:1	2	65	120
	ตารางที่ 3.3	8:1	2	65	120
	ที่ให้ร้อยละของไบโอ	10:1	2	65	120
	ดีเซลสูงสุด	12:1	2	65	120

ตารางที่ 3.5 ศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนโดยปริมาตร ของ ไบโอดีเซลต่อTHF	อัตราส่วนโดยมวล Methanol : oil	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
เลือกจาก ตารางที่ 3.2 ที่ให้ร้อยละของไบโอ ดีเซลสูงสุด	เลือกจาก	เลือกจาก	1	65	120
	ตารางที่ 3.3	ตารางที่ 3.4	2	65	120
	ที่ให้ร้อยละของไบโอ	ที่ให้ร้อยละของไบโอ	3	65	120
	ดีเซลสูงสุด	ดีเซลสูงสุด	5	65	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วน โดยปริมาตรของ ไบโอดีเซล:THF	อัตราส่วนโดยมวล Methanol : oil	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา(นาที)
เลือกจาก ตารางที่ 3.2	เลือกจาก ตารางที่ 3.3	เลือกจาก ตารางที่ 3.4	เลือกจาก ตารางที่ 3.5	65	60
ทำให้ร้อยละของไบโอ ดีเซลสูงสุด	ทำให้ร้อยละของไบโอ ดีเซลสูงสุด	ทำให้ร้อยละของไบโอ ดีเซลสูงสุด	ทำให้ร้อยละของไบโอ ดีเซลสูงสุด	65	120
				65	180
				65	240

3.3.4 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เตรียมได้ในตอนที่ 3.3.1 จะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติด้วยวิธีดังต่อไปนี้

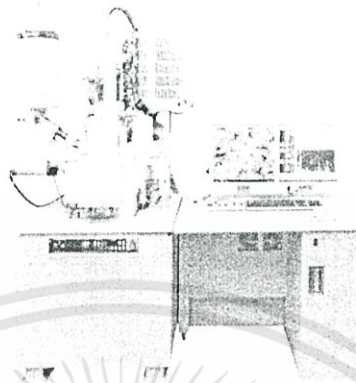
- 1) ความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์(X-ray Diffraction Spectrophotometer, XRD)



รูปที่ 3.4 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (XRD)

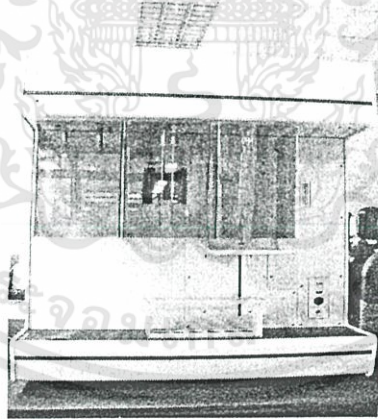
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)



รูปที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

- 3) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค BET (Surface Area and Porosity Analyzer)



รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวตามวิธีของ BET (Surface Area and Porosity Analyzer)

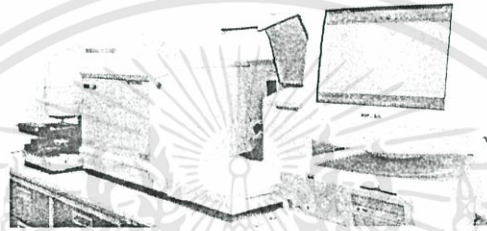
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเมทิลเอสเทอร์

เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่ดีที่สุด ในตารางที่ 3.2 - 3.6 จะทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ดังนี้

- 1) ศึกษาถึงหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์ โดยเครื่องฟูเรียทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

(Fouier-Transform Infrared, FT-IR)



รูปที่ 3.7 เครื่องฟูเรียทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)

- 2) ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม นิวเคลียร์ แมกเนติก เรโซแนนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer, FT-NMR)



รูปที่ 3.8 เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ (FT-NMR spectrometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

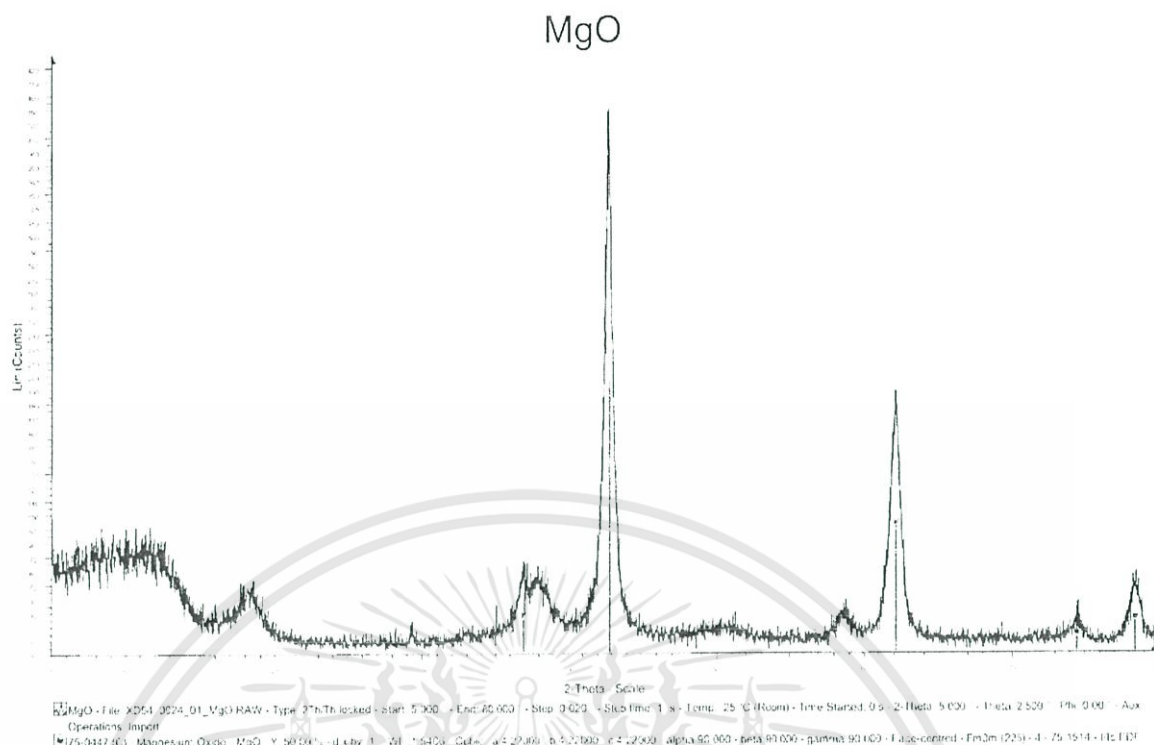
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มและเมทานอล ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมแคลเซียม(MgCaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้ตัวทำละลายร่วมคือไบโอดีเซลและเททระไฮโดรฟูแรน (THF) โดยการนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 ศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียม ความเป็นผลึก สัณฐานวิทยา และพื้นที่ผิวจำเพาะ ตอนที่ 2 เป็นการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมแคลเซียมออกไซด์(MgCaO) โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ได้แก่ ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และ เวลาในการทำปฏิกิริยา และตอนที่ 3 เป็นการพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้

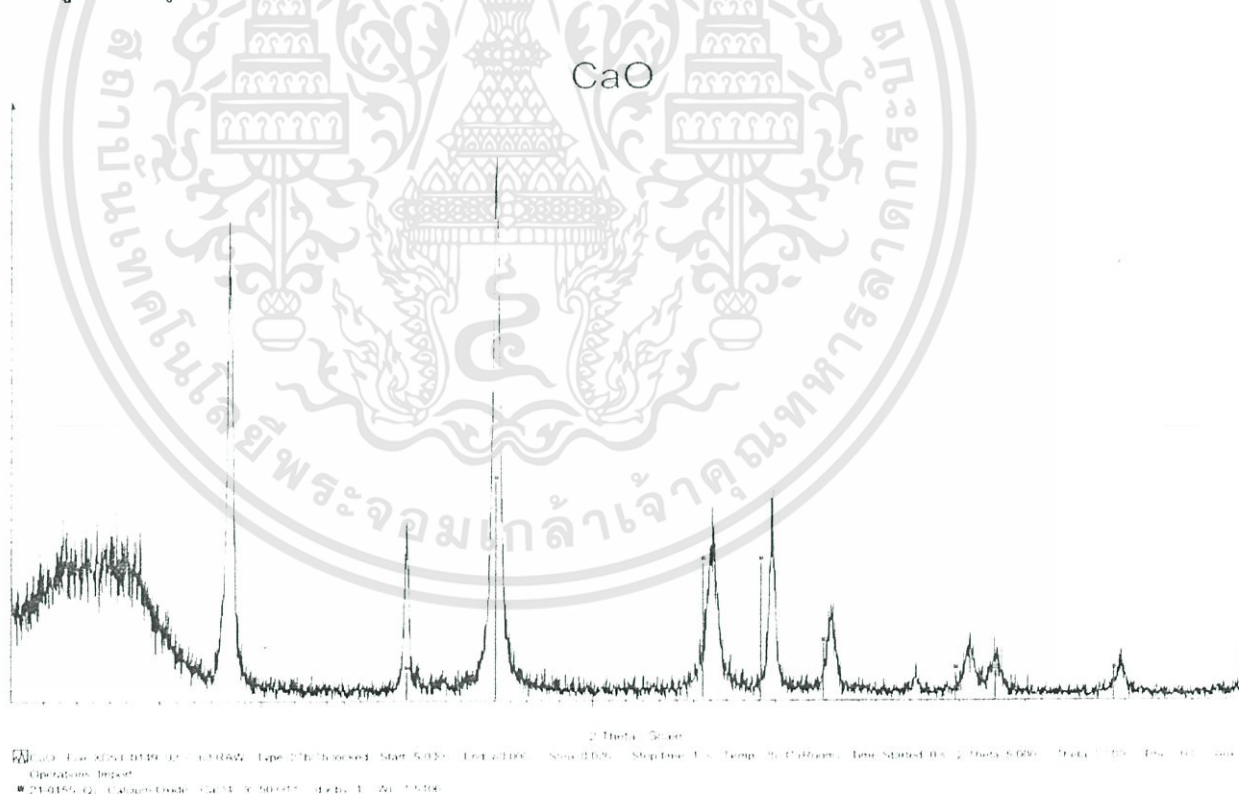
4.1 การศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1.1 ความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา

นำตัวเร่งปฏิกิริยามาทำการศึกษาความเป็นผลึกโดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชันสเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrometer, XRD) ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 4.1-4.5 ซึ่งเป็นของ MgO, CaO , MgCaO-0.5, MgCaO-1 และ MgCaO-2 ตามลำดับ



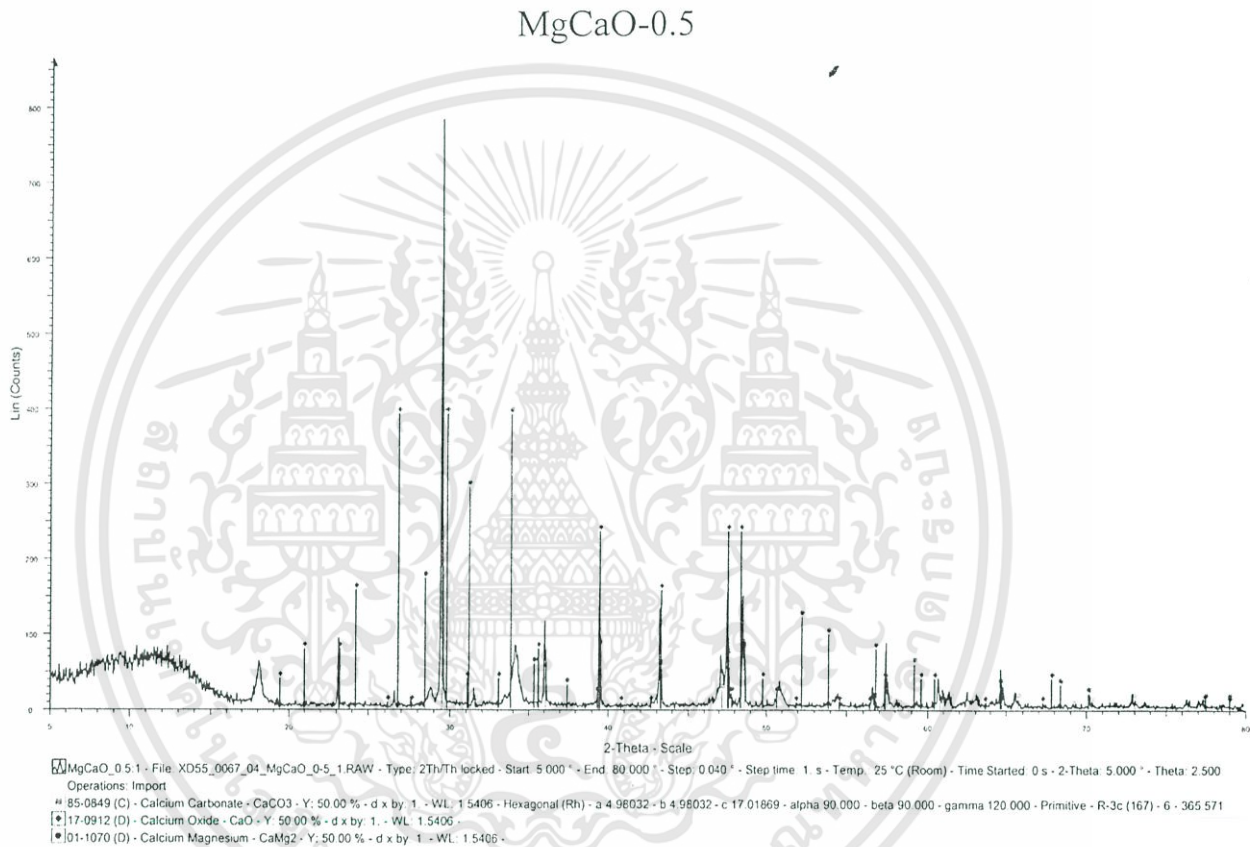
รูปที่ 4.1 รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)



รูปที่ 4.2 รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของแคลเซียมออกไซด์ (CaO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

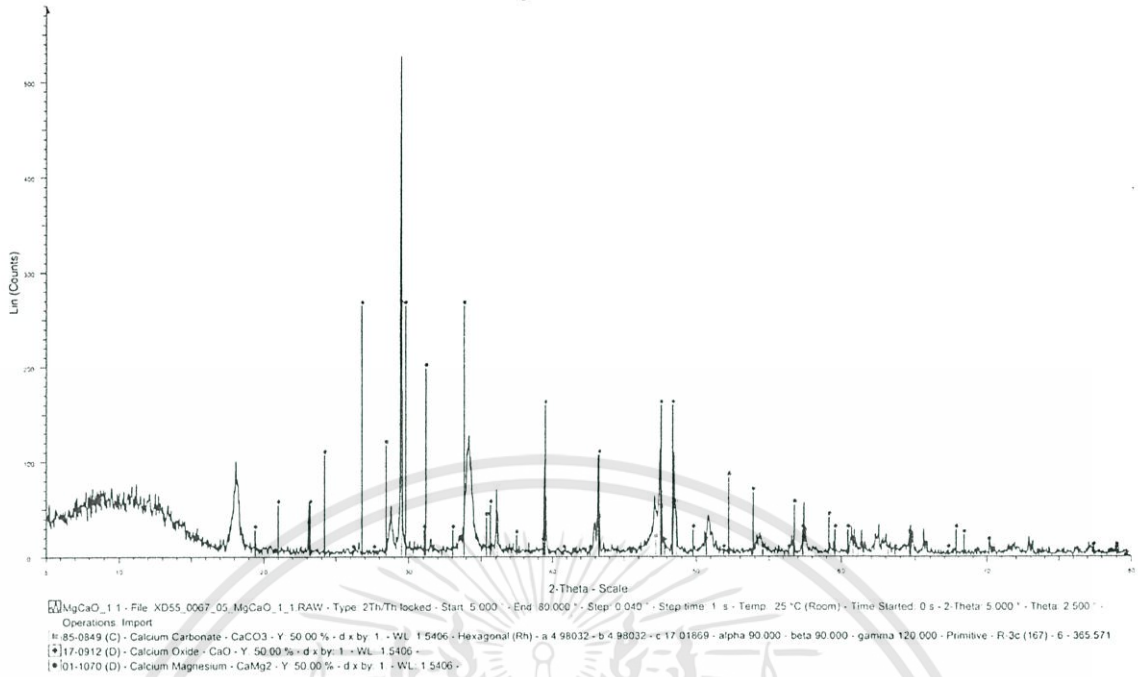
จากรูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แสดงดังรูปที่ 4.1 พบพีคที่มุม 2θ เท่ากับ $37.0^\circ, 43.0^\circ$ และ 62.3° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของผลึกแมกนีเซียมออกไซด์ และจากรูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แสดงดังรูปที่ 4.2 พบพีคที่มุม 2θ เท่ากับ $28.7^\circ, 34.1^\circ, 47.1^\circ, 50.8^\circ, 54.4^\circ, 62.6^\circ, 64.3^\circ$ และ 71.8° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของผลึกแคลเซียมออกไซด์



รูปที่ 4.3 รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่อัตราส่วน โดยโมล Mg : Ca เป็น (MgCaO-0.5)

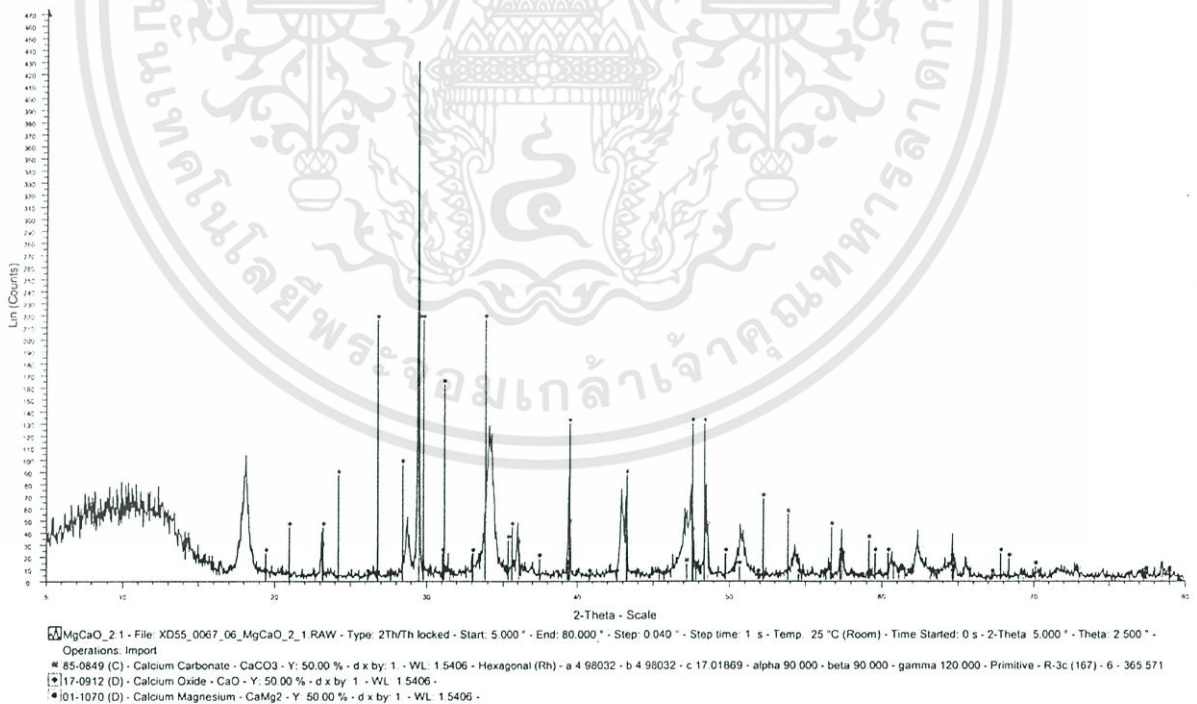
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MgCaO-1



รูปที่ 4.4 รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่อัตราส่วนโดยโมล Mg ต่อ Ca เป็น (MgCaO-1)

MgCaO-2



รูปที่ 4.5 รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่อัตราส่วนโดยโมล Mg ต่อ Ca เป็น (MgCaO-2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

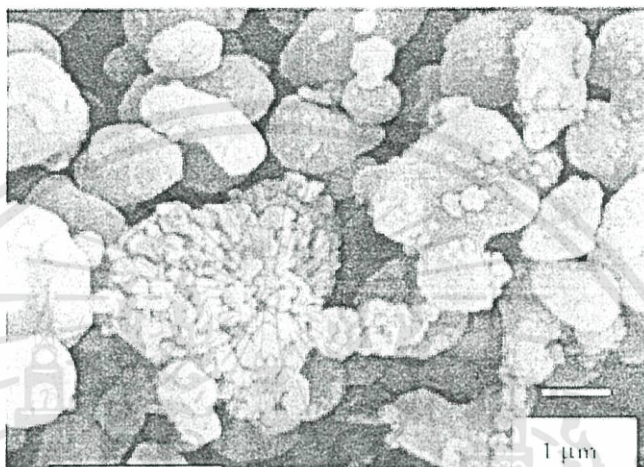
จากรูปที่ 4.3 ถึง 4.5 เป็นรูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่อัตราส่วนโดยโมลของ Mg : Ca ต่าง ๆ กัน โดยเมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าที่มุม 2θ ของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 อัตราส่วนของ Mg : Ca ประกอบไปด้วยพีคเอกลักษณ์ของ MgO และ CaO จากรูปที่ 4.5 เป็นรูปแบบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคชันของ ตัวเร่งปฏิกิริยา $MgCaO_2$ ซึ่งมีอัตราส่วนโดยโมล Mg : Ca เป็น 2:1 จะเห็นว่ามึรูปแบบความเป็นผลึกของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) สูงที่สุดเมื่อเทียบกับที่อัตราส่วนโดยโมล Mg : Ca เป็น 0.5:1 และ 1:1 ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 แต่จะมีรูปแบบความเป็นผลึกของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ต่ำกว่ารูปที่ 4.3

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยารูปนี้ที่เตรียมจากวิธีการตกตะกอนร่วมประกอบด้วยผลึกของ MgO และ ผลึกของ CaO โดยไม่ได้เกิดผลึกชนิดใหม่ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Mg และ Ca แต่อย่างใด เพราะไม่ปรากฏพีคอื่นนอกเหนือจากพีคเอกลักษณ์ของ MgO และ CaO เท่านั้น



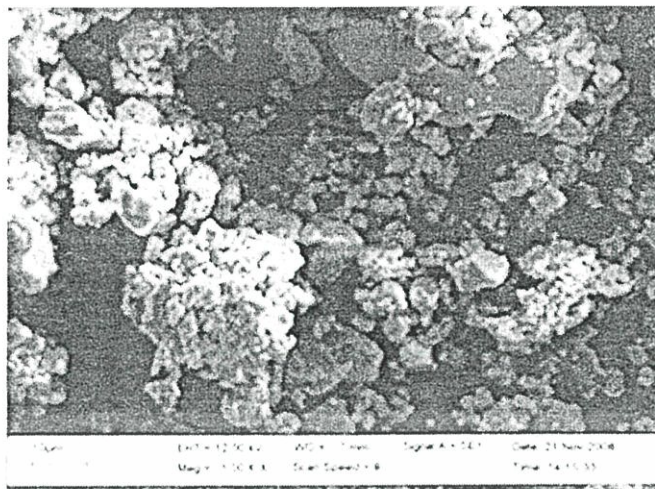
4.1.2 สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยา

นำตัวเร่งปฏิกิริยา MgO, CaO และ MgCaO-2 มาทำการศึกษาสัณฐานวิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.6-4.8 ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



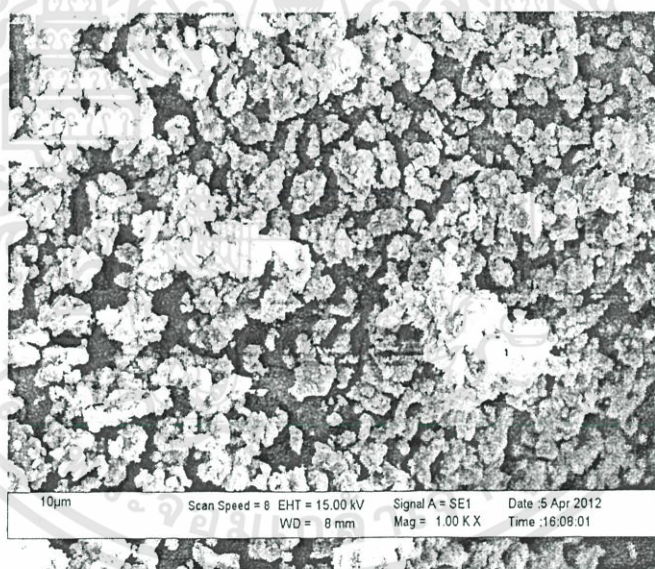
รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของ MgO

ขนาดของผลึกแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สามารถคำนวณได้จากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยพบว่าขนาดผลึกเฉลี่ยเท่ากับ 1.21 μm



รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของ CaO

ขนาดของผลึกแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สามารถคำนวณได้จากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยพบว่าขนาดผลึกเฉลี่ยเท่ากับ $1.40 \mu\text{m}$



รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของ MgCaO-2

ขนาดของผลึกแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ผสมแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สามารถคำนวณได้จากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยพบว่าขนาดผลึกเฉลี่ยเท่ากับ $2.60 \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6-4.8 เปรียบเทียบระหว่างแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ,แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และ แมกนีเซียมแคลเซียมออกไซด์ (MgCaO-2) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการผสม แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ พบว่าลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเปลี่ยนไปจากเดิม โดยจะมีผลึกของแคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์กระจายอยู่ปะปนกัน

4.1.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะตัวเร่งปฏิกิริยา

นำตัวเร่งปฏิกิริยาทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะ โดยใช้ Nitrogen adsorption-desorption isotherm ที่อุณหภูมิ 77 K ซึ่งใช้เครื่อง Automatic Micromeritics ASAP2020 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา วิเคราะห์โดยใช้ไอโซเทอมแบบ BET

ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวจำเพาะ(m ² /g)
CaO	1.2
MgCaO-0.5	8.5
MgCaO-1	14.7
MgCaO-2	15.2
MgO	15.7

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วน โดยโมลของ Mg ต่อ Ca โดยพื้นที่ผิวจำเพาะของ MgO สูงกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของ CaO เนื่องจาก MgO เป็นผลึกที่มีขนาดเล็กกว่า CaO ดังนั้นจึงส่งผลให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูงกว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ Mg ในตัวเร่งปฏิกิริยา จะทำให้พื้นที่ผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

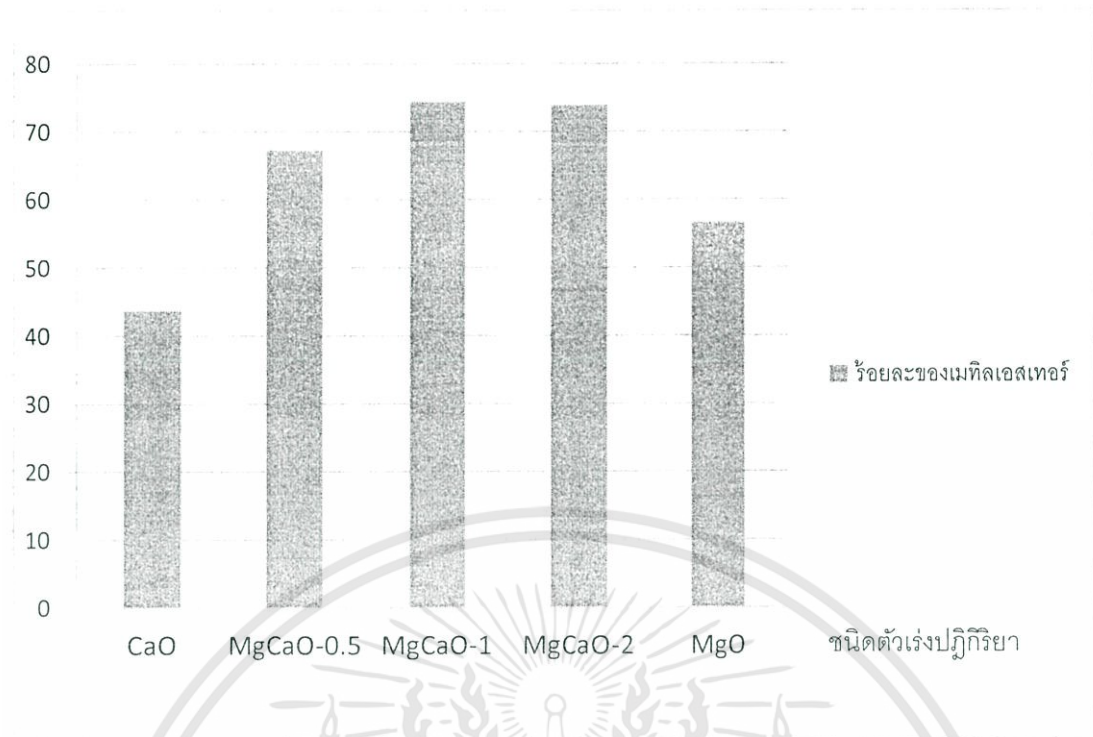
4.2.1 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการศึกษาผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ จะกำหนดให้ใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 8:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาศึกษาประกอบด้วย CaO, MgO, MgCaO-0.5, MgCaO-1 และ MgCaO-2 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.2 ผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนโดยโมล Mg ต่อ Ca	ร้อยละเมทิลเอสเทอร์
CaO	-	43.7
MgCaO-0.5	0.5:1	67.3
MgCaO-1	1:1	74.2
MgCaO-2	2:1	73.9
MgO	-	56.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



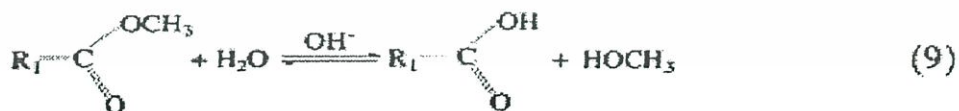
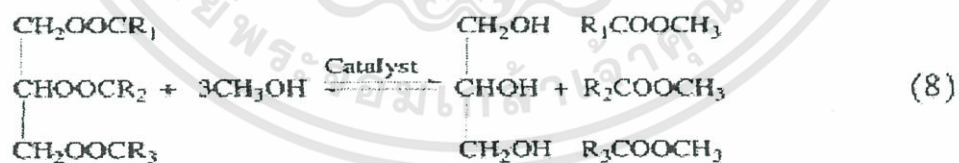
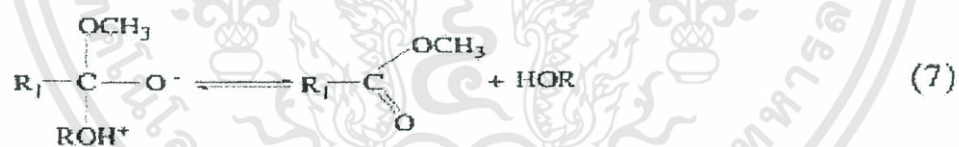
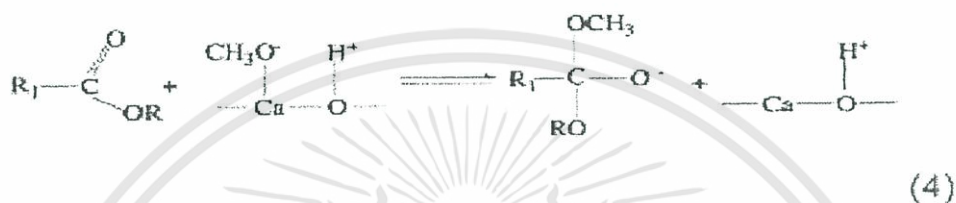
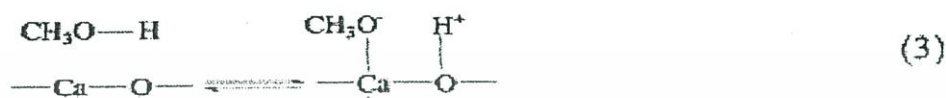
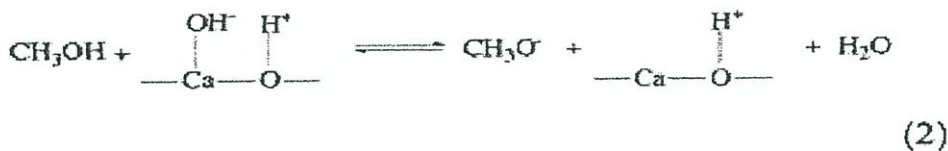
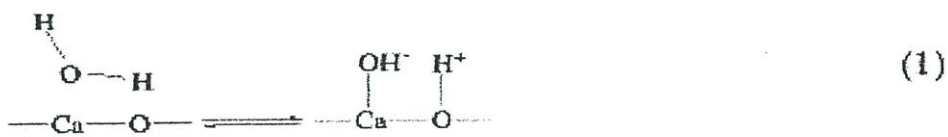
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดตัวเร่งปฏิกิริยากับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา MgO, CaO และออกไซด์ผสมของ MgO และ CaO กับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์จะเห็นว่า MgO มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันได้มาก โดยให้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 56.6 ขณะที่ CaO ให้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 43.7 ซึ่ง Mg และ Ca เป็นธาตุในหมู่ที่ 2 โดยความเป็นเบสของ CaO นั้นมากกว่า MgO เล็กน้อย แต่พื้นที่ผิวจำเพาะของ MgO มากกว่า CaO ดังนั้นจึงทำให้ MgO มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันได้ดีกว่า CaO เพื่อเพิ่มความเป็นเบสให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมเพื่อให้เกิดออกไซด์ผสมของ CaO และ MgO ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของ MgO และ CaO จึงให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า MgO และ CaO เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วน Mg : Ca ต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมล Mg ต่อ Ca จาก 0.5:1 เป็น 1:1 พบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจาก 67.3 เป็น 74.4 หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของ Mg ต่อ Ca เป็น 2:1 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มคงที่ จากผลการทดลองจึงกล่าวได้ว่าการเพิ่มปริมาณของ MgO ในตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นการเพิ่มร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1 ให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด

ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของ Mg และ Ca (MgCaO) มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันได้ดีกว่า MgO และ CaO เนื่องจากในการเร่งปฏิกิริยาสปีชีส์ที่มีความสำคัญคือ เมทอกไซด์ (methoxide) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างออกไซด์กับเมทานอล ในตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO มีทั้ง MgO และ CaO อยู่ร่วมกัน ดังนั้นการเกิด methoxide จึงเกิดได้มากขึ้นดังแสดงในกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา CaO และ MgO. ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

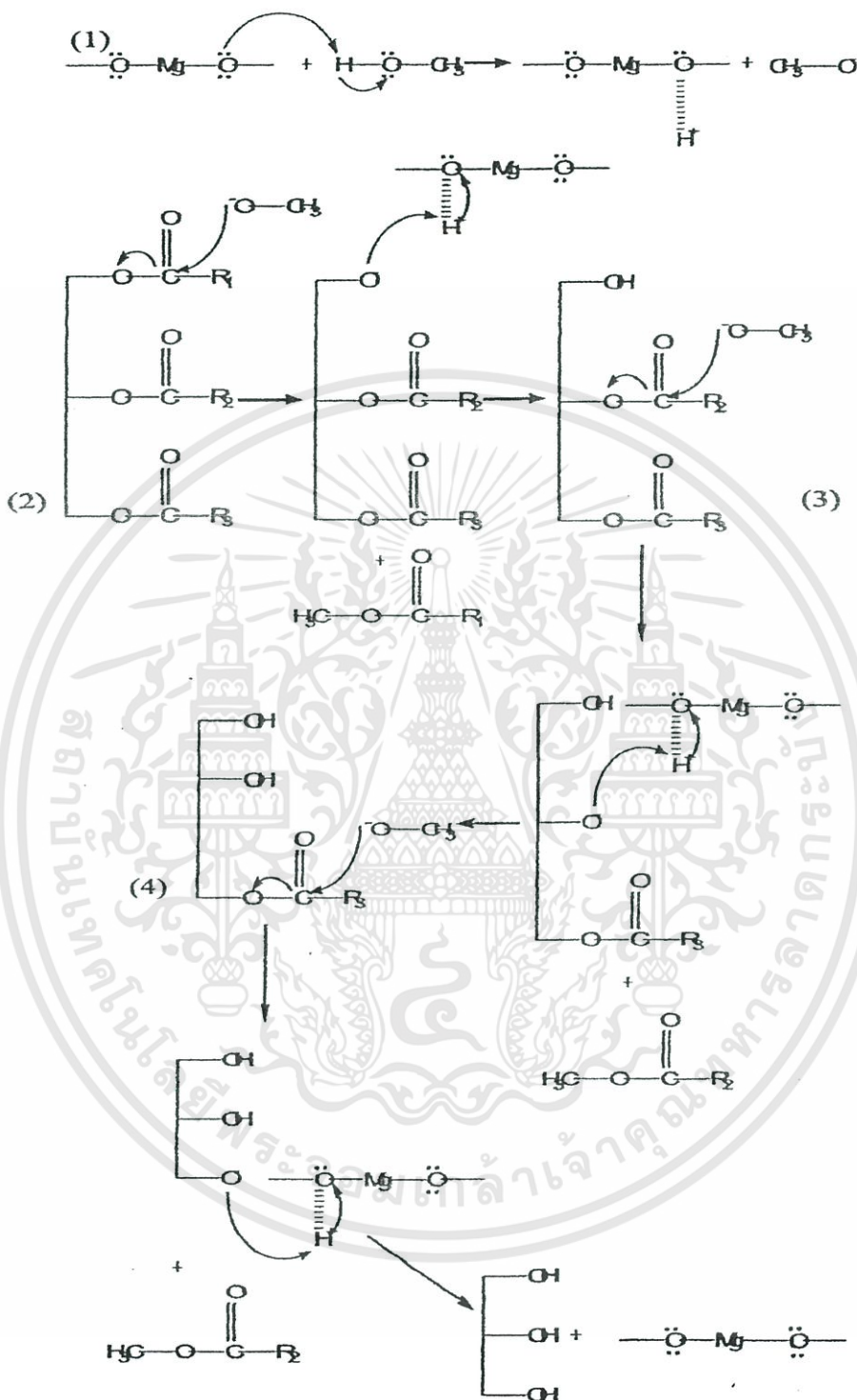


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน บน CaO โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของ Mg และ Ca (MgCaO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันบน MgO โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของ Mg และ Ca (MgCaO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลของชนิดตัวทำละลายร่วมและอัตราส่วนโดยปริมาตร

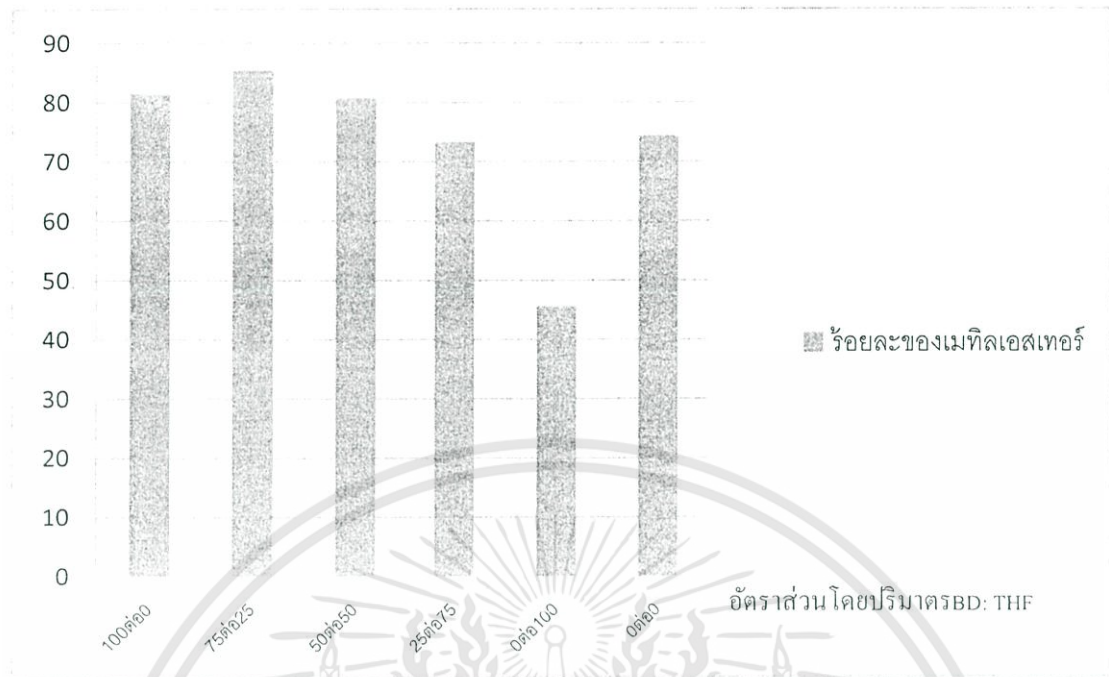
การศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมที่มีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ได้ใช้ตัวทำละลายร่วม 2 ชนิด คือ เทระไฮโดรฟูแรน (THF) และ ไบโอดีเซล (BD) โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยปริมาตรของ BD : THF เป็น 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 โดยกำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชเป็น 8:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 120 นาที อุณหภูมิของปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส โดยเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดจากตอนที่ 4.2.1 คือ MgCaO-1 ในปริมาณ 2% โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.3 ผลของชนิดตัวทำละลายร่วมและอัตราส่วน โดยปริมาตรที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%)	อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน	อัตราส่วนโดยปริมาตรของ BD:THF	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์
MgCaO-1	2	8:1	100:0	81.5
			75:25	85.4
			50:50	80.7
			25:75	73.3
			0:100	45.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

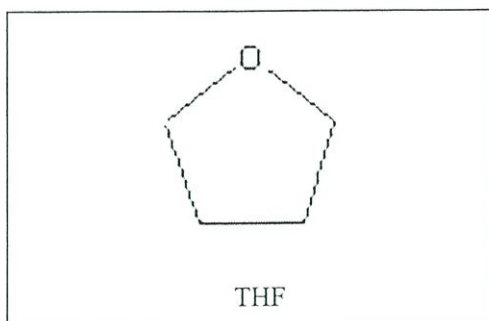


รูปที่ 4.12 ผลของชนิดตัวทำละลายร่วมที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไบโอดีเซล (BD) ในตัวทำละลายร่วมผสมจากอัตราส่วน โดยปริมาตร BD:THF 0:100 เป็น 75:25 พบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากร้อยละ 45.6 ไปเป็นร้อยละ 85.4 จากนั้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยปริมาตรของ BD ต่อ THF พบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ลดลงเล็กน้อย สำหรับปฏิกิริยาที่ใช้ตัวทำละลาย THF และ BD เพียงอย่างเดียว พบว่าได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ 45.6 และ 81.5 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองกล่าวได้ว่าการใช้ตัวทำละลายร่วมผสมระหว่าง BD และ THF จะให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ไม่เติมตัวทำละลายร่วม (ใช้เฉพาะตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1) ซึ่งได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพียง 74.4

สำหรับตัวทำละลายร่วม THF ให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ 45.6 ซึ่งน้อยกว่ากรณีปฏิกิริยาที่ไม่เติมตัวทำละลายร่วม อาจมีผลมาจาก THF เป็นสารอินทรีย์ประเภทอีเทอร์ ซึ่งมีอิเล็กตรอนอยู่โดดเดี่ยวที่อะตอมของออกซิเจน ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเมทานอลได้ และส่วนที่เป็นหมู่อัลคิลที่มีขั้วต่ำ แต่เนื่องจาก THF มีหมู่อัลคิลที่เป็นวงปิด และ ความยาวของหมู่อัลคิลที่ไม่มากพอ ดังนั้นจึงอาจเข้ากันได้ไม่ดีกับน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รวมทั้งในการทดลองนี้มีการเติมตัวทำละลายร่วม THF ในอัตราส่วนโดยปริมาตร 2 เท่าของน้ำมัน จึงทำให้ปริมาตรโดยรวมสารในปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความเข้มข้นของ methoxide ในการเร่งปฏิกิริยาลดลง ดังนั้นร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จึงต่ำกว่าปฏิกิริยาที่ไม่มีการเติมตัวทำละลายร่วม

สำหรับไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ เป็นสารอินทรีย์ประเภทเอสเทอร์ ซึ่งในโครงสร้างประกอบด้วยหมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล (alcoxy carbonyl) ซึ่งจะมีความเป็นขั้วดังนั้นจึงเข้ากันได้กับเมทานอล และมีหมู่อัลคิล (-R) ที่มาจากไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งส่วนนี้จะเข้ากันได้ดีกับน้ำมันเพราะเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว การมี THF เป็นตัวทำละลายร่วมผสม จะช่วยลดความหนืดของไบโอดีเซลลง ดังนั้นโดยรวมแล้วตัวทำละลายร่วมสามารถช่วยให้เมทานอลและน้ำมันละลายเข้ากันได้ดีขึ้นปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจึงเกิดได้มาก ส่งผลให้ได้รับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สูงขึ้นกว่าปฏิกิริยาที่ไม่มีการเติมตัวทำละลายร่วม และจากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลต่อTHF เป็น 75:25 จะได้รับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดคือ 85.4



อย่างไรก็ตาม การเติมไบโอดีเซลเป็นตัวทำละลายร่วมในอัตราส่วนโดยปริมาตรมากกว่า 75:25 จะทำให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ลดลง ซึ่งอาจมีสาเหตุจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ การเติมไบโอดีเซลปริมาณมากเกินไปในการเป็นตัวทำละลายร่วมจะทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปในทางย้อนกลับ ดังนั้นร้อยละของเมทิลเอสเทอร์จึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

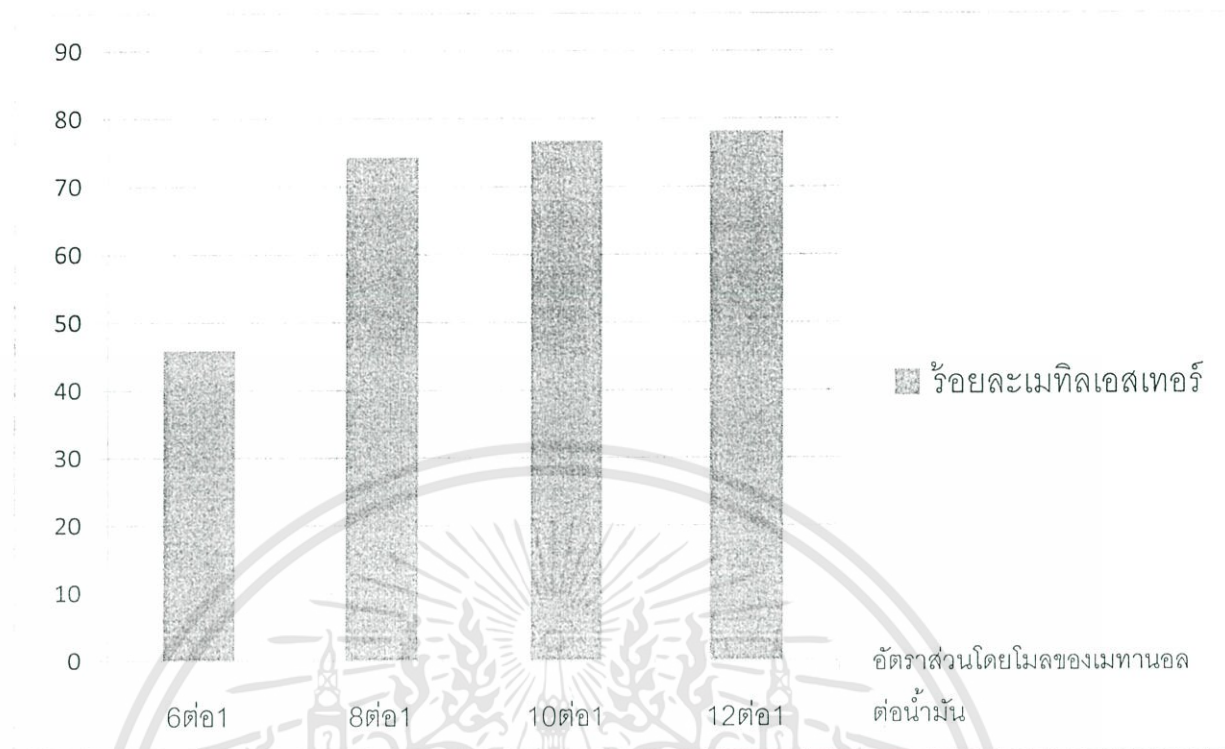
4.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน

ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์จะ กำหนดให้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1 ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยปริมาตรของ ตัวทำละลายผสมของ BD : THF เป็น 75:25 เวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1, 8:1, 10:1 และ 12:1 ผลการ ทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.4 ผลของอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

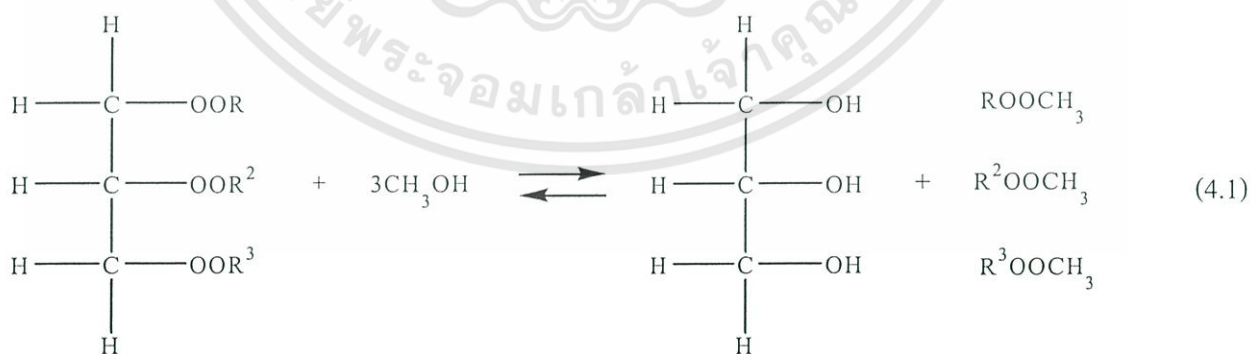
ชนิดของตัวเร่ง ปฏิกิริยา	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	อัตราโดย ปริมาตรของ BD:THF	อัตราส่วนโดย โมลของเมทานอลต่อ น้ำมัน	ร้อยละของเมทิล เอสเทอร์
MgCaO-1	2	75:25	6:1	45.9
			8:1	74.4
			10:1	76.8
			12:1	78.2

ร้อยละเมทิลเอสเทอร์



รูปที่ 4.13 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

จากรูปที่ 4.13 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันจาก 6:1 เป็น 8:1 พบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นอย่างมา แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันมากกว่า 8:1 จะเห็นได้ว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเพิ่มอัตราส่วน โดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน เนื่องจากการเพิ่ม ปริมาณของเมทานอลที่มากเกินไป จะสามารถทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ ผันกลับได้เลื่อนไปทางด้านของผลิตภัณฑ์จึงส่งผลให้ได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นดังสมการที่ 4.1

จากสมการที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าต้องใช้ 3 โมลของเมทานอลและ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ เพื่อที่จะได้ 3 โมล ของเมทิลเอสเทอร์กับ 1 โมลของกลีเซอรอล โดยอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อ น้ำมันที่ 8:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกับที่อัตราส่วน 10:1 และ 12:1

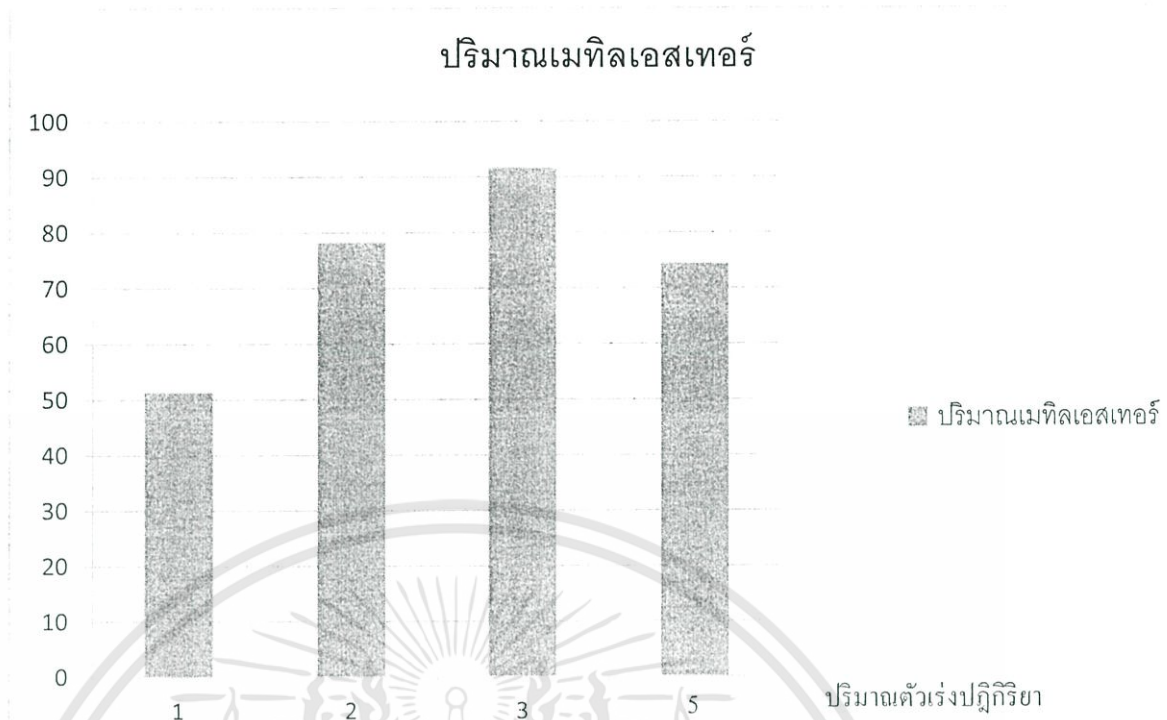
4.2.4 ผลของปริมาณตัวเร่งในปฏิกิริยา

ในการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ จะทำการ แปรเปลี่ยนปริมาณตัวเร่งในการทำปฏิกิริยาเป็น 1%, 2%, 3% และ 5% โดยใช้อัตราส่วน โมลเมทานอล ต่อน้ำมัน 12:1 อัตราส่วน โดยปริมาตรของ BD : THF เป็น 75:25 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และเวลา ในการทำปฏิกิริยา 240 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของตัวเร่ง ปฏิกิริยา	อัตราโดยปริมาตร ของ BD:THF	อัตราส่วนโดย โมลเมทานอล ต่อน้ำมัน	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (% โดยน้ำหนัก)	ร้อยละของเมทิล เอสเทอร์
MgCaO-1	75:25	12:1	1	51.4
			2	78.2
			3	91.7
			5	74.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1 ที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO จาก 1% เป็น 3% ร้อยละเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจาก 51.4 เป็น 91.7 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 3% พบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีค่าลดลง โดยที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3% จะให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดคือ 91.7

การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นการเพิ่มปริมาณหมู่ไอออนในการเกิดปฏิกิริยานั้นคือ MgO และ CaO ซึ่งทั้งสองหมู่ไอออนนี้มีความเป็นเบส ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน อย่างไรก็ตามการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5% จะทำให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ลดลง เนื่องจากเกิดสบู่ขึ้นเพราะความเป็นเบสที่มากเกินไปในปฏิกิริยา

4.2.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา

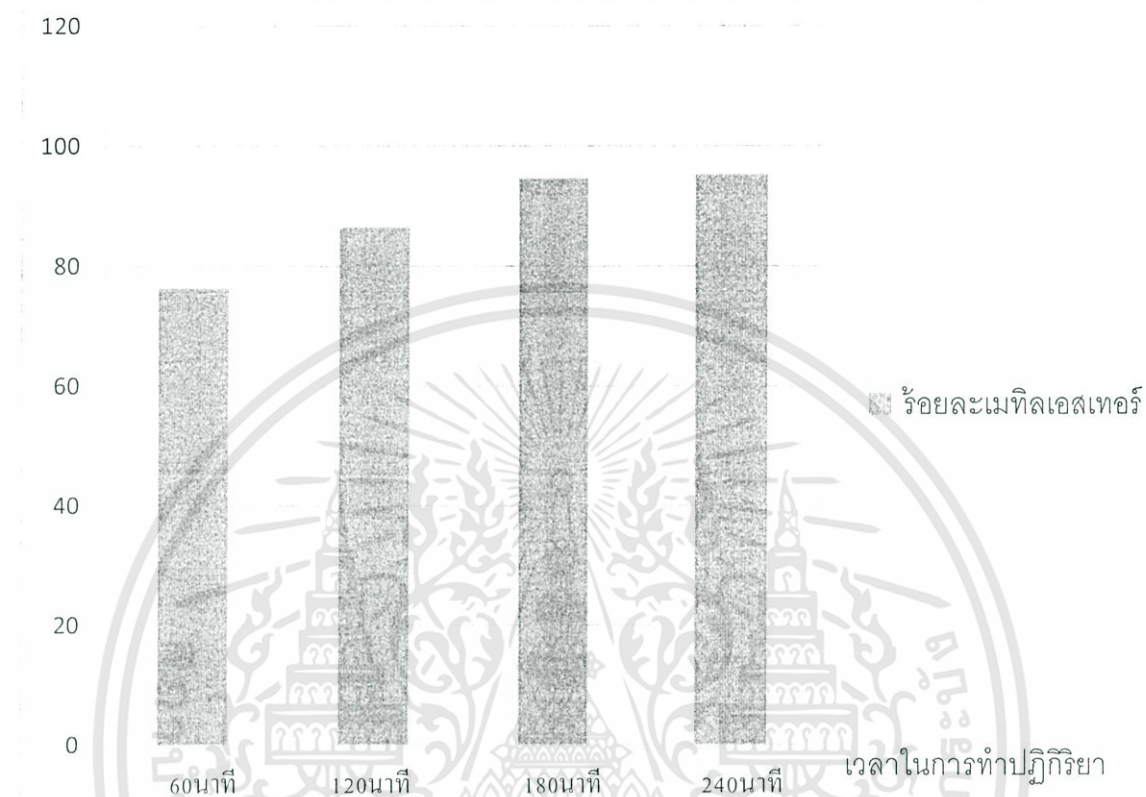
ในการศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จะทำการแปรเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 60, 120, 180 และ 240 นาที โดยใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1 ปริมาณ 2% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วม BD:THF 75:25 ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ แสดงดังรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.6 ผลเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%)	อัตราโดยปริมาตรของ BD:THF	อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์
MgCaO-1	2	75:25	12:1	60	76.4
				120	86.5
				180	94.7
				240	95.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละเมทิลเอสเทอร์



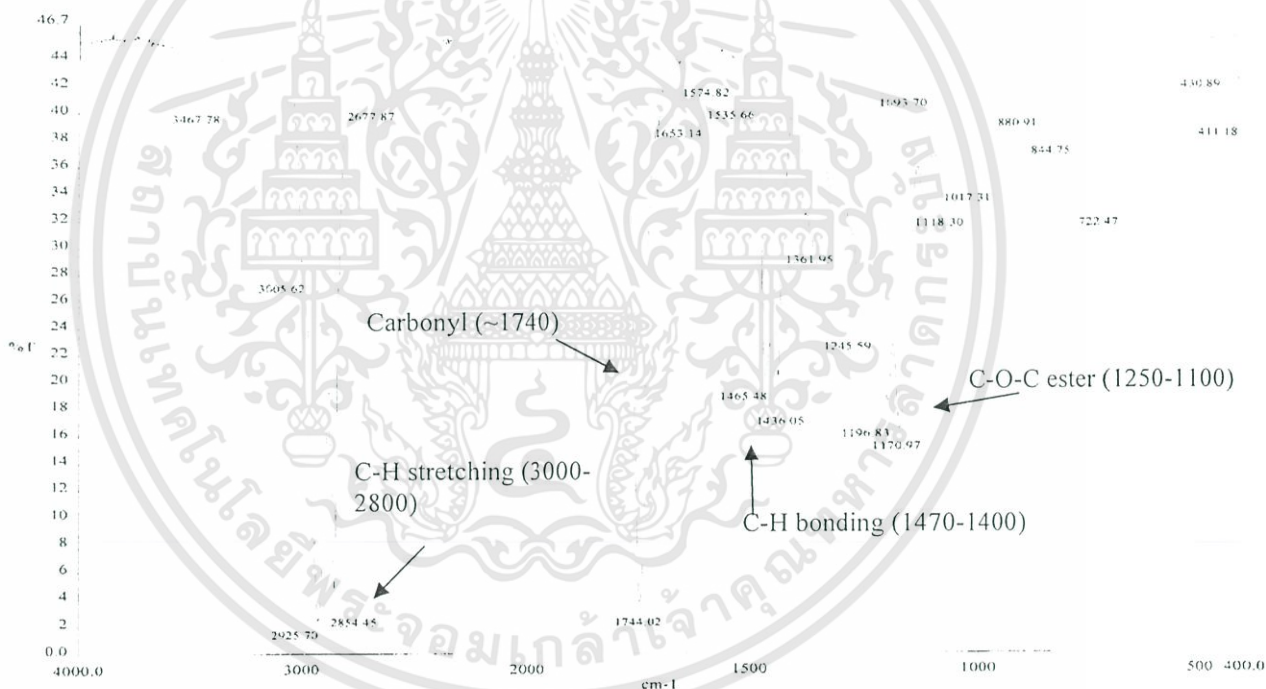
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในช่วงเวลา 60-180 นาที ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นอย่างมาก หลังจาก 180 นาที ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มคงที่ ดังนั้นที่ 180 นาที จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์

นำเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากสถานะที่เหมาะสมเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO มาทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

4.3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)



รูปที่ 4.16 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1 ปริมาณตัวเร่งร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 180 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์ที่การดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่างๆ

Absorption frequency (cm^{-1})	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 และ 1100	Ester	C-O-C ester

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

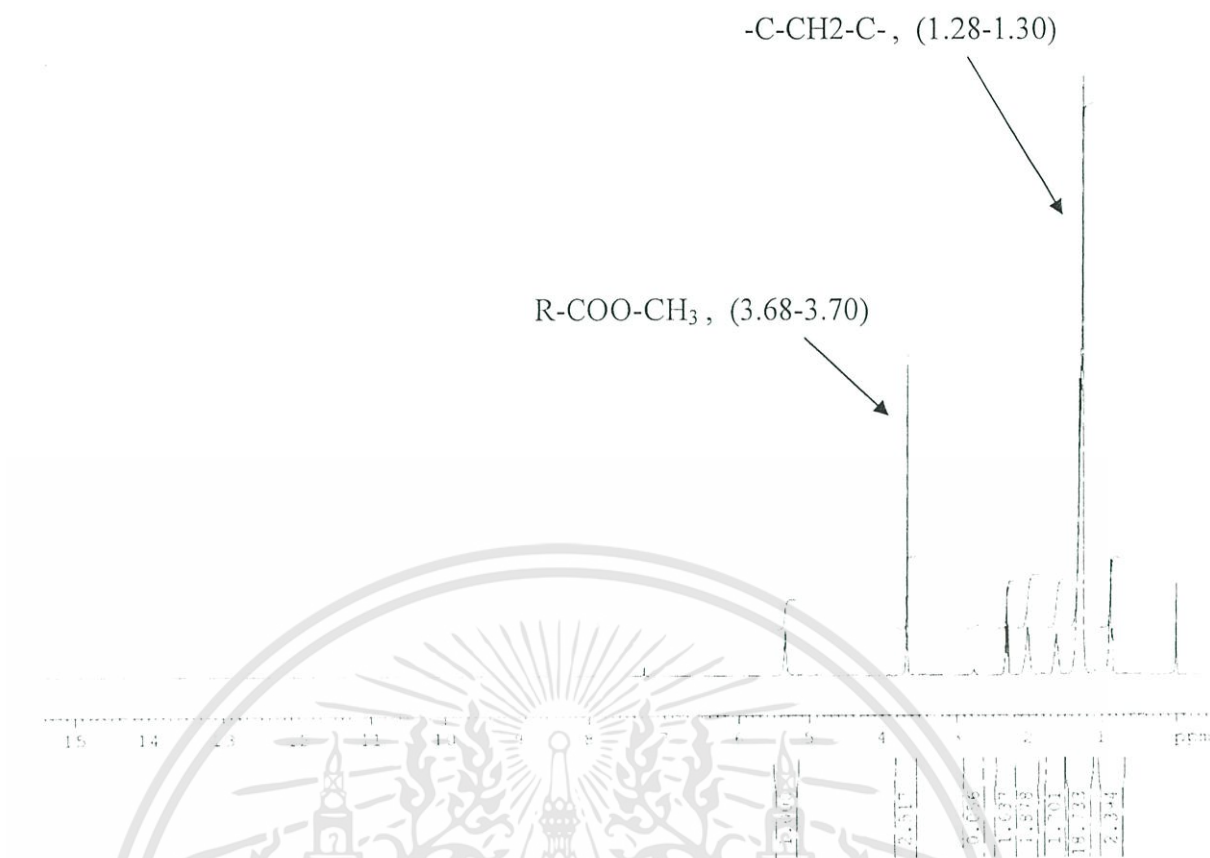
4.3.2 การวิเคราะห์เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์ม นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fouier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer, FT-NMR)



รูปที่ 4.17 สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มจากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

จากรูปที่ 4.17 แสดงถึง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลโปรตอน ($\text{CH}_3\text{-C-}$) และเมทิลีนโปรตอน ($\text{-C-CH}_2\text{-C-}$) ที่ δ 0.85-0.88 และ 1.25-1.30 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C-}$ ที่ δ 1.60-1.63 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-C=C}$ ที่ δ 2.00-2.04 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 2.77-2.80 ppm, สเปกตรัมของ $\text{CH}_3\text{-OOC-R}$ และ $\text{-CH}_2\text{-OOC-R}$ ที่ δ 4.11-4.17 และ 4.27-4.32 ppm, สเปกตรัมของ -CH=CH- ที่ δ 5.26-5.35 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 FT-NMR สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgCaO-1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 180 นาที และอัตราส่วนโดยปริมาตรของ BD:THF เป็น 75:25

จากรูปที่ 4.17 แสดงถึง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลโปรตอน ($\text{CH}_3\text{-C-}$) และเมทิลีนโปรตอน ($\text{-C-CH}_2\text{-C-}$) ที่ δ 0.88-0.90 และ 1.28-1.30 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C-}$ ที่ δ 1.61-1.65 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, สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ (-R-COO-CH_3) ที่ δ 3.68-3.70 ppm, สเปกตรัมของ -CH=CH- ที่ δ 5.34-5.36 ppm

จากรูปที่ 4.18 เมื่อนำน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอล โดย MgCaO-1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะพบว่าตำแหน่งโปรตอนของ $\text{CH}_3\text{-OOC-R}$ และ $\text{-CH}_2\text{-OOC-R}$ ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่ δ 4.11-4.17 และ 4.27-4.32 ppm หายไป เกิดเป็นตำแหน่งโปรตอนของ -R-COO-CH_3 ในโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ขึ้นมาแทน ที่ δ 3.68-3.70 ppm สำหรับที่สภาวะอื่นๆ ผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและเมทานอลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียม ($MgCaO$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีไบโอดีเซลและเทระไฮโดรฟูแรน (THF) เป็นตัวทำละลายร่วม จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ พบว่า

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียม ($MgCaO$) ซึ่งเตรียมจากวิธีการตกตะกอนร่วม ประกอบไปด้วยผลึกของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยตัวเร่งปฏิกิริยา $MgCaO$ ในทุกๆ อัตราส่วนโดยโมล Mg ต่อ Ca สามารถเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าการใช้ MgO และ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดคือ 74.4 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนโดยโมล Mg ต่อ Ca เป็น 1:1 ($MgCaO-1$)

2. การเติมตัวทำละลายร่วมผสมระหว่างไบโอดีเซล และ THF จะช่วยให้การเข้ากันได้ของน้ำมันและเมทานอลดีขึ้น โดยที่อัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลต่อ THF เป็น 75:25 จะให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดที่ 85.4 เมื่อใช้ $MgCaO-1$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

3. สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ และได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดคือ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมในอัตราส่วนโดยโมล 1:1 ($MgCaO-1$) ในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซล และ THF ซึ่งเป็นตัวทำละลายร่วมคือ 75:25 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 12:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 180 นาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำไบโอดีเซลที่ได้มาทดลองผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์จริง
2. ควรนำเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง เช่น ความหนืด จุดวาบไฟ ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน เพื่อตรวจสอบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติทางเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซลหรือไม่
3. ควรพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียม ($MgCaO$) ให้มีความเป็นเบสและประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยการเติมเกลือของโลหะหมู่ 1 เช่น KF , $LiNO_3$ หรือ $NaNO_3$ ลงบนตัวเร่งปฏิกิริยา $MgCaO$ เพื่อให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่เพิ่มขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] Hobson, G.D. **Modern Petroleum Technology Part 2** 5th ed. New York: John Wiley & Sons, (1984).
- [2] Maloney, T.M., **Modern Particleboard and dry process fiberboard manufacturing**, 1st Ed, Sanfrancisco: Miller Freeman publication ,1977.
- [3] สถาบันวิจัยพลังงาน. น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซล. [Online]. Available: <http://www.thaibiodiesel.com/thaistory5.html>
- [4] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ไบโอดีเซลกับการใช้งาน. [Online]. Available: <http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php?Aid=409&page=2>
- [5] คมสันต์ หุตะแพทย์, สุทัศน์า กำเนิดทอง, กำพล กาหลง และณัฐภูมิ สุดแก้ว. 2550. ทำไบโอดีเซลใช้เอง. หน้า 5, 23, 32. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ.
- [6] Ma, F., Hanna, M.A. **Biodiesel Production: A Review**. Bioresource Technology, 70(1999) 1-15.
- [7] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ความรู้เกี่ยวกับไบโอดีเซล. [online]. Available: http://www.biodiesel.rdi.ku.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=12
- [8] จตุพร วิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. 2547. การเร่งปฏิกิริยา: พื้นฐานการประยุกต์. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์
- [9] ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 [Online]. Available: <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=351>
- [10] Boocock, D.G.B. , Konar S.K, Mao, V and Sidi, H. **Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production – a review**. Biomass Bioenergy .11(1996) 43-50.
- [11] <http://www.chemtrack.org/MSDSSG/Merck/msdst/1010/101096.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] journal.nida.ac.th/journal/attachments/a329.pdf
- [13] **Magnesium oxide**. [online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Magnesium_oxide
- [14] **Calcium oxide-CaO**. [online]. Available: <http://www.scifun>
- [15] Keera, S.T., El Sabagh, S.M. and A.R. Taman. **Tranesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst**. [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/fuel
- [16] Xuejun, L., Huayang, H., Yujun, W., Shenlin, Z. and Xianglan, P. **Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst**. *Fuel*, 87 (2008) 216-221.
- [17] Zhenzhong, W., Xinhai, Y., Shan, T.T., Jinyue, Y. and Erik, D. **Synthesis of biodiesel from vegetable oil with methanol catalyzed by Li-doped magnesium oxide catalyst**. *Applied Energy*, 87(2010)743-748.
- [18] Martin Alonso, D., Mariscal, R., Lopez Granados, M. and Maireles-Torres, P. **Biodiesel preparation using Li/CaO catalyst**. *Today*, 143(2009)167-171
- [19] Ratre, P. **Biodiesel Production from Palm Oil with Co-solvent**. *Ind Eng Chem Res*, 46(2008)7997-8004.
- [20] Lam, M.K. and Lee, K.T. **Accelerating transesterification reaction with biodiesel as co-solvent: A case study for solid acid sulfated tin oxide catalyst**. *Fuel*, xxx(2010)xxx-xxx
- [21] เพียงพิศ วงศ์ฉนิล, กฤษดา แก้วยก และอรวรรณ อยู่แท้กุล, กระบวนการสังเคราะห์น้ำมันชีวภาพจากน้ำมันทอดใช้แล้ว, โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา เคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.
- [22] กษิดิศ วิรุรัตน์, ณัฐธิดา รัตนกำเนิด, นิชชา พลอยนุช. 2553. “การใช้โลหะแอลคาไลน์แอนด์เอิร์ทออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล”. โครงการพิเศษ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[23] ชญาพร สุเมธประจักษ์, ภูมิศักดิ์ ภัคคีจอหอ และ มานีสา กัญจนา , การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้สารประกอบอีเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วม, โครงการงานพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

1. วิธีการคำนวณในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียม
คำนวณน้ำหนักเป็นกรัม โดยใช้ข้อมูลจากตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นและปริมาตรของ $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ และ $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา MCO

อัตราส่วนโดยโมล Mg:Ca	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$		$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	
	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (ml)
0.5:1	1	50	2	50
1:1	2	50	2	50
2:1	4	50	2	50

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมของแมกนีเซียมและแคลเซียมอัตราส่วนโดยโมล Mg:Ca

1:1

1.1 การเตรียมสารละลาย 2M $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ปริมาตร 50 ml

คำนวณหาน้ำหนักกรัม

จากสูตร $n = g/Mw$ $n = CV/10000$

โดยที่น้ำหนักโมเลกุลของ $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O = 256.41$ g/mol

$$g/Mw = CV/1000 \quad g/256.41 = (2 \times 50)/1000$$

$$g = 25.41 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นน้ำหนักกรัม $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ที่ใช้เตรียมสารละลาย 2M $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

ปริมาตร 50 ml คือ 25.41 กรัม

1.2 การเตรียมสารละลาย 2M $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ปริมาตร 50 ml คำนวณหาน้ำหนักกรัม

จากสูตร $n = g/Mw$ $n = CV/10000$

โดยที่น้ำหนักโมเลกุลของ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 236.078 \text{ g/mol}$

$$g/Mw = CV/1000 \qquad g/236.078 = (2 \times 50) / 1000$$

$$g = 23.61 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นน้ำหนักกรัม $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้เตรียมสารละลาย 2M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ปริมาตร 50 ml คือ 23.61 กรัม

1.3 การเตรียมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ ปริมาตร 250 ml

จากสูตร $n = g/Mw$ $n = CV/1000$

โดยที่น้ำหนักโมเลกุลของโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) = 105.96 g/mol

$$g/Mw = CV/1000 \qquad g/105.96 = (0.25 \times 250)/1000$$

$$g = 6.63 \text{ กรัม}$$

