

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวทำละลายร่วมและตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยไฮดรอกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์

SYNTHESIS BIODIESEL FROM PALM OIL USING CO-SOLVENT
AND MAGNESIUM OXIDE MODIFIED WITH HYDROXIDE
OF ALKALINE METAL



T117154

นางสาวกรทิพย์ บุญศิริเกสัช
นางสาวธัญญฐา เตโชสง
นายภัทรพงศ์ พงษ์เพียรไพโรจน์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 117154
วันเดือนปี..... 19 ก.ค. 2554

๒๐๓๑๖๒๐
b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS BIODIESEL FROM PALM OIL USING CO-SOLVENT
AND MAGNESIUM OXIDE MODIFIED WITH HYDROXIDE OF
ALKALINE METAL**



**Miss Kornthip Boonsiribhesash
Miss Thanattha Lathaisong
Mr. Pattharapong Pongpienpiroj**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของสถาบันเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2010

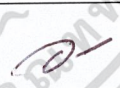
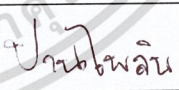
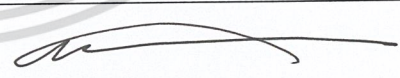
หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวทำละลายร่วมและตัวเร่ง ปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยไฮดรอกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์

Synthesis biodiesel from Palm Oil using Co-solvent and Magnesium Oxide Modified with Hydroxide of Alkaline Metal

ชื่อนักศึกษา นางสาวกรทิพย์ บุญศิริเกสัช
นางสาวธัญญา เลโซสง
นายภัทรพงศ์ พงษ์เพียรไพโรจน์

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา 2553
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์ ประจำปีการศึกษา 2553

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|--|
| ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม |  |
| ดร.ปานไพลิน สีหาราช |  |
| ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล |  |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------|--|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวทำละลายร่วมและตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยไฮดรอกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์ |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวกรทิพย์ บุญศิริเกษ นางสาวชญัญญา เลิศสง นายภัทรพงศ์ พงษ์เพียรไพโรจน์ |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรบัณฑิต |
| สาขาวิชา | เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์ |
| ปีการศึกษา | 2553 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มกับเมทานอลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวทำละลายร่วมและตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยไฮดรอกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/MgO) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/MgO) ซึ่งเตรียมด้วยวิธีเอ็บซุ่ม โดยศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลายร่วม ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน และเวลาในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ จากการเปรียบเทียบตัวทำละลายร่วมพบว่า ปีโตรเลียมอีเทอร์ ให้อัตราส่วนของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์ เตตระไฮโดรฟูแรน และเมทิลเอทิลคีโตน สภาวะที่ให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/ MgO อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 10:1 อัตราส่วนโดยปริมาตรของปีโตรเลียมอีเทอร์ต่อน้ำมันเป็น 2:1 อุณหภูมิ 60 - 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ให้อัตราของเมทิลเอสเทอร์ 94.70 คำนวณจากสเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติก เรโซแนนซ์ สเปกโตรสโกปี

คำสำคัญ : น้ำมันไบโอดีเซล, เมทิลเอสเทอร์, ตัวทำละลายร่วม และตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------------------------------|--|-----------------|
| Special Project Title | Synthesis biodiesel from Palm Oil using Co-solvent and Magnesium Oxide Modified with Hydroxide of Alkaline Metal | |
| Name | Miss Kornthip | Boonsiribhesash |
| | Miss Thanattha | Lathaisong |
| | Mr. Pattharapong | Pongpienpiroj |
| Degree | Bachelor of Science | |
| Program | Industrial Chemistry – Analytical Instrumentation | |
| Academic Year | 2010 | |
| Special project advisor | Dr.Amat 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 co-solvent and catalyzed by magnesium oxide modified with alkaline hydroxide catalysts such as sodium hydroxide loaded on magnesium oxide (NaOH/MgO) and potassium hydroxide loaded on magnesium oxide (KOH/MgO). The variables that affect on the %yield of methyl ester, namely the type of co-solvent, catalyst type, methanol/oil molar ratio, volumetric ratio of co-solvent to oil and reaction time were studied. From the results, petroleum ether was shown to be more effective than methyl tert-butyl ether (MTBE), tetrahydrofuran (THF), and methyl ethyl ketone (MEK). Moreover, the highest yield of methyl ester, 94.70%, was obtained using KOH/MgO catalyst, methanol/oil molar ratio of 10:1, volumetric ratio of petroleum ether and oil of 2:1 at 60 - 65 °C for 120 minutes.

Keywords : Biodiesel, Methyl ester, Co – solvent and Catalysts.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และตรวจทานแก้ไขโครงการฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม และ ดร.ปานไพลิน สีหาราช กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อชี้แนะ และตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม ที่กรุณาให้ความรู้ แนวทางแก้ไขและคำแนะนำ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำ

ขอขอบพระคุณ คุณสุภัทร บานเย็น นักวิทยาศาสตร์สาขาวิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิคฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และสารเคมี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์สาร

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์สาร

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์สาร

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวอันเป็นที่รักสำหรับกำลังใจและการสนับสนุนที่มีให้เสมอมา

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่ทุกคนที่กรุณาให้คำแนะนำ คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ

นางสาวกรทิพย์ บุญศิริเกสัช

นางสาวธณัญญา เลไธสง

นายภัทรพงศ์ พงษ์เพียรไพโรจน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูปภาพ..... | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและมุดเหตุจูงใจ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย..... | 3 |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย..... | 3 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช..... | 5 |
| 2.2 กระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล..... | 7 |
| 2.2.1 การนำมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรงและการผสม..... | 7 |
| 2.2.2 การทำไมโครอิมัลชัน..... | 7 |
| 2.2.3 การแตกสลายด้วยความร้อน..... | 7 |
| 2.2.4 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน..... | 8 |
| 2.2.4.1 การทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 9 |
| 2.2.4.2 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 10 |
| 2.2.4.3 การทำปฏิกิริยาในภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล..... | 11 |
| 2.3 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 12 |
| 2.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 14 |
| 2.4.1 การเตรียมตัวเร่งกลุ่มออกไซด์..... | 14 |
| 2.4.2 การเตรียมออกไซด์ผสม..... | 14 |
| 2.4.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการวางองค์ประกอบกัมมันต์บนตัวรองรับ..... | 15 |
| 2.4.4 การเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาให้อยู่ในรูปที่ว่องไว..... | 18 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งการเข้าถึงเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ผู้ใช้บริการอื่นที่นอกเหนือจากนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|-----------|
| 2.4.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบอื่น..... | 18 |
| 2.5 ผลลัพธ์ที่ร่วมจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน..... | 18 |
| 2.6 สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่สำคัญของไบโอดีเซล..... | 19 |
| 2.6.1 ค่าความร้อน..... | 19 |
| 2.6.2 จุดวาบไฟ..... | 19 |
| 2.6.3 ค่าความหนืด..... | 19 |
| 2.6.4 ค่าความเป็นกรด..... | 20 |
| 2.6.5 เลขไอโอดีน..... | 20 |
| 2.7 ประโยชน์ของไบโอดีเซล..... | 20 |
| 2.8 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์..... | 22 |
| 2.9 ตัวทำลายร่วมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล..... | 23 |
| 2.9.1 เทตระไฮโดรฟูราน..... | 24 |
| 2.9.2 เมทิล เทอร์เชียร์บิวทิล อีเทอร์..... | 24 |
| 2.9.3 ปีโตรเลียมอีเทอร์..... | 25 |
| 2.9.4 เมทิล-เอทิลคีโตน..... | 25 |
| 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 26 |
| บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย..... | 28 |
| 3.1 สารเคมี..... | 28 |
| 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ..... | 29 |
| 3.3 วิธีการทดลอง..... | 30 |
| 3.3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและการวิเคราะห์คุณสมบัติ..... | 30 |
| 3.3.2 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์..... | 32 |
| 3.3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์..... | 37 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... | 38 |
| 4.1 การศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 38 |
| 4.1.1 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 38 |
| 4.1.2 โครงสร้างและสัณฐานวิทยา..... | 39 |
| 4.1.3 ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา | 41 |
| 4.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน..... | 42 |
| 4.2.1 ผลของชนิดตัวทำละลายร่วม..... | 42 |
| 4.2.2 ผลของอัตราส่วน โดยปริมาตรตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน..... | 44 |
| 4.2.3 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน | 46 |
| 4.2.4 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 48 |
| 4.2.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา..... | 49 |
| 4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีและทดสอบสมบัติของเมทิลเอสเทอร์..... | 52 |
| 4.3.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์..... | 52 |
| 4.3.2 ลักษณะทางเคมีของไบ โอดีเซล โดยใช้เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์..... | 55 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... | 57 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 57 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 58 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 59 |
| ภาคผนวก..... | 60 |
| ภาคผนวก ก | 60 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชต่างๆ..... | 6 |
| 2.2 การองค์ประกอบกรดไขมัน และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้ว..... | 6 |
| 2.3 สมบัติของไหลภาวะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับแก๊สและของเหลว..... | 11 |
| 2.4 แสดงประเภทปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน..... | 12 |
| 2.5 การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆในการเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และวิวิธพันธุ์..... | 14 |
| 2.6 แสดงคุณสมบัติมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล..... | 20 |
| 2.7 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษในไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซล..... | 23 |
| 2.8 แสดงการเปรียบเทียบผลการใช้ไบโอดีเซล 100% (B100) และน้ำมันดีเซลซึ่งผสมด้วยไบโอดีเซล 20% (B20)..... | 23 |
| 2.9 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวทำละลายร่วม..... | 25 |
| 3.1 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO..... | 34 |
| 3.2 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของเวลาในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO..... | 35 |
| 3.3 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วน โดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมันที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO..... | 35 |
| 3.4 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO..... | 36 |
| 4.1 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 38 |
| 4.2 ผลของชนิดตัวทำละลายร่วมที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ที่คำนวณได้จากสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกส์เรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์..... | 42 |
| 4.3 ผลของอัตราส่วน โดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วม Petroleum ether (PE) ต่อน้ำมัน ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO..... | 44 |
| 4.4 ผลของอัตราส่วน โดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO..... | 46 |
| 4.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่มี Petroleum ether (PE) เป็นตัวทำละลายร่วม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO..... | 49 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|----|
| 4.6 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่มี Methyl t-Butyl Ether (MTBE) เป็นตัวทำละลายร่วม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO..... | 50 |
| 4.7 แสดงหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันปาล์ม และเมทิลเอสเทอร์ที่เลขคลื่นต่างๆ..... | 54 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 โครงสร้างของไทรกสิเซอไรด์..... | 5 |
| 2.2 ปฏิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน..... | 7 |
| 2.3 ปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน..... | 8 |
| 2.4 กลไกการเกิดปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิริยากรด..... | 9 |
| 2.5 กลไกการเกิดปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิริยาเบส..... | 10 |
| 2.6 เฟสไดอะแกรมของของไหลเหนือภาวะวิกฤต..... | 12 |
| 2.7 ขั้นตอนในการเตรียมตัวเร่งปฏิริยาด้วยวิธีตกตะกอน..... | 15 |
| 2.8 (a) การเตรียมโดยวิธีการคูดซับ | |
| (b) ไอโซเทิร์มของการคูดซับของไอออนที่เป็นตัวเร่งปฏิริยา..... | 16 |
| 2.9 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิริยาด้วยวิธีเอิบซุ่ม..... | 17 |
| 3.1 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซน (X-ray Fluorescence, XRF)..... | 31 |
| 3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)..... | 31 |
| 3.3 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน สเปกโตรมิเตอร์..... | 31 |
| 3.4 แสดงการตั้งอุปกรณ์สำหรับสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์..... | 32 |
| 3.5 แสดงการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล..... | 33 |
| 3.6 แสดงเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการคูดน้ำด้วยแอนไฮดริสแมกนีเซียมซัลเฟต..... | 33 |
| 3.7 แสดงเครื่องฟูเรียทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)..... | 37 |
| 3.8 แสดงเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์(NMR)..... | 37 |
| 4.1 (ก) รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ MgO..... | 39 |
| 4.1 (ข) รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ NaOH/MgO..... | 40 |
| 4.1 (ค) รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ KOH/MgO..... | 40 |
| 4.2 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของ MgO, NaOH/ MgO, KOH/ MgO จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 5000 เท่า..... | 41 |
| 4.3 ผลของชนิดตัวทำละลายร่วมที่มีที่ผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์..... | 43 |
| 4.4 ผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วม Petroleum ether (PE) ต่อน้ำมัน | |

เอกสารนี้ที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.5 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์..... | 46 |
| 4.6 เปรียบเทียบร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO ที่สภาวะของปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยใช้ Petroleum Ether เป็นตัวทำละลายร่วม..... | 49 |
| 4.7 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ PE เป็นตัวทำละลายร่วม โดยมี KOH/MgO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 50 |
| 4.8 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ MTBE เป็นตัวทำ ละลายร่วม โดยมี KOH/MgO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 51 |
| 4.9 สเปกตรัมน้ำมันปาล์มจากเครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์..... | 52 |
| 4.10 สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ตัวทำละลายร่วมคือ ปีโตรเลียมอีเทอร์ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 120 นาที..... | 53 |
| 4.11 สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ตัวทำละลายร่วมคือ ปีโตรเลียมอีเทอร์ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 120 นาที..... | 53 |
| 4.12 สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มจากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์(NMR)..... | 55 |
| 4.13 สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ ใช้อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2 % โดยน้ำหนัก ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO ใช้ตัวทำละลายร่วม Petroleum ether (PE) ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ ของปฏิกิริยา 60-65 องศาเซลเซียส จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์..... | 56 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ปัจจุบันความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมีมากขึ้น และราคาน้ำมันเชื้อเพลิงได้ปรับตัวสูงขึ้น ในขณะที่น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากพืชมีราคาตกต่ำในช่วงที่มีผลผลิตเกินความต้องการของตลาดจึงมีผู้นำน้ำมันมะพร้าวดิบและน้ำมันปาล์มดิบมาผสมกับน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซลในสัดส่วน ต่าง ๆ กัน แล้วนำออกจำหน่ายเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงใช้กับรถยนต์และใช้ชื่อว่า “ไบโอดีเซล” [1]

ในประเทศจีนได้มีการวิจัยค้นคว้าเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ ไบโอดีเซล เป็นหนึ่งในสามของยุทธศาสตร์ในการคลี่คลายปัญหาขาดแคลนพลังงานเชื้อเพลิงของประเทศจีน ได้วิจัยค้นพบกรรมวิธีการผลิตใหม่ที่ทำให้ได้มาตรฐานครบ 10 ประการของน้ำมันดีเซลที่ใช้กับรถยนต์ อาทิเช่น ค่าการเผาไหม้ การต้านการน็อกของเครื่องยนต์ และปริมาณสารพิษที่ขับออกจากเครื่องยนต์ เป็นต้น นับเป็นกรรมวิธีการผลิตที่ก้าวหน้าที่สุดที่สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ที่ติดตั้งกับรถยนต์โดยตรง โดยที่ไม่ต้องนำไปผสมเจือปนกับน้ำมันฟอสซิลดีเซลอีกเลย ทั้งนี้ผลงานชิ้นนี้ได้รับการทดสอบจากคณะกรรมการวิทยากรมณฑลเจียงซี แล้ว ผ่านการรับรองและยืนยันว่าคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้นี้มีคุณภาพเหนือกว่า น้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียมเสียอีก [2]

โดยทั่วไปในการผลิตไบโอดีเซลจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ นิยมใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากให้ผลผลิตสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เนื่องจากมีความเป็นเบสสูง ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว สามารถรวมเข้ากับแอลกอฮอล์เป็นเนื้อเดียวกัน จึงเรียกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดดังกล่าว แม้จะให้ผลผลิตสูงแต่มีข้อเสียในกระบวนการผลิต คือ จำเป็นต้องมีกระบวนการล้าง (washing) เพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำ ซึ่งน้ำจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้กับปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) มีผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนไปรวมตัวกับกรดไขมันอิสระที่เหลือเกิดเป็นสบู่ (soap) ทำให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเหลือน้อยลงสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทำให้ผลผลิตของไบโอดีเซลนั้นได้น้อยกว่าที่คาดหวัง เพื่อที่จะแก้ปัญหาที่กล่าวไปข้างต้น จึงมีการศึกษานำตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalyst) ชนิดต่างๆ ทั้งที่เป็นกรดหรือเบสมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ส่วนใหญ่ นิยมใช้ตัวเร่งที่เป็น

ของแข็งในการเร่งปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นที่อยู่ในวัฏภาคแก๊สหรือของเหลว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากันที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ออกไซด์ของโลหะ ซีโอไลต์ โลหะทรานส์ซิชัน และเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ตัวเร่งชนิดนี้จะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับสารตั้งต้นเพื่อกำจัดปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการล้างออกไปเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์นี้ สามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายโดยการกรอง ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนในการผลิต และต้นทุนของการผลิตไบโอดีเซลได้อีกทางหนึ่ง [3]

แต่ปัญหาที่มักเกิดขึ้นคือ การเข้ากันได้ของน้ำมันและเมทานอลนั้นค่อนข้างต่ำ เนื่องจากความเป็นขั้วที่แตกต่างกันระหว่างน้ำมันและเมทานอล จึงส่งผลต่อการถ่ายเทมวลซึ่งเป็นขั้นที่กำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate controlling step) อย่างไรก็ตามการเพิ่มของอุณหภูมิก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะทำให้ไขมันและเมทานอลเข้ากันได้ แต่ก็ทำให้ต้นทุนด้านพลังงานสูงขึ้น Boocock และคณะ [4] ได้ศึกษาการเติมตัวทำละลายร่วม ได้แก่ เทตระไฮโดรฟูแรน (THF) เข้าไปในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อช่วยให้วัฏภาคไขมันและเมทานอลเข้ากันได้ และเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยา ต่อมา Guan และคณะ [5] ได้ใช้ไดเมทิลอีเทอร์ (DME) เป็นตัวทำละลายร่วมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันละหุ่ง น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์ม โดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งพบว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดได้เร็วกว่าการที่ไม่เติม DME ถึง 100 เท่า

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มกับตัวทำละลายร่วม ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ที่ปรับปรุงความบริสุทธิ์เป็นเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/ MgO) และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) ศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ ชนิดของไฮดรอกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์, ชนิดของตัวทำละลายร่วม ซึ่งได้แก่ เทตระไฮโดรฟูแรน เมทิลเอทิลคีโตน เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์ และปิโตรเลียมอีเทอร์, อัตราส่วนโดยน้ำหนักของตัวทำละลายร่วมน้ำมัน, เวลาในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์, อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.) เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO
- 2.) เพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/ MgO) และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) ร่วมกับตัวทำละลายร่วม
- 3.) เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลายร่วม อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน และเวลาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์
- 4.) เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของไบโอดีเซล ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO ร่วมกับตัวทำละลายร่วม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.) ศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่
 1. ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
 2. องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrophotometer, XRF)
 3. โครงสร้างและสัญญาณวิทยาด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrophotometer, XRD)
- 2.) ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน รวมถึงหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่
 1. ชนิดของไฮดรอกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์ ได้แก่ NaOH และ KOH
 2. ชนิดของตัวทำละลายร่วม ได้แก่ Tetrahydrofuran (THF), Petroleum ether (PE), Methyl ethyl ketone (MEK) และ Methyl t-butyl ether (MTBE)
 3. อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน ได้แก่ 1:1, 2:1 และ 3:1
 4. อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ได้แก่ 6:1, 8:1 และ 10:1
 5. เวลาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ 7.5, 15, 30, 60 และ 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) ศึกษาถึงลักษณะทางเคมีของไบโอดีเซล โดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) และเครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์ม นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer, NMR)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.) ทราบถึงชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ประเภทเกลือโลหะแอลคาไลด์บน แมกนีเซียมออกไซด์ และชนิดของตัวทำละลายร่วมที่มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ริฟิเคชัน เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด



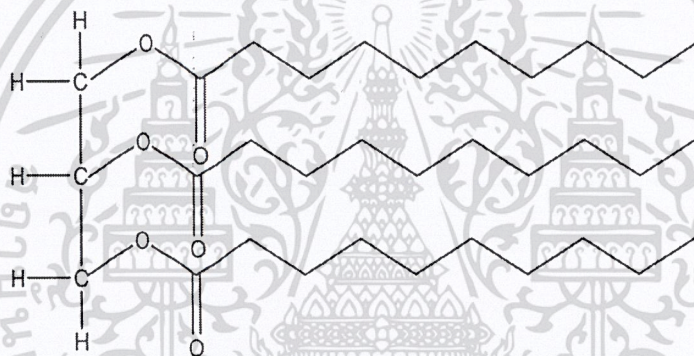
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช [6]

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



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

น้ำมันพืชเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์มีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 98 ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ ส่วนประกอบที่เหลือจะเป็นส่วนของไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ ซึ่งส่วนใหญ่มีคาร์บอนในกรดไขมันระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันพืชแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่สูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำและมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ลดลงหรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้นไปจะมีค่าไอโอดีนสูงขึ้นไปตามลำดับ น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวเมื่อสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์แล้วน้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวข้น โดยทั่วไปค่าเลขไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีบอกถึงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นๆซึ่งบอกถึงความ

ยากง่ายของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วย ถ้าน้ำมันมีค่าเลขไอโอดีนสูงจะเกิดปฏิกิริยา
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ไรเซชันง่าย ดังนั้นควรเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าเลขไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิง เพราะจะป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในเครื่องยนต์ในเบื้องต้น

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชต่างๆ [7]

| 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 |
| น้ำมันปาล์มโอดีน | >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 |
| น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ | 101 | ND | ND | 14.9 | 6 | 41.2 | 37.4 | ND |
| น้ำมันเมล็ดเรป | 94-120 | ND | ND-0.2 | 1.5-6.0 | 0.5-3.1 | 8.0-60.0 | 11.0-23.0 | 5.0-13.0 |
| น้ำมันถั่วเหลือง | 124-139 | ND-0.1 | ND-0.2 | 8.0-13.5 | 2.0-5.4 | 17.7-28.0 | 49.8-59.0 | 5.0-11.0 |

หมายเหตุ ND: ไม่พบ

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบกรดไขมัน และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้ว

| 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 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม สามารถเตรียมได้ 4 วิธี

2.2.1 การนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงและการผสม (Direct use and Blending)

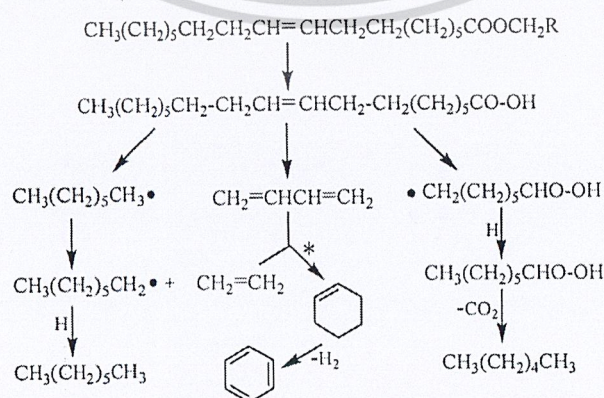
ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำมันพืชและน้ำมันปิโตรเลียม เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชโดยตรงโดยไม่ต้องเตรียมสารเคมีอื่นเพื่อการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าผสมมากเกินไปอาจเกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว เพราะน้ำมันพืชมีส่วนประกอบของไขมันอิสระนำไปสู่ปัญหาเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ซึ่งทำให้เกิดคราบยางเหนียวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาและปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจากการเผาไหม้จึงเกิดคราบสะสมที่เครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังทำให้เครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ในการนำน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันพืชที่อัตราส่วน 80 : 20 จะให้ผลเหมือนกรณีใช้น้ำมันดีเซลร้อยละ 100 อัตราส่วนดังกล่าวจึงเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด

2.2.2 การทำไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

การผสมน้ำมันพืชกับเมทานอลซึ่งของเหลวทั้งสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่กระจายอยู่ได้ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดมีประจุและไม่มีประจุ โดยเกิดในลักษณะการกระจายอนุภาคของเหลวในตัวกลางที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดอย่างสมดุลมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1-150 นาโนเมตร วิธีนี้สามารถลดปัญหาความหนืดได้ดีโดยใช้ตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล และ 1-บิวทานอล แต่จะเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้กระบวนการนี้ได้มีการปรับปรุงลักษณะการฉีดเป็นละอองฝอยของน้ำมันจากหัวฉีด

2.2.3 การแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking or Pyrolysis)

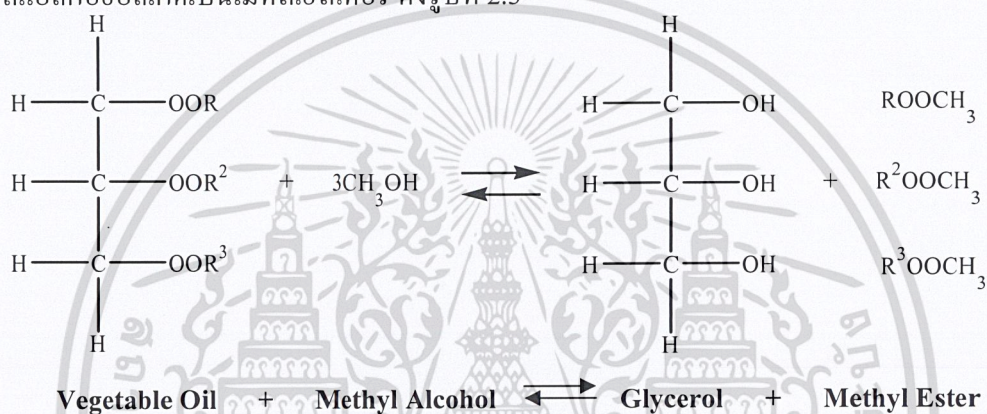
กระบวนการไพโรไลซิสเป็นการเปลี่ยนสารหนึ่งไปเป็นสารอื่น ๆ มากกว่าหนึ่งสารโดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวหรือมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วยโดยไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจนเป็นการนำน้ำมันพืชมาให้ความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งทำให้ความหนืดของน้ำมันพืชลดลง แต่เกิดปัญหาคือสามารถควบคุมการเกิดผลิตภัณฑ์ได้ยาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดสิ่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาระหว่าง ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด เบส หรือ ไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชจากโมเลกุล ไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันสายยาวสามสาย ซึ่งถูกเชื่อมด้วยพันธะเอสเทอร์เข้ากับ โมเลกุลของกลีเซอรอล 1 โมเลกุล โดยกรดไขมันนี้แตกต่างกันเนื่องมาจากความยาวของสายโซ่คาร์บอน ตำแหน่งของพันธะคู่ในสายโซ่น้ำมันพืชจะถูกเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีไปเป็น โมโนอัลคิล เอสเทอร์ของกรดไขมันสายยาว (ไบโอดีเซล) และได้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอางได้ ตัวอย่างปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันกับ เมทิลแอลกอฮอล์เกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ในทางปริมาณสารสัมพันธ์ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ต้องการ 3 โมลของแอลกอฮอล์ในการเกิดปฏิกิริยา แต่หากใช้อัตราส่วน โมลที่สูงกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์มากขึ้น จากปฏิกิริยานี้ จะเห็นว่าปฏิกิริยาสามารถย้อนกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์ซึ่งก็คือ เมทานอลในปริมาณมากเกินไป จะช่วยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าทางผลิตภัณฑ์ได้ดี ทำให้ได้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้นี้จะมีสมบัติใกล้เคียงกับไบโอดีเซล

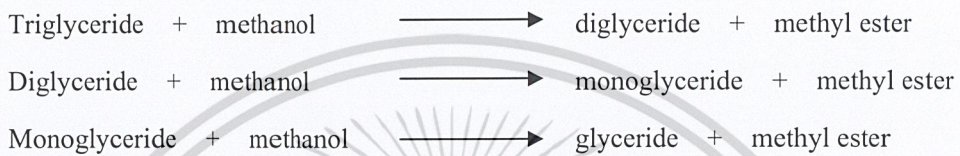
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่นิยมมาก เพราะวิธีไมโครอิมัลชันและวิธีการผสมน้ำมันด้วยตัวทำละลาย มักเกิดปัญหาในเรื่องประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และเกิดคราบคาร์บอน ส่วนวิธีไพโรไลซิสนั้นจะผลิตก๊าซโซลีนออกมาคือน้ำมันดีเซลชีวภาพ นอกจากนี้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันยังให้ผลิตภัณฑ์ร่วมที่มีประโยชน์ทางการค้า คือ กลีเซอรอล

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ แต่สามารถเร่งปฏิกิริยาให้ไปข้างหน้าทางผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณมากเกินไป โดยแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาส่วนมากมักใช้เมทานอลหรือเอทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา

เนื่องจากมีราคาถูก หาง่าย เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กจึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แต่ปฏิกิริยานี้ต้องไม่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะน้ำจะไปทำให้เกิดปฏิกิริยาสะaponification ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Saponification) ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเอสเทอร์ลดลงและการแยกเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลทำได้ยากมากขึ้น ดังนั้นการเตรียมด่างในปฏิกิริยาจะใช้วิธีละลายด่างในเมทานอลแทนน้ำ

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันมีลำดับ 3 ขั้นตอนเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ คือ ขั้นแรกจะเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นไดกลีเซอไรด์ ตามด้วยเปลี่ยนไดกลีเซอไรด์เป็นโมโนกลีเซอไรด์ และเปลี่ยนโมโนกลีเซอไรด์เป็นกลีเซอรอลและได้เอสเทอร์ 3 โมล ในขั้นนี้คุณสมบัติของเอสเทอร์จะคล้ายน้ำมันดีเซลแสดงขั้นตอน ได้ดังนี้

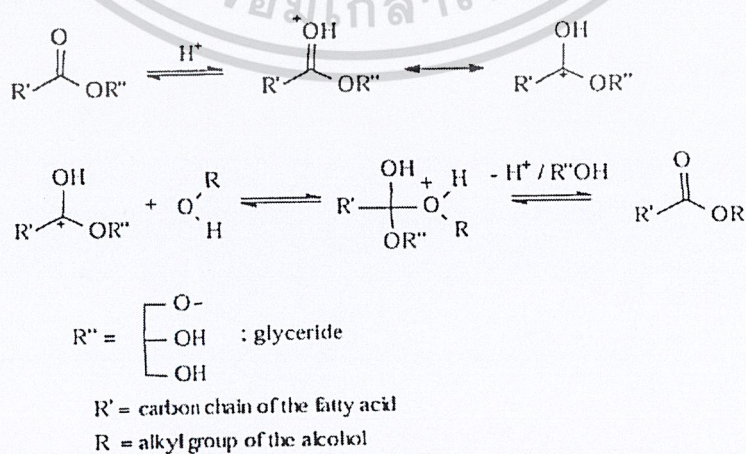


โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

2.2.4.1 การทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยกรดบรอนสเตด (Brownsted) เช่น กรดซัลโฟนิก กรดซัลฟิวริก เป็นต้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง แต่เกิดปฏิกิริยาช้ามาก โดยต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 3 ชั่วโมง เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ [8]

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้กรดบรอนสเตด (Brownsted) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเริ่มจากโปรตอนไปโปรโตเนตที่หมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ทำให้เกิดคาร์โบแคทไอออน หลังจากนั้นจึงเกิดการชนด้วยนิวคลีโอไฟล์ของแอลกอฮอล์ เกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล โดยสารมัธยันต์นี้จะปล่อยกลีเซอรอลออกมาทำให้เกิดเอสเทอร์ใหม่และตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่ดังแสดงในรูป

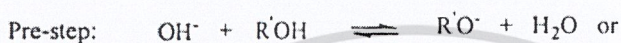


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด

2.2.4.2 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่อาจเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันร่วมด้วยทำให้ความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ที่ได้ลดลง

กลไกปฏิกิริยาเริ่มจากขั้นแรกแอลกอฮอล์ไอออนจะเข้าชนที่ตำแหน่งคาร์บอนิลของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งทำให้เกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล ขั้นที่สองเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารมัธยันต์กับแอลกอฮอล์ทำให้เกิดแอลกอฮอล์ไอออนและขั้นสุดท้ายเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของสารมัธยันต์เกิดเป็นเอสเทอร์และไดกลีเซอไรด์ ดังแสดงในรูป



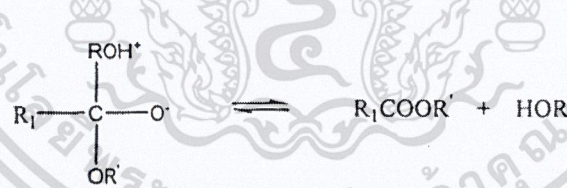
Step1.



Step2.



Step3.



Where R-OH diglyceride, R₁ long chain alkyl group and R' short alkyl group

รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส

ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสจะให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์สูง โดยใช้เวลาที่สั้นแต่ปฏิกิริยานี้มีข้อเสียคือ สิ้นเปลืองพลังงานในการเกิดปฏิกิริยามาก การนำกลีเซอรอลกลับมาใช้ใหม่ทำได้ยากต้องกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเบสออกจากผลิตภัณฑ์ น้ำเสียที่มีเบสต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยทิ้งกรดไขมันและน้ำจะรบกวนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 การทำปฏิกิริยาในภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล

จากตารางที่ 2.3 การทำปฏิกิริยาในภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอลเป็นวิธีที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะที่สภาวะนี้ต้องใช้อุณหภูมิสูง ทำให้พันธะไฮโดรเจนของเมทานอลอ่อนลงและสภาพขั้วของเมทานอลลดลง ทำให้เมทานอลกับน้ำมันพืชสามารถรวมเป็นเฟสเดียวกันได้

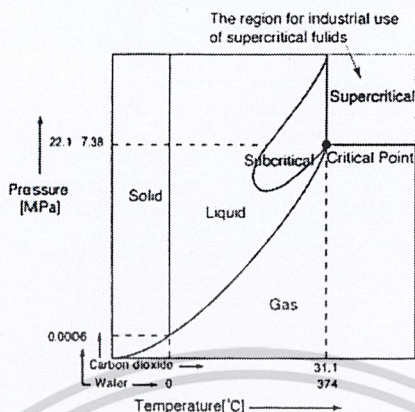
ตารางที่ 2.3 สมบัติของไหลภาวะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับแก๊สและของเหลว

| 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 P = 4P _c , T = T _c | 0.2 - 0.5 0.4 - 0.9 | 0.7 x 10 ⁻³ 0.2 x 10 ⁻³ | (1 - 3) x 10 ⁻⁴ (3 - 9) x 10 ⁻⁴ |

ของไหลเหนือภาวะวิกฤต (Supercritical fluids, SCF)

ของไหลเหนือภาวะวิกฤต หมายถึง สารใดๆ ในสภาวะซึ่งจำแนกไม่ได้ว่าเป็นแก๊สหรือเป็นของเหลว เมื่อพิจารณาถึงแก๊สที่สามารถเปลี่ยนเป็นของเหลวได้มีอยู่ 2 วิธี โดยการลดอุณหภูมิหรือการเพิ่มความดัน เพื่อลดพลังงานจลน์ทำให้ระยะระหว่างโมเลกุลลดลงเกิดแรงดึงดูดระหว่างกันควบแน่นเป็นของเหลว แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดๆหนึ่ง โมเลกุลของแก๊สจะมีพลังงานจลน์มากถึงแม้จะให้ความดันเท่าไรก็ไม่สามารถทำให้แก๊สเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวได้ อุณหภูมิสูงสุดที่แก๊สยังสามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้เรียกว่า อุณหภูมิวิกฤต ความดันที่จุดๆ นี้ เรียกว่า ความดันวิกฤต เพราะฉะนั้นจุดวิกฤตคือ จุดที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิวิกฤตและมีความดันเท่ากับความดันวิกฤต

ที่อุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิวิกฤต และความดันมากกว่าความดันวิกฤต เรียกว่า สภาวะเหนือวิกฤต โดยสารที่อยู่ในสภาวะนี้จะจำแนกไม่ได้ว่าเป็นแก๊สหรือเป็นของเหลว



รูปที่ 2.6 เฟสไดอะแกรมของของไหลเหนือภาวะวิกฤต

ของไหลเหนือภาวะวิกฤตมีคุณสมบัติอยู่ระหว่างแก๊สกับของเหลว จากตารางที่ 2.3 พบว่าความหนาแน่นของของไหลเหนือภาวะวิกฤตมีค่าใกล้เคียงกับของเหลว เมื่อนำมาใช้เป็นตัวทำละลาย โมเลกุลของสารที่ต้องการละลายจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของของไหลภาวะเหนือวิกฤต เกิดอันตรกิริยากันเกิดการละลายได้ดี ขณะเดียวกันของไหลเหนือภาวะวิกฤตมีความหนืดและการแพร่กระจายใกล้เคียงกับแก๊ส ทำให้สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างภายในของตัวถูกละลายได้ดีและด้วยสมบัติเหล่านี้จึงนำของไหลเหนือภาวะวิกฤตมาใช้เป็นตัวทำละลาย

ตารางที่ 2.4 แสดงประเภทปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

| ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน | | |
|--|---|--|
| ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีตัวเร่งปฏิกิริยา | | ภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล |
| กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา | เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา | ไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา |
| - ทำปฏิกิริยา 1 - 45 ชั่วโมง | - ทำปฏิกิริยา 1 - 8 ชั่วโมง - เกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชัน | - ทำปฏิกิริยา 2 - 4 ชั่วโมง - ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง |

2.3 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา [9]

การเร่งปฏิกิริยาสามารถแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

- 1.) การเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalysis) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในเฟสเดียวกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่มักเป็นสารละลายที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นละลายอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) การเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalysis) ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีเฟสต่างกับสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นของแข็งและสารตั้งต้นเป็นแก๊สหรือของเหลวชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งตามสถานะเทียบกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มี 2 ประเภทคือ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ (Homogeneous catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะเดียวกับสารที่ทำปฏิกิริยา ไม่ว่าจะเป็นแก๊สหรือของเหลว ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตที่เร่งด้วยเอนไซม์และปฏิกิริยาในสารละลาย ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับเร่งปฏิกิริยาชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการศึกษา แต่ก็มีข้อเสียคือมักสลายตัวหรือเสียสภาพในสถานะที่ใช้ความร้อนหรือความดันสูง
2. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแตกต่างกับสารที่ทำปฏิกิริยา เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สหรือของเหลว การใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธุ์พบได้ในอุตสาหกรรมหลายๆ อย่าง เช่น ปูน ผลิตภัณฑ์ยา เชื้อเพลิง เส้นใยสังเคราะห์ ตัวทำละลาย เนื่องจากสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือได้ง่ายกว่าระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์

ตารางที่ 2.5 เป็นการเปรียบเทียบสมบัติและปัจจัยต่างๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์และวิวิธพันธุ์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์อยู่ในวัฏภาคเดียวกับสารตั้งต้น จึงมีข้อดีคือประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาสูงและสามารถเลือกให้เร่งปฏิกิริยาที่ต้องการได้ง่ายกว่า อีกทั้งสถานะการทดลองที่ใช้ไม่รุนแรงสามารถศึกษากลไกของปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโกปีต่างๆ และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการแพร่ของสารตั้งต้นไปหาตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากอยู่ในวัฏภาคเดียวกัน แต่มีข้อเสียคือ การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ทำได้ยาก วิธีการที่ใช้ส่วนใหญ่คือการกลั่นหรือการสกัดด้วยตัวทำละลายและการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ทำได้ยากกว่าและอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์นั้นสั้นกว่า

ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ คือ สามารถแยกสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่าย สามารถใช้ได้ ในสถานะที่มีอุณหภูมิ และ/หรือ ความดันสูงได้ ตัวเร่งปฏิกิริยามีอายุการใช้งานที่ยาวนานและอาจนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆในการเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และวิวิธพันธุ์

| ปัจจัยหรือตัวแปรที่สนใจ | การเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ | การเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ |
|---|-----------------------------|--------------------------------|
| กัมมันตภาพเมื่อเทียบปริมาณโลหะที่เท่ากัน | สูง | แปรค่าได้ |
| สัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยา | สูง | แปรค่าได้ |
| สถานะของปฏิกิริยา | ไม่รุนแรง | รุนแรง |
| อายุการใช้งานของตัวเร่ง | แปรค่าได้ | นาน |
| ความไวของตัวเร่งต่อการเกิดพอยซัน | ต่ำ | สูง |
| ปัญหาจากการแพร่ | ไม่มี | อาจมีผล |
| การนำตัวเร่งกลับมาใช้งาน | แพง | ทำได้ |
| การปรับสมบัติเชิงโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการเปลี่ยนอะตอมที่เป็นองค์ประกอบ | อาจทำได้ | ทำไม่ได้ |

2.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา [9]

สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นกับกรรมวิธีที่ใช้ในการเตรียมสาร การเตรียมแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ พื้นที่ผิว เสถียรภาพ และความทนทาน การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

กลุ่มแรก คือ การเตรียมตัวเร่งกลุ่มออกไซด์ (Active oxide component)

กลุ่มที่ 2 คือ การนำองค์ประกอบที่ไวต่อปฏิกิริยาวางบนตัวรองรับ (Deposition-produced activity component)

กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มที่มีการเตรียมพิเศษเฉพาะตัวอย่าง

2.4.1 การเตรียมตัวเร่งกลุ่มออกไซด์

ตัวเร่งกลุ่มออกไซด์ในที่นี้มีความหมายรวมทั้งองค์ประกอบกัมมันต์และตัวรองรับซึ่งจะถูกเตรียมให้มีพื้นที่ผิวและความพรุนสูง เช่น ไฮดรอกไซด์ซึ่งอาจเป็นทั้งองค์ประกอบกัมมันต์และตัวรองรับ

2.4.2 การเตรียมออกไซด์ผสม

ออกไซด์ผสม (Dual Oxides) คือ การรวมตัวของออกไซด์สองชนิดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของ

การเร่งปฏิกิริยา วิธีที่ดีที่สุด คือ การตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) และการเตรียมเจลสองชนิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ได้การกระจายตัวที่และมีอันตรกิริยาต่อกันสูง ตัวอย่างเช่น $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{NiO-Al}_2\text{O}_3$ และ ซีโอไลต์

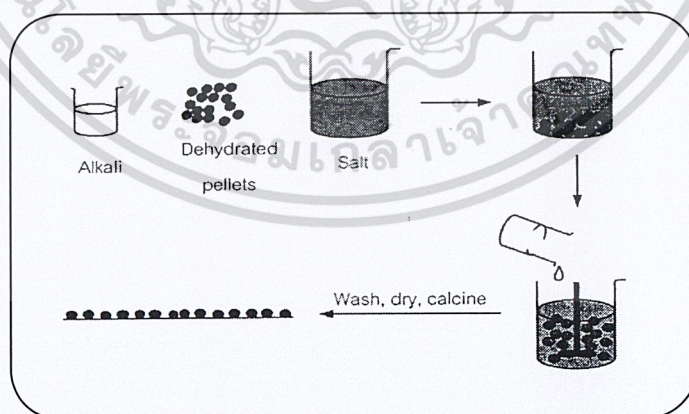
2.4.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการวางองค์ประกอบกันมันต์บนตัวรองรับ

การทำให้ออกไซด์กระจายตัวบนตัวรองรับเป็นวิธีการที่นิยมมาก สามารถทำได้ 4 วิธี คือ การตกตะกอน การดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออน และการทำให้เปียกชุ่ม (Impregnation) แต่ละเทคนิคมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งต้องพิจารณาจากการใช้ ตัวรองรับที่ใช้อาจเป็นผงหรือเป็นก้อนเล็ก ๆ ในการเติมองค์ประกอบกันมันต์ลงไปในตัวรองรับอาจมีข้อจำกัดเรื่องการแพร่เข้าไปในรูพรุน

1.) การตกตะกอน คือ การทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างพองอนุภาคของตัวรองรับ กับเกลือของสารละลายซึ่งอาจจะเป็นออกซาเลต ไนเตรต ซัลเฟต หรือคลอไรด์ ในตัวกลางที่เป็นเบส เช่น NaOH , KOH , NH_4OH , Na_2CO_3 , NaHCO_3 ทำให้ได้ไฮดรอกไซด์หรือคาร์บอเนตของโลหะที่ไม่ละลายน้ำ สารเหล่านี้สามารถเปลี่ยนเป็นออกไซด์โดยการให้ความร้อน

การตกตะกอนเหมาะกับการเตรียมเพื่อให้มีปริมาณโลหะ (Loading) ขององค์ประกอบกันมันต์ประมาณ 10-20% ถ้าต้องการปริมาณที่ต่ำกว่านี้ควรพิจารณาใช้วิธีอื่น

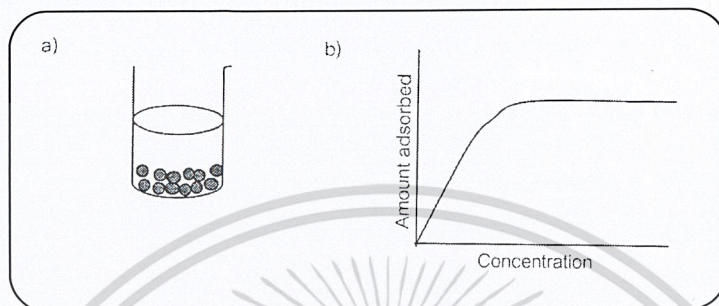
การเตรียมทำได้โดยการคละเคล้ากันของผงตัวรองรับกับสารละลายเกลือตามปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการก่อนทำปฏิกิริยา แต่ในบางกรณีตัวรองรับอาจจะต้องดูดไล่อากาศในตัวรองรับเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีอากาศในรูพรุน หลังจากนั้นจึงเติมสารละลายเบสเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้นต่อมาคือการกรองหรือการแยก แล้วล้างกำจัดสารต่างๆ ได้แก่ สารละลายเบส ซึ่งเป็นไอออนของสารตั้งต้น และสารที่จับอยู่บนผิวหน้าที่มากเกินไปออก



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) การดูดซับ คือ การนำเอาวัสดุที่เป็นตัวรองรับมาแช่ในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการดูดซับ และการดูดซับจะให้ไอโซเทิร์ม ดังรูป 2.8 (b) การดูดซับเป็นวิธีการที่เหมาะสมเมื่อต้องการปริมาณองค์ประกอบกัมมันต์ต่ำ ผงหรืออนุภาคจะถูกนำมากำจัดน้ำและทำให้ชุ่มในสารละลายที่เหมาะสมในเวลาที่เหมาะสม การจับแบบนี้จะสม่ำเสมอและองค์ประกอบกัมมันต์ จะเข้าไปจับในรูพรุนอย่างทั่วถึงระหว่างการทำให้ชุ่ม



รูปที่ 2.8 (a) การเตรียม โดยวิธีการดูดซับ

(b) ไอโซเทิร์มของการดูดซับของไอออนที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การดูดซับจากสารละลายอาจเป็นทั้งการดูดซับ ไอออนบวกหรือไอออนลบ ขึ้นกับสมบัติของผิวหน้า ตัวอย่างเช่น ซีโอไลต์เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่ดี แต่ซิลิกาเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ไม่ดี ส่วนอะลูมินาเป็นตัวดูดซับที่ไม่ดีทั้งสำหรับไอออนบวกและไอออนลบ แมกนีเซียมเป็นตัวดูดซับ ไอออนลบที่ดี และการับอนมักจะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีการถ่ายโอนประจุ (Charge transfer Complex) กับการให้อิเล็กตรอน แต่ก็ดูดซับไอออนบวกได้บ้างเช่นกัน ถ้าไม่นับซีโอไลต์ซึ่งมีกลไกการดูดซับที่ต่างออกไปแล้ว ลักษณะการดูดซับเชิงไอออนิกของหมู่ที่มีความสำคัญในเชิงการเร่งปฏิกิริยา

3.) การแลกเปลี่ยนไอออน

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนจะเหมือนกับการดูดซับไอออนิกต่างกันเพียงแต่มีการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นนอกเหนือจากโปรตอน ไอออนที่มีประจุต่ำ เช่น Na^+ จะแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีประจุสูงกว่า เช่น Ni^{2+} และมีสมมูลเกิดขึ้นดังนี้ (S คือหมู่ฟังก์ชัน ใดๆ)

$$S\text{Na}^+ + \text{Ni}^{2+} \rightleftharpoons S\text{Ni}^{2+} + \text{Na}^+$$

การแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นได้ดี เมื่อไอออนตัวใหม่ที่เข้ามาแทนที่สามารถจับกับตัวรองรับได้แข็งแรงกว่าไอออนเดิม ส่วนใหญ่เมื่อพูดถึงการแลกเปลี่ยนไอออน เรามักจะนึกถึงการแช่ตัวรองรับลงในสารละลายของเกลือของโลหะที่ต้องการแลกเปลี่ยน แล้วรอจนได้ปริมาณการแลกเปลี่ยนที่ต้องการ ข้อดีของการแลกเปลี่ยนไอออนคือจะได้การกระจายตัวของไอออนโลหะ

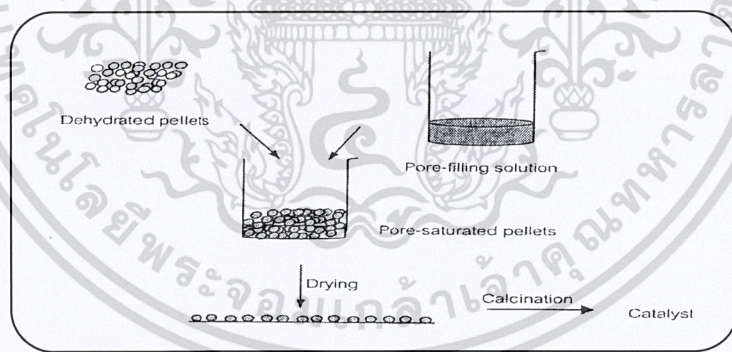
ที่เป็นเนื้อเดียว แต่การแลกเปลี่ยนมีข้อจำกัดเนื่องจากต้องการใช้เวลานาน และเมื่อการแลกเปลี่ยนอิ่มตัวแล้วจะไม่สามารถเพิ่มปริมาณไอออนได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) การทำให้เปียกชุ่ม (Impregnation)

เทคนิคการทำให้เปียกชุ่ม เป็นเทคนิคที่ง่ายและสะดวกที่สุดเพราะเป็นการจับตัวรองรับ โดยตรงจุดประสงค์คือต้องการเติมรูพรุนด้วยสารละลายของเกลือโลหะที่มีความเข้มข้นเพียงพอ สำหรับค่าปริมาณ โลหะที่ต้องการ สารละลายที่ใช้ต้องมีปริมาณที่จะเติมรูพรุนได้พอดี เรียกว่า ค่า Incipient wetness ขั้นตอนการเตรียมคร่าวๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 เริ่มจากการให้ความร้อนแก่ตัวรองรับหรือนำไปสู่อากาศออกด้วยสุญญากาศเพื่อกำจัดความชื้นในรูพรุน และทำให้การแพร่ของ สารละลายเข้าไปในรูพรุนเกิดขึ้นได้ดีขึ้น จากนั้นหยดสารละลายในปริมาณที่พอดีที่จะเติมรูพรุน และทำให้ผิวหน้าภายนอกของตัวรองรับเปียกพอดี ลงไปบนตัวรองรับ ซึ่งปริมาณดังกล่าวสามารถ คำนวณ ได้ก่อนการเตรียมจากปริมาตรของรูพรุนหรือทำการทดสอบก่อน โดยใช้ตัวทำละลายหยด ลงบนตัวรองรับที่ทราบปริมาณแน่นอนและทำการวัดปริมาตรที่ทำให้ตัวรองรับเปียกพอดี แล้วจึง นำปริมาตรตัวทำละลายที่ได้มาใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสารละลายเพื่อให้ได้ปริมาณ โลหะตามที่ต้องการ

การทำให้แห้งจะทำให้เกิดการตกผลึกของเกลือบนผิวหน้าของรูพรุน ขั้นตอนนี้อาจไม่ระวัง อาจจะทำให้เกิดการกระจายตัวของสารในรูพรุน ไม่สม่ำเสมอ ถ้าการทำให้แห้งช้าเกินไปจะทำให้ สารละลายเคลื่อนลงไปอยู่ด้านล่างของรูพรุนเกิดการตกตะกอน ทำให้ผลึกที่ได้อยู่แต่ตอนล่าง ของรูพรุน ในทางตรงกันข้ามถ้าแห้งเร็วเกินไปสารละลายจะติดอยู่เฉพาะตอนบนของรูพรุนทำให้ ผลึกเกิดเฉพาะช่วงบนของรูพรุน การทำให้แห้งในอัตราเร็วที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลึกที่เท่าๆ กัน



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีเปียกชุ่ม

การแคลไซน์เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะถ้าตัวเร่งปฏิกิริยาเจอกับความชื้นในอากาศ ผลึก ในรูพรุนอาจจะละลายในน้ำที่เกิดควบแน่นได้ การแคลไซน์เป็นการเปลี่ยนเกลือ โลหะให้อยู่ในรูป ของโลหะหรือออกไซด์ และจะหยุดการกระจายของสารละลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์เชอรอลเนื่องจากผสมน้ำแล้วมีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมาก ผลิตภัณฑ์ร้อยละ 66.7 ที่มีน้ำ 33.3 โดยน้ำหนักจะมีจุดเยือกแข็งอยู่ที่ -46.5 องศาเซลเซียส

2.) คุณสมบัติทางเคมี

ผลิตภัณฑ์เชอรอลเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนแอลกอฮอล์ทั่วไป โดยที่คาร์บอนอะตอมนอกจากมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอะตอมกลาง ภายใต้สภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง ผลิตภัณฑ์เชอรอลที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดอะโครลีน (Acrolein) ในทางกลับกัน ในสภาวะกรดจะเกิดอะโครลีนที่ 160 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์เชอรอลจะดีไฮเดรตเกิดเป็นอีเทอร์ลิงค์โพลีกลีเซอรอล (Ether-linked polyglycerol) ที่อุณหภูมิห้องผลิตภัณฑ์เชอรอลจะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วและถูกออกซิไดส์ได้ง่าย โดยที่คาร์บอนอะตอมถูกออกซิไดส์เป็นอัลดีไฮด์ ส่วนคาร์บอนอะตอมกลางเกิดเป็นคาร์บอนิล

2.6 สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่สำคัญของไบโอดีเซล [10]

2.6.1 ค่าความร้อน (Heating value)

ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิง คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิงเนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของพลังงานต่อปริมาณของมวลสารนิยมนัด โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกสารไฮโดรคาร์บอน เมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจน ผลของการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอยู่ในสถานะของไอน้ำ) ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนแฝงสูงสุด แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัวค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ

2.6.2 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟแสดงถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ไอของเชื้อเพลิงมีปริมาณมากพอที่ทำให้เกิดการติดไฟ คุณสมบัตินี้ไม่มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ แต่จะบอกถึงความสามารถในการติดไฟของเชื้อเพลิง ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยในการขนส่งและการเก็บรักษาเชื้อเพลิง

2.6.3 ค่าความหนืด (Viscosity)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรดจะแสดงถึงปริมาณของกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซล ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของน้ำมัน เนื่องจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันนอกจากจะเกิดจากการออกซิไดซ์พันธะคู่ของกรดไขมันแล้ว ยังอาจเกิดจากการสลายพันธะเอสเทอร์ให้กรดไขมันอิสระออกมา ปริมาณกรดไขมันอิสระรวมทั้งความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพและความเก่าใหม่ของน้ำมัน

2.6.5 เลขไอโอดีน (Iodine value)

เลขไอโอดีนจะแสดงถึงความไม่อิ่มตัวหรือปริมาณพันธะคู่ในไบโอดีเซล แสดงได้ด้วยจำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดไว้ด้วยน้ำมัน 100 กรัม เลขไอโอดีนเป็นค่าคงที่และเฉพาะตัวสำหรับน้ำมันแต่ละชนิด น้ำมันที่มีพันธะคู่มากจะมีเลขไอโอดีนสูง ซึ่งพันธะคู่นี้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันได้ เลขไอโอดีนจึงเป็นค่าที่แสดงถึงอายุการใช้งานของน้ำมัน

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล [10]

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

2.7 ประโยชน์ของไบโอดีเซล

1.) ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel Board) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม (US Environmental) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการวิจัยและทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่างๆกับเครื่องยนต์ดีเซล ได้รายงานว่ไบโอดีเซลสูตรที่มีไบโอดีเซล 100% (B100) และสูตรที่มีไบโอดีเซล 20% ผสมกับดีเซล 80% (B20) สามารถลดมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้วางไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลดปล่อยจากการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนกรรมอุทธารเรือ กองทัพเรือ ได้รายงานผลการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 145 แรงม้า ว่าสามารถลดควันทาได้มากกว่าร้อยละ 40

- การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากผลิตจากพืช
- การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ไปประกอบอาหารซ้ำและยังช่วยป้องกันมิให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (ซึ่งประกอบด้วยสารไดออกซินที่เป็นสารก่อมะเร็ง) ผลิตเป็นอาหารสัตว์

2.) ประโยชน์ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

- การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1 - 2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับ น้ำมันดีเซล จากผลการทดลองของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) พบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าวในอัตราร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า
- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ปริมาณ ร้อยละ 10 เท่า ทำให้การผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศมีการกระจายตัวกัน สม่าเสมอและเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น
- แม้ค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อด้อยนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลไม่ทำให้กำลังเครื่องยนต์ลดลง

3.) ประโยชน์ด้านเศรษฐกิจ

- การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทด้วยการสร้างพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค
- การใช้ไบโอดีเซลสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 300,000 ล้านบาท

4.) ประโยชน์ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศ

- ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้ น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก ตลาดน้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซินกว่า 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้อยู่ภายในประเทศ ดังนั้นไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของโรงกลั่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผสมไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 1-2 สามารถเพิ่มความหล่อลื่นในน้ำมันดีเซลได้ โดยเฉพาะกรณีที่จะมีการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

5.) ประโยชน์ด้านความมั่นคง

- การใช้ไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศถือเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ

2.8 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์ [10]

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลนั้นมีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือได้ว่าไม่มีผลทางด้านลบหรือในกรณีของเครื่องยนต์เก่าอาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนซีลยางบางส่วนเท่านั้น โดยทั่วไปการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศนั้นนิยมนำไปผสมสูตรต่างๆ เช่น

- B2 (ไบโอดีเซล 2% : ดีเซล 98%) มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมินิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกาและบังคับใช้ทั้งมลรัฐในปี พ.ศ.2548
- B5 (ไบโอดีเซล 5% : ดีเซล 95%) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส โดยกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายเป็นน้ำมันสูตร B5
- B20 (ไบโอดีเซล 20% : ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติและสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ (Alternative Motor Fuels Act : AMFA 1988) ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะรถของบริษัทและรถของหน่วยราชการกว่า 147 แห่ง รวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษ เช่น รถรับส่งนักเรียน รถประจำทาง เรือหรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในเหมืองแร่ ทั้งนี้ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตระบบหัวฉีดน้ำมันและเครื่องยนต์
- B40 (ไบโอดีเซล 40% : ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อผลในการลดมลพิษ
- B100 (ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ในประเทศเยอรมนีและออสเตรีย โดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของประเทศ

จากตารางที่ 2.7 และ 2.8 พบว่าแม้เครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจะปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ออกมาในปริมาณใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่ปริมาณของไฮโดรคาร์บอน แก๊ส

ไนโตรเจนออกไซด์ ผุ่นละอองและสารก่อมะเร็งอื่นจะมีปริมาณน้อยกว่า จึงส่งผลดีในแง่สิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน ทั้งนี้หากมีการผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลจะส่งผลให้

แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ฟูละอองและสารก่อมะเร็งลงในสัดส่วนที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลบริสุทธิ์

ตารางที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษในไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ในไบโอดีเซล

| | |
|-----------------------|-----------------------------|
| แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ | เทียบเท่าน้ำมันดีเซล |
| ไฮโดรคาร์บอน | ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 40 |
| แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ | ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 15 |
| ฟูละออง | 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. ฟูละออง | ลดลง 55.4% | ลดลง 18.0% |

2.9 ตัวทำละลายร่วมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล (Co-solvent for biodiesel production)

ปัญหาหลักที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยา Transesterification ลดลง เกิดจากการที่สารผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เพราะน้ำมันและแอลกอฮอล์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ เนื่องจากโครงสร้างทางเคมี น้ำมันกระจายตัวในเมทานอลได้ปานกลาง ดังนั้นจึงมีโอกาที่จะเกิดการรวมกันเป็นกลีเซอไรด์ จะทำให้ความเข้มข้นของโมเลกุล methoxide ลดลง และทำให้ใช้เวลานานในการเกิดปฏิกิริยา มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง เปลืองแรงงานคน

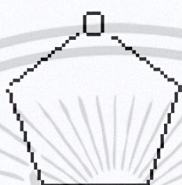
เป็นเรื่องค่อนข้างยากที่จะผสมสารที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ในการทำปฏิกิริยา การเกิดปฏิกิริยาในเฟสเดียวกันจึงมีข้อเสนอของ Boocoak et al. [4] โดยเสนอเกี่ยวกับแบบจำลองทางโครงสร้างของอะตอมของตัวทำละลาย ว่าอาจจะรวมสารผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ในเฟสเดียว และอาจมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วขึ้น เพราะว่าจะไม่มีการแยกชั้นของสารที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันเป็น 2 เฟส ในการเกิดปฏิกิริยา

ตัวทำละลายร่วมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ เททระไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran, THF) เมทิล เทอร์เชียร์บิวทิล อีเทอร์ (Methyl t-Ethyl Ether) เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl Ethyl Ketone) และปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether)

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

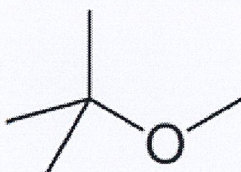
2.9.1 เทตระไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran, THF)

เทตระไฮโดรฟูราน (THF) เป็นสารไม่มีสี สามารถผสมกันได้กับสารละลายอินทรีย์ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย มีความหนืดต่ำ ที่อุณหภูมิและความดันปกติ เป็นสารประกอบ Heterocyclic มีสูตรโครงสร้างคือ $(\text{CH}_2)_4\text{O}$ จะเป็นอีเทอร์ที่มีคุณสมบัติความเป็นขั้วมากที่สุดเมื่อเป็นของเหลว นิยมใช้เป็นตัวทำละลาย เป็นสารหลักที่ใช้กันก่อนที่จะใช้ Polymer THF มีกลิ่นคล้าย Diethyl ether แต่มีกลิ่นอ่อนกว่า



2.9.2 เมทิล เทอร์เชียรีบิวทิล อีเทอร์ (Methyl tert-butyl ether, MTBE)

Methyl tert-butyl ether หรือ Methyl tertiary-butyl ether, MTBE เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุลคือ $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$ MTBE สามารถระเหยได้ง่าย ไวไฟ และเป็นของเหลวที่ไม่มีสี ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ มีกลิ่นคล้ายกับ Diethyl ether กลิ่นจึงไม่ชัดเจนเหมือนกับกลิ่นไบสระแทนในน้ำ MTBE เป็นสารเติมแต่งในน้ำมัน Gasoline ใช้เพิ่มออกซิเจนและเพื่อเพิ่มค่าออกเทน มีแนวโน้มการใช้ลดลงในสหรัฐอเมริกาเนื่องจากมีการโต้เถียงเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ โดยจะทำให้เกิดมลภาวะอย่างมากในน้ำ เมื่อ Gasoline ที่เติม MTBE หกหรือรั่วออกจากปั้มน้ำมัน MTBE ใช้ในทางเคมีอินทรีย์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ค่อนข้างราคาแพง เมื่อเทียบกับ Diethyl ether แต่มีจุดเดือดสูงกว่า และมีความสามารถในการละลายในน้ำต่ำกว่า และในทางการแพทย์จะใช้ละลายนิ่วในถุงน้ำดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 Petroleum Ether

ปิโตรเลียมอีเทอร์ เป็นสารประกอบไฮโดคาร์บอน ลักษณะเป็นของเหลว ได้มาจากการกลั่นน้ำมันในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม โดยจะอยู่ระหว่างชั้นของเนฟทาเบา และ Heavier Kerosene เป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.6 – 0.8 จากการกลั่นลำดับส่วนโดยปกติจะได้ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่ช่วงอุณหภูมิ 30 – 40 °C, 40 – 60 °C, 60 – 80 °C, 80 – 100 °C, 80 – 120 °C และบางครั้งจะพบที่ 100 – 1200 °C ส่วนที่ได้จากการกลั่นที่อุณหภูมิ 60 – 80 °C จะนิยมใช้แทน Hexane ปิโตรเลียมอีเธอร์ยังนิยมใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมในด้านเภสัชกรรม สามารถใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์แทน Pentane ได้ เนื่องจากมีราคาถูกกว่า

2.9.4 เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone, MEK)

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



ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวทำละลายร่วม

| Co-solvent | Molecular formula | Molecular weight (g/mol) | Density (g/cm ³) | Boiling point (°C) | Viscosity (cP) |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------|----------------|
| THF | C ₄ H ₈ O | 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 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ratree,P. และคณะ[11] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 6:1 มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ตัวทำละลายร่วม คือ เตตระไฮโดรฟูแรน และ เฮกเซน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาในอัตราส่วน 1.25 เท่าของปริมาตรเมทานอลใช้เวลาทำปฏิกิริยา 20, 40 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการกวนของใบพัดเป็น 200, 400 และ 600 รอบ/นาที ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สำหรับทุกเงื่อนไขการทดลองจะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงใกล้เคียงกันและเพิ่มขึ้นตามเวลา ความเร็วในการกวนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้มีการเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transfer) ของไตรกลีเซอไรด์จากวัฏภาคของน้ำมัน ไปสู่วัฏภาคระหว่างเมทานอลกับน้ำมันดีขึ้น สำหรับการใส่ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยา สารเตตระไฮโดรฟูแรนให้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์สูงกว่าเฮกเซน พบว่าตัวทำละลายร่วมมีส่วนช่วยให้วัฏภาคของน้ำมันและวัฏภาคของแอลกอฮอล์รวมกันเป็นวัฏภาคเดียว และปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ดีขึ้น

Guoqing,G และคณะ [12] ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซล จากน้ำมันดอกทานตะวัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH ที่อุณหภูมิ 25°C ในสถานะที่ใช้ตัวทำละลายร่วมที่แตกต่างกัน จากการทดลองพบว่า ตัวทำละลายร่วม จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพิ่มมากขึ้น เมื่อโมล ของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น คือ 1 : 6 ที่อุณหภูมิ 25°C และน้ำมันดอกทานตะวันเกือบทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็น BDF หลังจากเกิดปฏิกิริยาไปประมาณ 20 นาที ในขณะที่ % conversion ประมาณ 78% และพบว่า การที่น้ำมันถูกเปลี่ยนไปเป็นไบโอดีเซลมีผลมาจาก สัดส่วน โมลของตัวทำละลายร่วมต่อเมทานอล, โมลเมทานอลต่อน้ำมัน และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

ชาติรี เกรียงยะกุล. [13] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากใบปาล์มสเตียรีนและเมทานอล ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อใบปาล์มสเตียรีน 6:1 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้ตัวทำละลายร่วมต่างๆ เช่น เตตระไฮโดรฟูแรน, MTBE และ ไดเอทิลอีเทอร์ เพื่อลดเวลาการทำปฏิกิริยา และค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซล พบว่าสถานะที่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดคือ ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบกวน 250 รอบต่อนาที, เวลาการทำปฏิกิริยา 10 นาที และใช้เตตระไฮโดรฟูแรนที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเตตระไฮโดรฟูแรนต่อเมทานอลเป็น 0.2 เป็นตัวทำละลายร่วม โดยให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 97.6 สำหรับการทดลองที่สถานะเดียวกันแต่ไม่ใช้ตัวทำละลายร่วมจะได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ 93.5 ดังนั้นการใช้ตัวทำละลายร่วมจึงสามารถลดเวลาและพลังงานในการผลิตไบโอดีเซลได้

เพียงพิศ วงษ์มณีนิล และคณะ. [14] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันทอดแล้วโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ทำการทดลองที่สภาวะของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากเกินพอร้อยละ 0.25 ถึง 0.75 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 ถึง 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันทอดใช้แล้วต่อเมทานอล 1:3 ถึง 1:12 รวมถึงการศึกษาการใช้ตัวทำละลายร่วมในการสังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อเตตระไฮโดรฟูแรน(ตัวทำละลายร่วม) ที่ 1:1.6 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการสองปฏิกิริยา และศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้ จากผลการทดลองพบว่าร้อยละของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากเกินพอ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันทอดใช้แล้วต่อเมทานอล มีผลต่อการเกิดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ซึ่งได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 78.90 และ 77.02 ตามลำดับ ส่วนเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันพบว่า มีผลต่อการเกิดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ค่อนข้างน้อย ในช่วงของการทดลองนี้ สำหรับการใส่ตัวทำละลายร่วมและการใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันร่วมในการสังเคราะห์ มีผลทำให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้พบว่าอยู่ในส่วนกำหนดของมาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยค่าความหนืด, จุดวาบไฟ และดัชนีซีเทนของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันทอดใช้แล้วนั้นมีค่า 6.32 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที, 167 องศาเซลเซียส และ 44 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1.) น้ำมันปาล์มยี่ห้อย หยก บริษัทลำสูงจำกัด
- 2.) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท เอเพ็กซ์ เคมี
เคิล จำกัด
- 3.) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo
Erba
- 4.) แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide, MgO) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท BDH
- 5.) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric, HCl) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba
- 6.) เมทานอล (Methanol, CH₃OH) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Labscan
- 7.) แอนไฮดรัสแมกนีเซียมซัลเฟต (Anhydrous magnesium sulfate, MgSO₄) เกรดวิเคราะห์
จากบริษัท RFCL
- 8.) น้ำมันพาราฟิน เกรดการค้า จากบริษัท Lab System จำกัด
- 9.) เททระไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran, C₄H₈O) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Labscan
- 10.) ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Labscan
- 11.) เอทิลเมทิลคีโตน (Ethyl methyl ketone, CH₃C(O)CH₂CH₃) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท
Carlo Erba
- 12.) เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์ (Methyl t-Butyl Ether, C₅H₁₂O) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท
BDH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1.) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
LEO รุ่น LEO 1450 VP
- 2.) เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrophotometer, XRF) Philips รุ่น PW2004
- 3.) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrometer, XRD)
Siemens รุ่น D8 Advance
- 4.) เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared, FT-IR) Perkin Elmer รุ่น FT-IR SPECTRUM GX
- 5.) เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer, FT-NMR) BRUKER รุ่น Advance DPX 300
- 6.) เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)
- 7.) เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 8.) อ่างให้ความร้อน
- 9.) แท่นให้ความร้อน พร้อมปั่นกวน (Hotplate Stirrer)
- 10.) ขวดก้นกลมสามคอขนาด 500 ml
- 11.) คอนเดนเซอร์
- 12.) เทอร์โมมิเตอร์ 100 °C
- 13.) แท่งแม่เหล็ก
- 14.) บริภัณฑ์เครื่องแก้ว
- 15.) ตู้อบสาร
- 16.) เตาเผา
- 17.) ชุดกรองลดความดัน
- 18.) กระจายยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

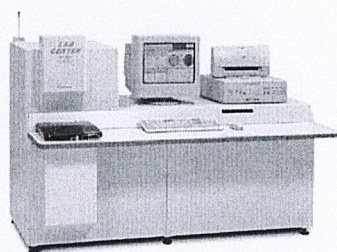
3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนได้แก่

- 1.) การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา และการวิเคราะห์คุณสมบัติ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการสังเคราะห์ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/ MgO) และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) วิธีที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคือ วิธีทำให้เปียกชุ่ม (Incipient Wetness Impregnation)
- 2.) การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์
- 3.) การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์

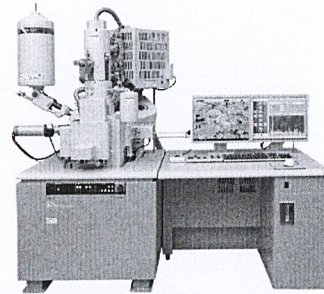
3.3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและวิเคราะห์คุณสมบัติ

- 1.) ชั่ง MgO 50 กรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 24 ชั่วโมง
- 2.) เติมสารละลาย NaOH เข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยโมล ปริมาตร 110 มิลลิลิตร ลงใน MgO ที่อบแล้ว แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C จนแห้ง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 3.) ทำการแคลไซน์ (calcine) ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นเก็บตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์
- 4.) ทำซ้ำ ข้อ 1- 3 โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยโมล
- 5.) นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ไปทำการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrophotometer, XRF), เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrometer, XRD) และตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)



รูปที่ 3.1 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายวเท่านั้น ไม่ขอสงวนสิทธิ์ในข้อใด ๆ ด้านการดำเนินงาน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)



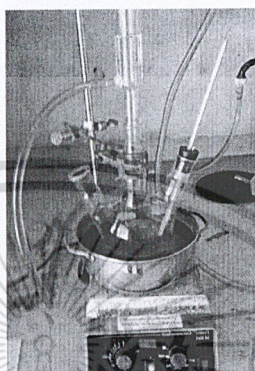
รูปที่ 3.3 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น สเปกโตรมิเตอร์
(X-ray Diffraction Spectrometer, XRD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

- 1.) ประกอบชุดอุปกรณ์สำหรับการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ขวดสามคอ เครื่องปั่น กวน เทอร์โมมิเตอร์ และคอนเดนเซอร์ โดยให้ความร้อนจากอ่างน้ำมันพาราฟิน ดังรูปที่

3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการตั้งอุปกรณ์สำหรับสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

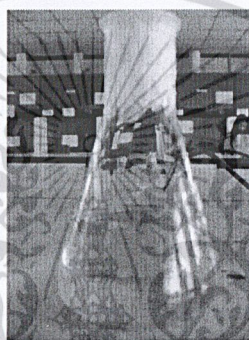
- 2.) นำน้ำมันปาล์มประมาณ 50 กรัม เดิมตัวทำละลายร่วม ตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอล(ตามตารางที่ 3.1-3.4) ลงในขวดสามคอ
- 3.) ทำการปั่นกวน และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 - 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที
- 4.) เมื่อครบเวลาของปฏิกิริยาแล้ว ทำการกรองแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน
- 5.) เทของผสมที่กรองได้ใส่กรวยแยก แล้วตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้น โดยชั้นบนซึ่งเป็นชั้นของเมทิลเอสเทอร์และตัวทำละลายร่วม ส่วนชั้นล่างเป็นชั้นของกลีเซอรอลมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาล ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และขอสงวนสิทธิ์ในชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6.) ไบแยกชั้นกลีเซอรอลออกไป จากนั้นนำชั้นของเมทิลเอสเทอร์และตัวทำละลายรวม ไประเหยตัวทำละลายรวมออก ด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)
- 7.) ล้างชั้นเมทิลเอสเทอร์ที่ระเหยตัวทำละลายรวมออกแล้วด้วยน้ำกลั่น จนได้ชั้นเมทิลเอสเทอร์ที่มีลักษณะขุ่นเล็กน้อยและมีสภาพเป็นกลาง โดยทดสอบด้วยกระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
- 8.) คูดน้ำที่ปะปนกับเมทิลเอสเทอร์โดยใช้แอนไฮดริสแมกนีเซียมซัลเฟต จะได้เมทิลเอสเทอร์ที่ใส จากนั้นทำการกรองแอนไฮดริสแมกนีเซียมซัลเฟตออกไป ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการคูดน้ำด้วยแอนไฮดริสแมกนีเซียมซัลเฟต

- 9.) นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปชั่งน้ำหนักและหาลอยละของไบโอดีเซลที่ได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO โดยใช้ตัวทำละลายร่วม จะทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ดังนี้

1. ชนิดของไฮดรอกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์ ได้แก่ NaOH และ KOH
2. ชนิดของตัวทำละลายร่วม ได้แก่ Tetrahydrofuran (THF) , Petroleum ether (PE), Ethyl methyl ketone (MEK) และ Methyl t-Butyl Ether (MTBE)
3. เวลาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ 7.5 ,15, 30,60,120 นาที
3. อัตราส่วน โดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมน้ำมัน ได้แก่ 1:1 ,2:1 และ 3:1
4. อัตราส่วน โดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ได้แก่ 6:1,8:1 และ 10:1

สภาวะการทดลองสำหรับศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1 – 3.4

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายร่วมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO

| ตัวทำละลายร่วม | อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน | อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมน้ำมัน | ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนัก) | เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที) |
|----------------|------------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------------|
| THF | 8:1 | 2:1 | 2% | 120 |
| PE | 8:1 | 2:1 | 2% | 120 |
| MEK | 8:1 | 2:1 | 2% | 120 |
| MTBE | 8:1 | 2:1 | 2% | 120 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของเวลาในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO

| ตัวทำละลายร่วม | อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน | อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน | ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (% โดยน้ำหนัก) | เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที) |
|----------------------|------------------------------------|---|---------------------------------------|-----------------------------------|
| เลือกจากตารางที่ 3.1 | 8:1 | 2:1 | 2% | 7.5 |
| | 8:1 | 2:1 | 2% | 15 |
| | 8:1 | 2:1 | 2% | 30 |
| | 8:1 | 2:1 | 2% | 60 |
| | 8:1 | 2:1 | 2% | 120 |

ตารางที่ 3.3 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วน โดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO

| ตัวทำละลายร่วม | อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน | อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน | ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (% โดยน้ำหนัก) | เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที) |
|----------------------|------------------------------------|---|---------------------------------------|-----------------------------------|
| เลือกจากตารางที่ 3.1 | 8:1 | 1:1 | 2% | 120 |
| | 8:1 | 2:1 | 2% | 120 |
| | 8:1 | 3:1 | 2% | 120 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ที่มีผลต่อ
ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO

| ตัวทำละลายร่วม | อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน | อัตราส่วน โดยปริมาตรของ ตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน | ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (% โดยน้ำหนัก) | เวลาที่ใช้ในการทำ ปฏิกิริยา (นาที) |
|--------------------------|--|--|--|---------------------------------------|
| เลือกจาก ตารางที่ 3.1 | 6:1 | 2:1 | 2% | 120 |
| | 8:1 | 2:1 | 2% | 120 |
| | 10:1 | 2:1 | 2% | 120 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์

ศึกษาถึงลักษณะทางเคมีของไบโอดีเซลโดยเครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) และ เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer, FT-NMR)



รูปที่ 3.8 เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)



รูปที่ 3.9 เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์ม นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-NMR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/ MgO) และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) ร่วมกับตัวทำละลายร่วม(co-solvent) โดยการนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอนคือ ตอนที่ 1 ทำการศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ เอกลักษณะทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา และลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ตอนที่ 2 เป็นการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/ MgO) และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) โดยศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลายร่วม เวลาในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ อัตราส่วน โดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมน้ำมัน ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม และตอนที่ 3 เป็นการพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้

4.1 การศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1.1 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/MgO) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) จะถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrophotometer, XRF) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

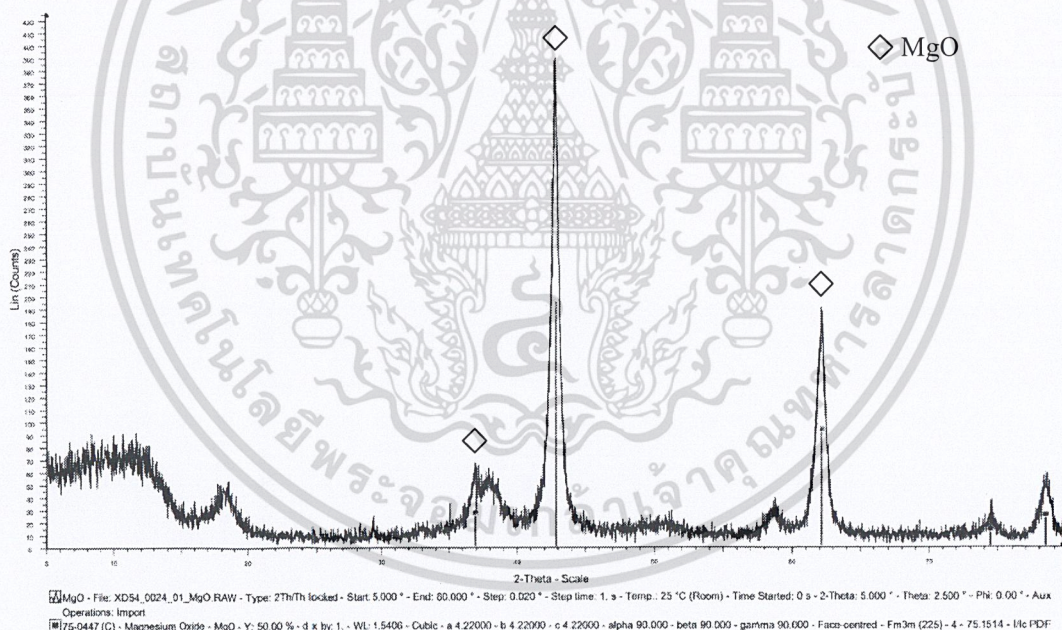
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

| ตัวเร่งปฏิกิริยา | ปริมาณองค์ประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | | | | |
|------------------|-------------------------------------|-------|------------------|-----------------|------|------------------|------|
| | Na ₂ O | MgO | SiO ₂ | SO ₃ | Cl | K ₂ O | CaO |
| MgO | <0.01 | 98.45 | 0.18 | 0.21 | 0.12 | <0.01 | 0.91 |
| NaOH/MgO | 7.14 | 91.42 | 0.49 | 0.04 | 0.11 | <0.01 | 0.75 |
| KOH/MgO | <0.01 | 85.27 | 0.48 | 0.07 | 0.07 | 13.26 | 0.74 |

จากตารางที่ 4.1 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO มีปริมาณ Na_2O เป็นองค์ประกอบร้อยละ 7.14 และตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO มีปริมาณ K_2O เป็นองค์ประกอบร้อยละ 13.26 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิด เตรียมจากสารละลาย NaOH และ KOH ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยโมล จากผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ทั้งสองชนิด มีออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์ไปเป็นองค์ประกอบบนตัวรองรับ MgO นอกจากนี้ปริมาณ MgO ของตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO และ NaOH/MgO จะลดลงกว่าปริมาณของ MgO ที่ใช้เป็นตัวรองรับ เนื่องจากการเกิดออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์ บนตัวรองรับ MgO

4.1.2 โครงสร้างและสัณฐานวิทยา

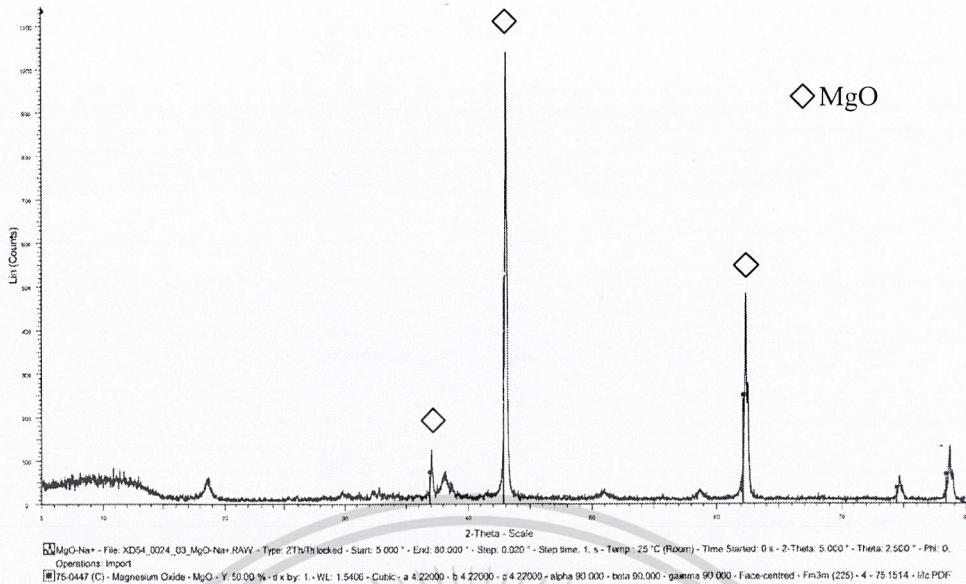
นำตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/ MgO) และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) มาทำการศึกษาโครงสร้างและสัณฐานวิทยาด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrophotometer, XRD) แสดงดังรูปที่ 4.1 (ก.) – 4.1 (ค)



รูปที่ 4.1 (ก) รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของ MgO

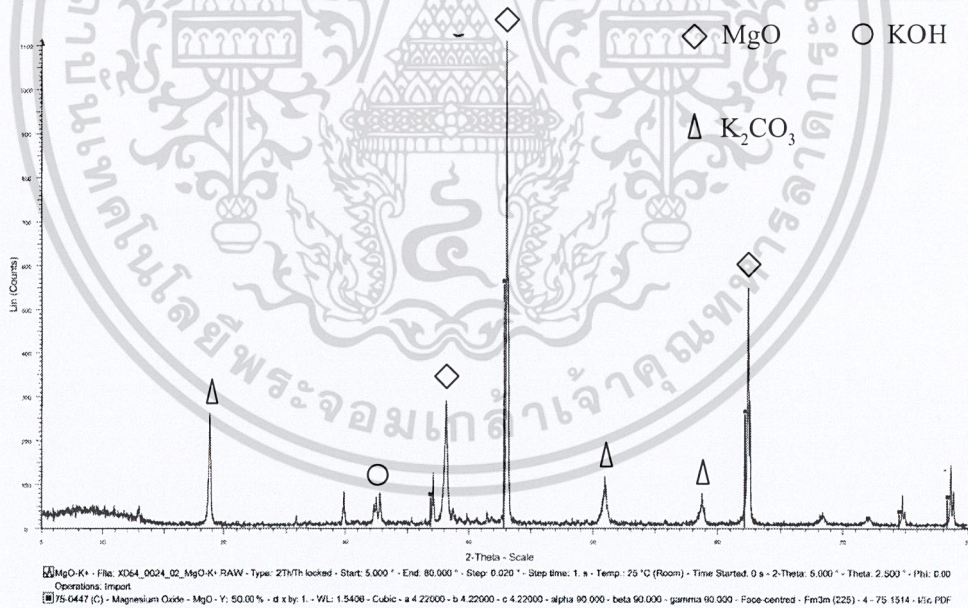
จากรูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของ MgO พบพีคที่มุม $2\theta = 37.0^\circ, 43.0^\circ$ และ 62.3° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของผลึก MgO [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 (ข) รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO

จากรูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของ NaOH/MgO พบพีคที่มุม $2\theta = 37.0^\circ, 43.0^\circ$ และ 62.3° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของผลึก MgO



รูปที่ 4.1 (ค) รูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO

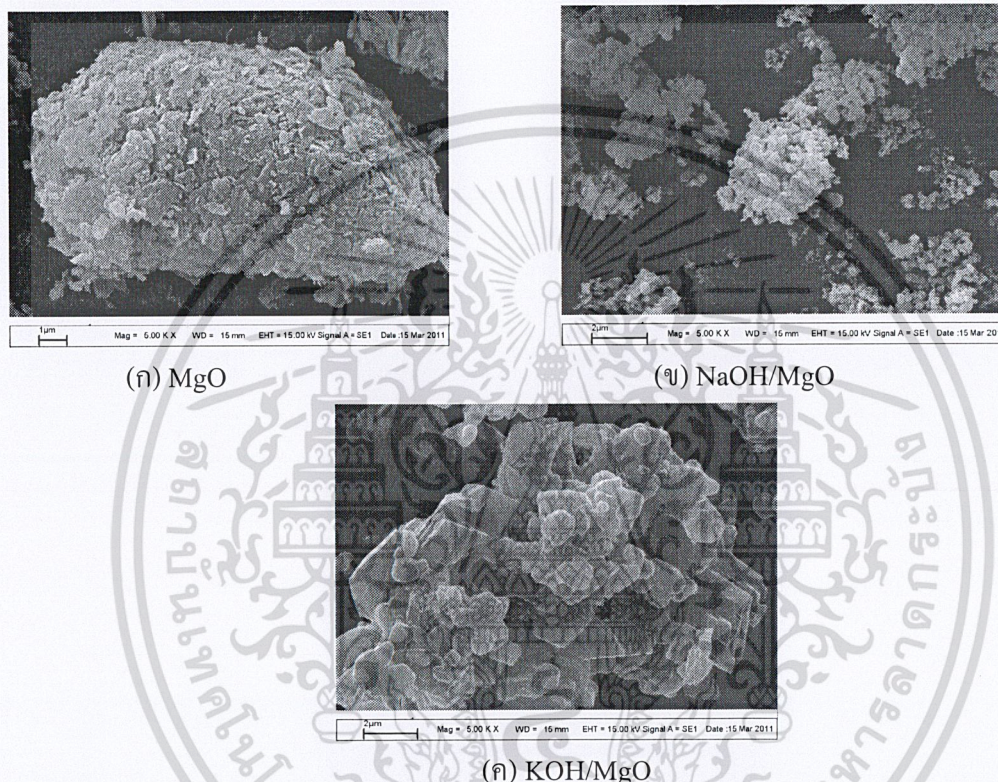
จากรูปแบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของ KOH/MgO พบพีคที่มุม $2\theta = 37.0^\circ, 43.0^\circ$ และ 62.3°

ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของผลึก MgO ที่มุม $2\theta = 32.0^\circ$ พบพีคของ KOH และที่มุม $2\theta =$

เอกสารนี้ $19.0^\circ, 51.0^\circ$ และ 58.5° พบพีคของ K₂CO₃ ซึ่งเกิดจากตัวเร่งปฏิกิริยา K₂O ที่ทำปฏิกิริยากับ CO₂ ในการค้าไม่ยากในอากาศ อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

นำตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/ MgO) และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) มาทำการศึกษาลักษณะพื้นผิว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) ถึง 4.2 (ค) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า



(ก) MgO

(ข) NaOH/MgO

(ค) KOH/MgO

รูปที่ 4.2 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของ MgO, NaOH/ MgO, KOH/ MgO จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 5000 เท่า

จากรูปที่ 4.2 แสดงถึงลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ กำลังขยาย 5000 เท่า เมื่อเปรียบเทียบพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่ม สารประกอบของโลหะอัลคาไลบนตัวรองรับ MgO พบว่าลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา เปลี่ยนไปจากเดิม โดยจะมีผลึกของสารประกอบโลหะอัลคาไลกระจายอยู่บนพื้นผิวของตัวเร่ง ปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

4.2.1 ผลของชนิดของตัวทำละลายร่วม

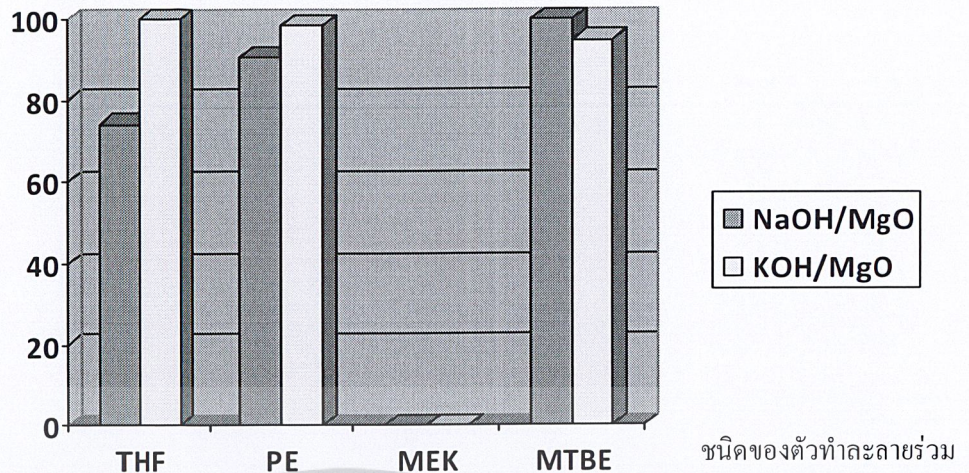
ตัวทำละลายร่วมที่นำมาศึกษาได้แก่ Tetrahydrofuran (THF), Petroleum ether (PE), Methyl Ethyl Ketone (MEK) และ Methyl t-Butyl Ether (MTBE) โดยกำหนดสภาวะของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 8:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/ MgO และ KOH/ MgO ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมันเป็น 2:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60 – 65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดัง ตารางที่ 4.2 และเปรียบเทียบร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ตัวทำละลายร่วมชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลของชนิดตัวทำละลายร่วมที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ที่คำนวณได้จากสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกส์เรโซแนนซ์ สเปกโตโฟโตมิเตอร์

| ตัวทำละลายร่วม | ตัวเร่งปฏิกิริยา | ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ |
|--------------------------------|------------------|------------------------|
| Tetrahydrofuran (THF) | NaOH/ MgO | 74.07 |
| | KOH/ MgO | 105.88 |
| Petroleum ether (PE) | NaOH/ MgO | 90.48 |
| | KOH/ MgO | 98.26 |
| Methyl Ethyl Ketone (MEK) | NaOH/ MgO | 0.00 |
| | KOH/ MgO | 0.00 |
| Methyl t-Butyl Ether (MTBE) | NaOH/ MgO | 105.01 |
| | KOH/ MgO | 94.65 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์



รูปที่ 4.3 ผลของชนิดตัวทำละลายร่วมที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

จากรูป 4.3 เมื่อใช้ตัวทำละลายร่วม Methyl ethyl ketone (MEK) จะไม่เกิดเมทิลเอสเทอร์สำหรับตัวทำละลายร่วมอีก 3 ชนิดคือ Tetrahydrofuran (THF) , Petroleum ether (PE) และ Methyl t-Butyl Ether (MTBE) จะให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ค่อนข้างสูง

สำหรับตัวทำละลายร่วม THF เมื่อใช้ในปฏิกิริยาที่มี NaOH/MgO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพียง 74.07 ซึ่งต่ำกว่า เมื่อใช้ในปฏิกิริยาที่เร่งด้วย KOH/MgO ซึ่งแตกต่างจากตัวทำละลายร่วม PE และ MTBE ที่ให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO

ตัวทำละลายร่วมมีบทบาทสำคัญต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ในการช่วยทำให้น้ำมันเข้ากันกับเมทานอลได้ดีมากขึ้น ดังนั้นตัวทำละลายร่วมที่นำมาใช้ควรมีความเป็นขั้วที่ไม่มากหรือน้อยเกินไป เพื่อให้สามารถเข้ากันกับน้ำมันซึ่งมีความเป็นขั้วต่ำ และเมทานอลซึ่งมีความเป็นขั้วสูงได้

จากตัวทำละลายร่วมทั้ง 4 ชนิดที่นำมาศึกษา เมื่อเรียงลำดับความเป็นขั้วจากสูงไปต่ำ จะได้ว่า MEK > THF > MTBE ~ PE โดย MEK เป็นตัวทำละลายที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ ประเภทลิโตน ซึ่งมีความเป็นขั้วสูง จึงอาจไม่สามารถเข้ากันได้กับวัฏภาคของน้ำมัน ทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ยาก สำหรับ THF เป็นตัวทำละลายที่มีขั้วน้อยกว่า MEK แต่มากกว่า MTBE และ PE จึงสามารถเข้ากันได้กับน้ำมันและเมทานอล แต่การเข้ากันอาจไม่สมบูรณ์พอ จึงทำ

ให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์น้อยกว่า เมื่อใช้ตัวทำละลายร่วม MTBE และ PE ซึ่งมีความเป็นขั้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองจึงเลือกใช้ตัวทำละลายร่วม MTBE และ PE ไปใช้ในการศึกษาผลของตัวแปรอื่นๆต่อไป

4.2.2 ผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน

ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน จะกำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 8:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมันคือ 1:1, 2:1 และ 3:1 ใช้ตัวทำละลายร่วมคือ Petroleum ether (PE) เวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 120 นาที ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60-65 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/ MgO) และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

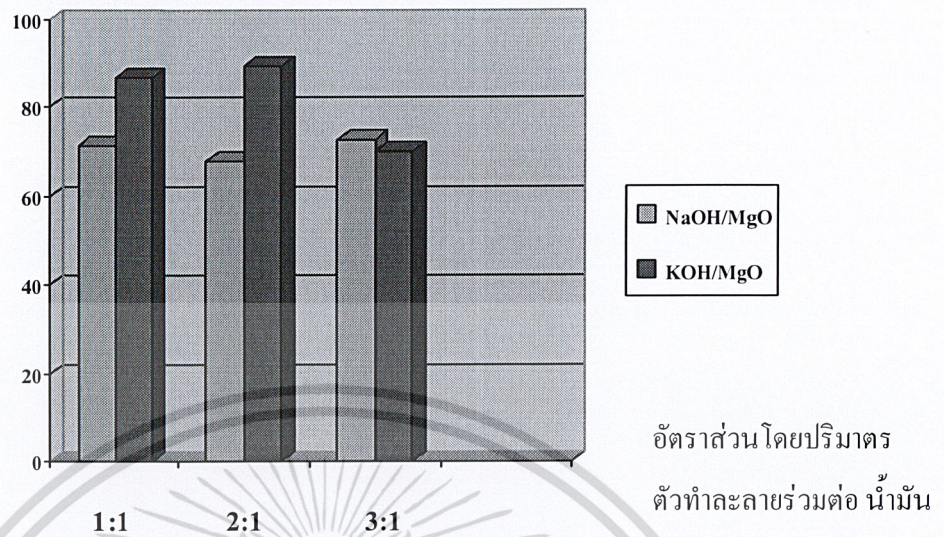
ตารางที่ 4.3 ผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วม Petroleum ether (PE) ต่อน้ำมัน ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO

| ตัวเร่งปฏิกิริยา | อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน | ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ |
|------------------|---|------------------------|
| NaOH/ MgO | 1:1 | 71.32 |
| KOH/ MgO | 1:1 | 86.45 |
| NaOH/ MgO | 2:1 | 67.61 |
| KOH/ MgO | 2:1 | 89.33 |
| NaOH/ MgO | 3:1 | 72.74 |
| KOH/ MgO | 3:1 | 69.98 |

จากตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วม Petroleum ether (PE) ต่อน้ำมัน และร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ แสดงในผังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์



อัตราส่วน โดยปริมาตร
ตัวทำละลายรวมต่อ น้ำมัน

รูปที่ 4.4 ผลของอัตราส่วน โดยปริมาตรของตัวทำละลายรวม Petroleum ether (PE) ต่อน้ำมัน ที่มีต่อ ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าสำหรับปฏิกิริยาที่เร่งด้วย KOH/MgO เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดย ปริมาตรของตัวทำละลายรวม PE จาก 1:1 เป็น 2:1 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 86.45 เป็น 89.33 และที่อัตราส่วนเป็น 3:1 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ลดลงเหลือเพียง 69.98 อัน เนื่องจากการเพิ่มปริมาตรของตัวทำละลายรวม จะทำให้ปริมาตรโดยรวมของสารทั้งหมดใน ปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสลดลง ดังนั้นร้อยละของเมทิล เอสเทอร์จึงลดลงด้วย สำหรับปฏิกิริยาที่เร่งด้วย NaOH/MgO พบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มีค่า ใกล้เคียงกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน โดยปริมาตรของตัวทำละลายรวมจาก 1:1 เป็น 3:1 ดังนั้น จึงเลือกใช้อัตราส่วน โดยปริมาตรของตัวทำละลายรวม PE ต่อน้ำมัน ที่ 2:1 ในการทดลองต่อไป

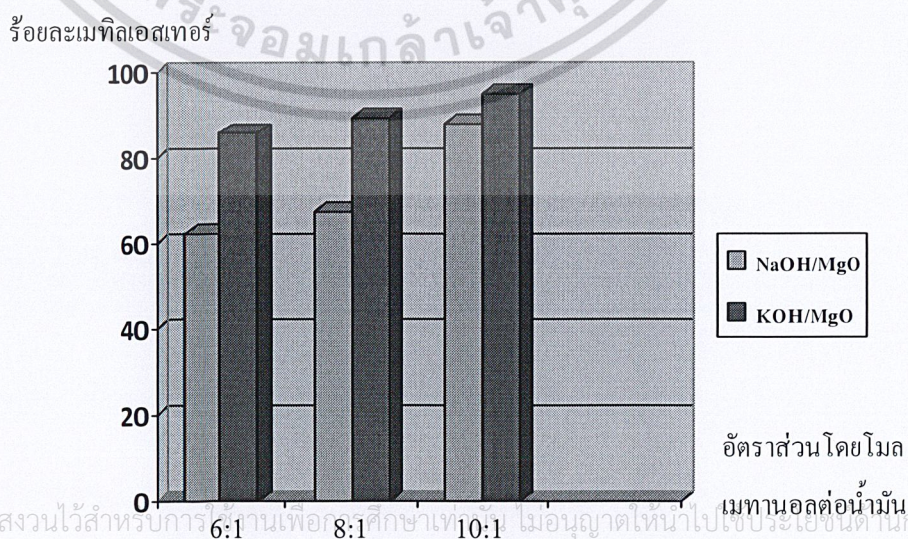
4.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน

ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน จะกำหนดให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายรวม PE ต่อน้ำมันเป็น 2:1 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 120 นาที ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60-65 องศาเซลเซียส เร่งปฏิกิริยาคด้วย NaOH/ MgO และ KOH/ MgO โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1, 8:1, และ 10:1 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO

| ตัวเร่งปฏิกิริยา | อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน | ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ |
|------------------|------------------------------------|------------------------|
| NaOH/ MgO | 6:1 | 62.40 |
| KOH/ MgO | 6:1 | 85.82 |
| NaOH/ MgO | 8:1 | 67.61 |
| KOH/ MgO | 8:1 | 89.33 |
| NaOH/ MgO | 10:1 | 87.96 |
| KOH/ MgO | 10:1 | 94.70 |

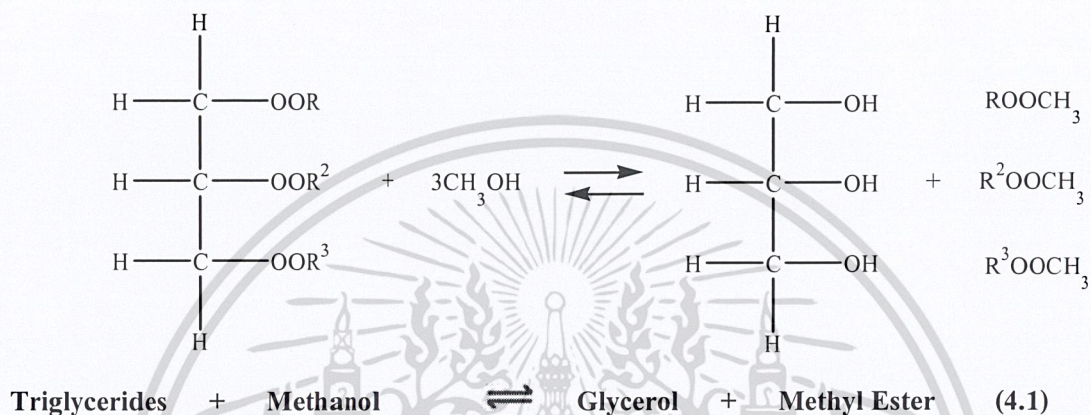
ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน และร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ดังแสดงดังรูปที่ 4.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่เชิงพาณิชย์ การค้าไม่ว่ากรณีใดก็ตาม

รูปที่ 4.5 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้

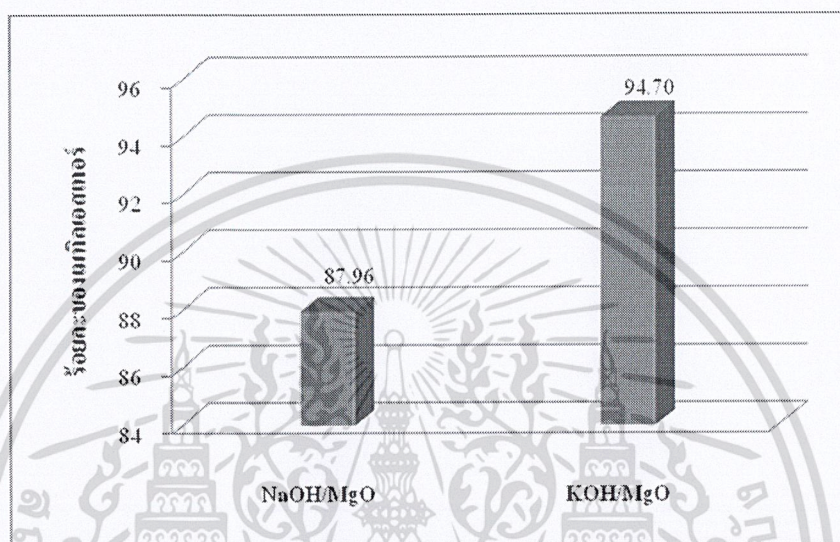
จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน จะทำให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้น เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณเมทานอลที่มากเกินไปจะสามารถทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้เลื่อนไปทางด้านของผลิตภัณฑ์จึงส่งผลให้ได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ดังสมการ (4.1)



จากสมการที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าจะต้องใช้ 3 โมลของเมทานอล และ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์เพื่อที่จะได้ 3 โมลของเมทิลเอสเทอร์กับ 1 โมลของกลีเซอรอล โดยอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 10:1 เป็นอัตราส่วนที่ทำให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ดีที่สุดในสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO จะได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO

4.2.4 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา

ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO โดยใช้อัตราส่วน โดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วม PE ต่อน้ำมันเป็น 2:1 ที่อัตราส่วน โดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 10:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และเวลา ของปฏิกิริยา 120 นาที แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO ที่สภาวะของปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยใช้ Petroleum Ether เป็นตัวทำละลายร่วม จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะของปฏิกิริยาที่เหมาะสม เมื่อทำการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO จะได้รับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO ประมาณร้อยละ 6 โดยเป็นผลมาจากตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO มีความเป็นเบสสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO เนื่องจาก KOH/MgO มีปริมาณ K_2O ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่า Na_2O บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งร้อยละ โดยน้ำหนักของ K_2O และ Na_2O บนตัวเร่งปฏิกิริยาคือ 13.26 และ 7.14 ตามลำดับ ดังนั้นในการศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา จึงเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO ไปทำการศึกษาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

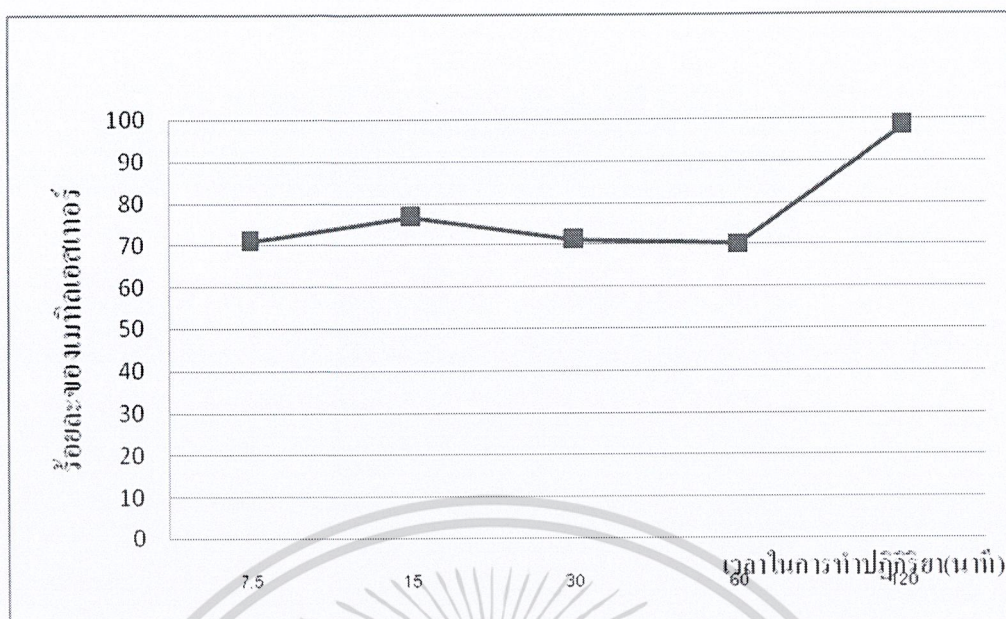
4.2.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา

ในการศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน จะทำการแปรเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 7.5, 15, 30, 60 และ 120 นาที โดยใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/ MgO ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วม (PE และ MTBE) ต่อน้ำมันเป็น 2:1 ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60-65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยากับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ตัวทำละลายร่วม PE และ MTBE แสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ที่มี Petroleum ether (PE) เป็นตัวทำละลายร่วม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO

| ตัวเร่งปฏิกิริยา | เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที) | ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ |
|------------------|-----------------------------------|------------------------|
| KOH/ MgO | 7.5 | 70.87 |
| KOH/ MgO | 15 | 76.69 |
| KOH/ MgO | 30 | 71.24 |
| KOH/ MgO | 60 | 70.20 |
| KOH/ MgO | 120 | 98.26 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



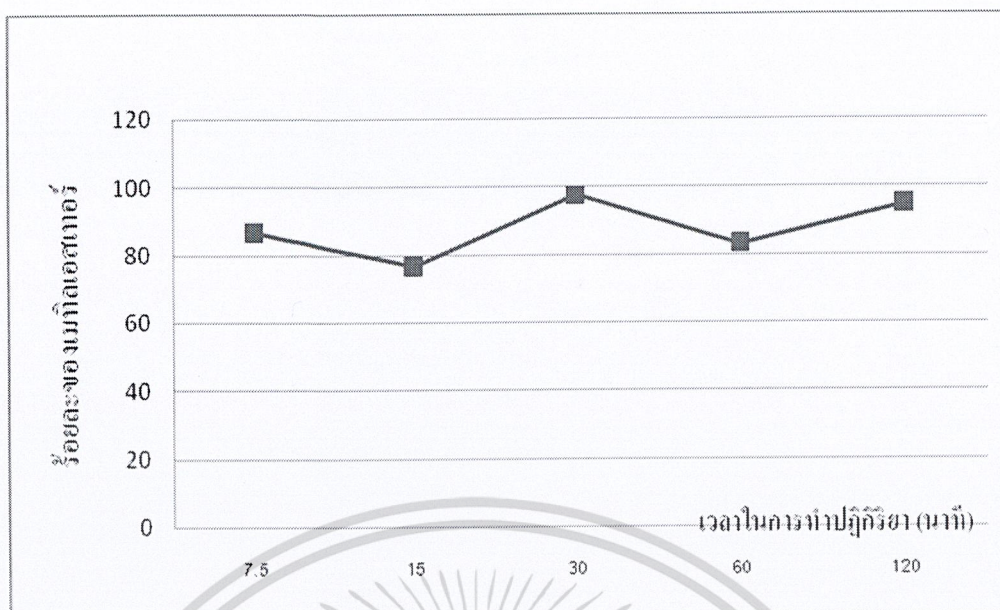
รูปที่ 4.7 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ เมื่อใช้ PE เป็นตัวทำละลายร่วม โดยมี KOH/MgO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

รูปที่ 4.7 เมื่อใช้ตัวทำละลายร่วม Petroleum ether (PE) ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชัน ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO จะเห็นได้ว่าร้อยละของเมทิลเอสเตอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น ซึ่งที่เวลาของปฏิกิริยา 120 นาที ร้อยละของเมทิลเอสเตอร์จะมีค่าดีที่สุด

ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชัน ที่มี Methyl t-Butyl Ether (MTBE) เป็นตัวทำละลายร่วม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO

| ตัวเร่งปฏิกิริยา | เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที) | ร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ |
|------------------|-----------------------------------|------------------------|
| KOH/ MgO | 7.5 | 86.54 |
| KOH/ MgO | 15 | 76.40 |
| KOH/ MgO | 30 | 97.58 |
| KOH/ MgO | 60 | 83.03 |
| KOH/ MgO | 120 | 94.65 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วม โดยมี KOH/MgO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

รูปที่ 4.5 เมื่อใช้ตัวทำละลายร่วม Methyl t-Butyl Ether (MTBE) ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO พบว่าที่เวลา 120 นาที จะให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ดีที่สุด เช่นเดียวกับการใช้ตัวทำละลายร่วม PE

ดังนั้นจากกล่าวได้ว่า เมื่อใช้ตัวทำละลายร่วม Petroleum ether (PE) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจะเกิดเร็วใกล้เคียงกับการใช้ตัวทำละลายร่วม Methyl t-Butyl Ether (MTBE) โดยพิจารณาจากร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่มีค่าค่อนข้างสูงตั้งแต่เวลาเริ่มต้น และเวลาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์คือ 120 นาที ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวทำละลายร่วม Petroleum Ether (PE) และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 120 นาที ในการทดลองต่อไป เนื่องจาก Petroleum Ether (PE) เป็นตัวทำละลายที่มีราคาถูกกว่า MTBE ดังนั้นจึงประหยัดต้นทุนในการผลิตได้

เมื่อใช้ตัวทำละลายร่วม Petroleum Ether (PE) และ Methyl t-Butyl Ether (MTBE) โดยมี KOH/MgO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่า ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นสูงตั้งแต่เวลา 7.5 นาที และให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ดีที่สุดเมื่อเวลา 120 นาที

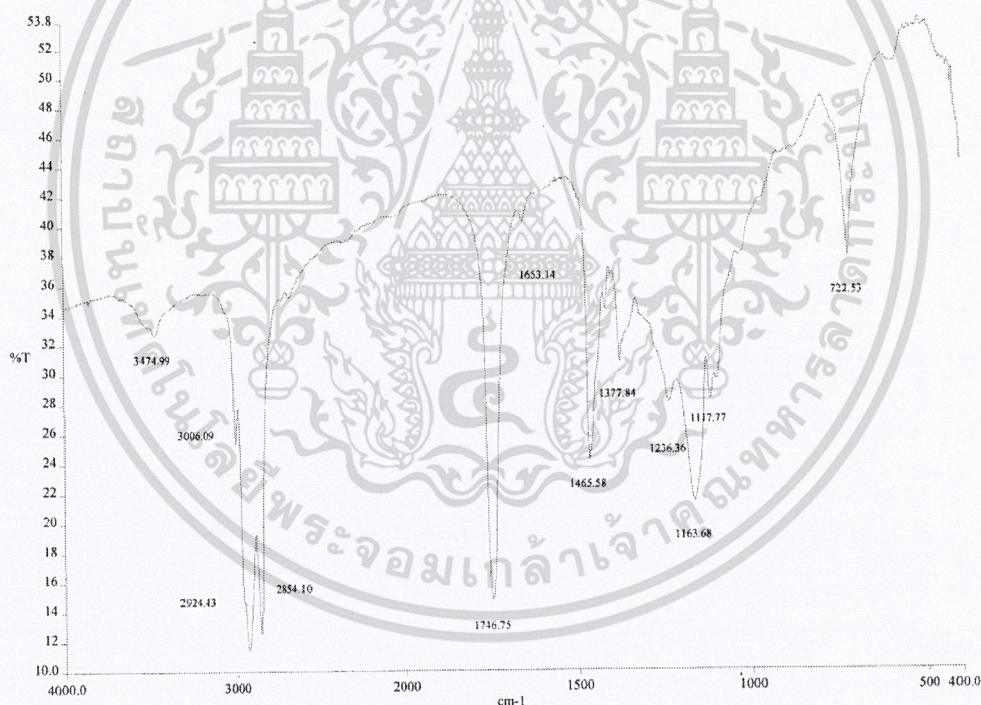
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีและทดสอบสมบัติของเมทิลเอสเทอร์

นำเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO และ KOH/MgO ร่วมกับตัวทำละลายร่วม Petroleum ether มาทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมทรีและเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรโฟโตเมทรี

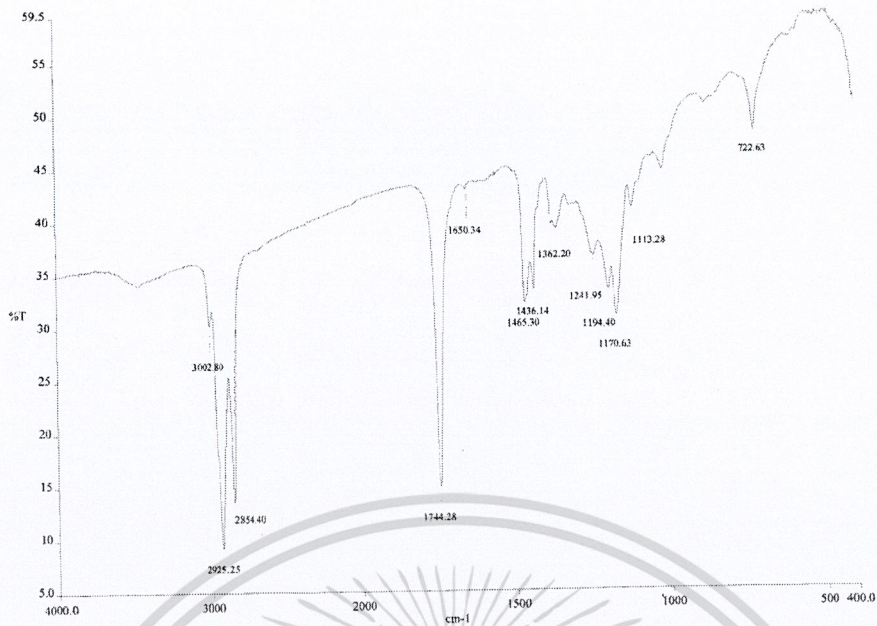
4.3.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์โดยเครื่องฟูเรียทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)

น้ำมันปาล์ม และเมทิลเอสเทอร์ จะถูกนำมาตรวจวัดหมู่ฟังก์ชัน ด้วยเครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ดังรูปที่ 4.9 – 4.11 และทำการแสดงหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆ ดังตาราง 4.10

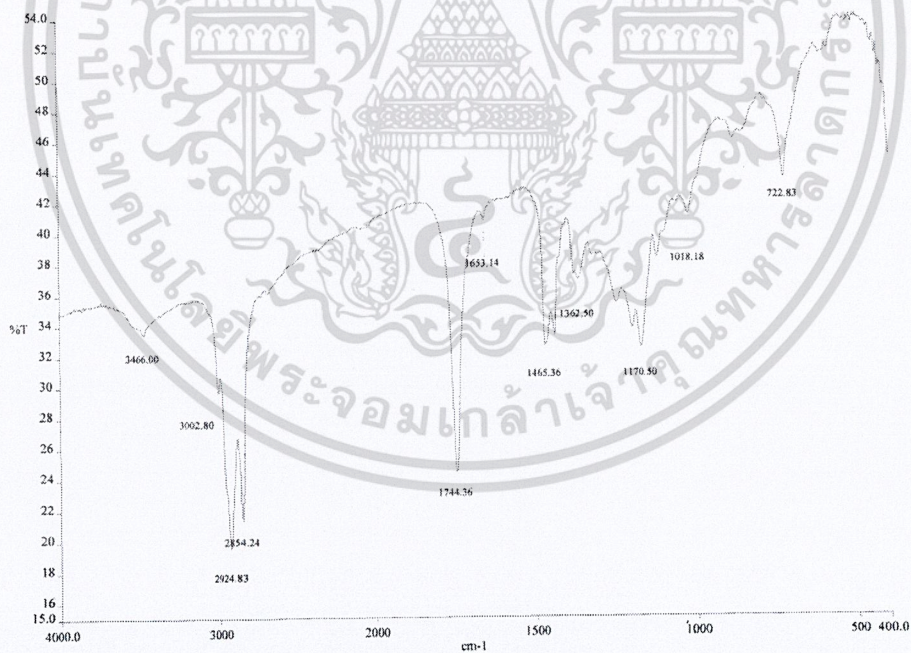


รูปที่ 4.9 สเปกตรัมน้ำมันปาล์มจากเครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH/MgO ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ตัวทำละลายร่วมคือ ปีโตรเลียมอีเทอร์ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 120 นาที



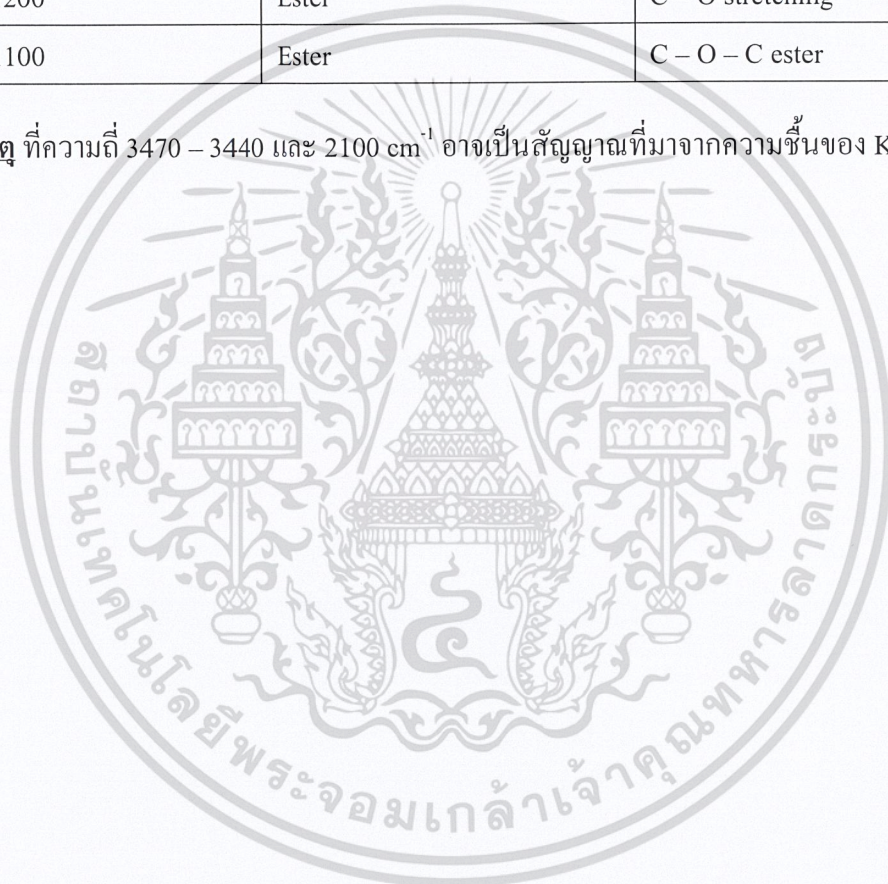
รูปที่ 4.11 สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ตัวทำละลายร่วมคือ ปีโตรเลียมอีเทอร์ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันปาล์ม และเมทิลเอสเทอร์ที่เลขคลื่นต่างๆ

| เลขคลื่น (cm^{-1}) | หมู่ฟังก์ชัน | หมายเหตุ |
|-------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 3100-3000 | Alkene | Unsaturated C – H stretching |
| 3000-2800 | Alkane | Saturated C – H stretching |
| ~1740 | Ester | Carbonyl |
| 1470 – 1400 | Alkane | C – H bonding for CH_2 |
| ~1365 | Alkane | C – H bonding for CH_2 |
| 1300 – 1200 | Ester | C – O stretching |
| 1250 – 1100 | Ester | C – O – C ester |

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ลักษณะทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตร

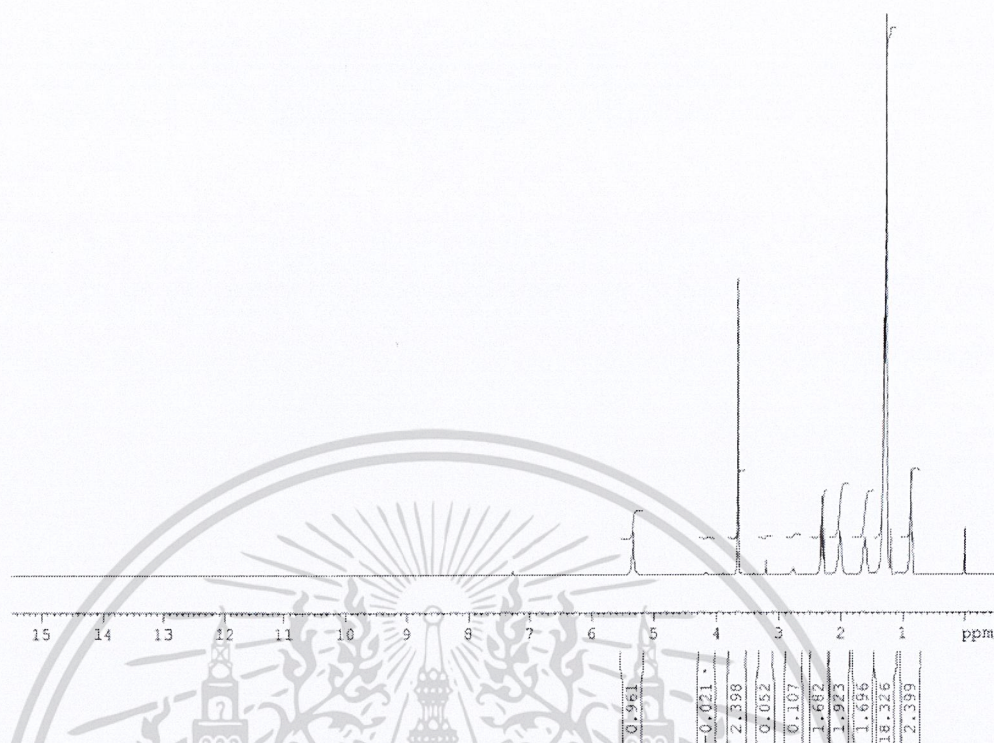
โพโตมิเตอร์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectro Photometer, NMR)



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มจากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโพโตมิเตอร์ (NMR)

จากรูปที่ 4.12 แสดงถึง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ เมทิล โปรตอน ($\text{CH}_3\text{-C-}$) และ เมทิลีน โปรตอน ($\text{-C-CH}_2\text{-C-}$) ที่ δ 0.85-0.88 และ 1.25-1.30 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C-}$ ที่ δ 1.61 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-C=C}$ ที่ δ 2.01-2.05 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-COO-C-}$ ที่ δ 2.28-2.33 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-C=C-CH}_2\text{-C=C-}$ ที่ δ 2.75-2.77 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-OOC-R}$ และ -CH-OOC-R ที่ δ 4.11-4.17 และ 4.27-4.32 ppm, สเปกตรัมของ -CH=CH- ที่ δ 5.26-5.35 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ ใช้อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2 % โดยน้ำหนัก ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/MgO ใช้ตัวทำละลายร่วม Petroleum ether (PE) ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 60-65 องศาเซลเซียส จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

จากรูปที่ 4.13 แสดงถึง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ เมทิลโปรตอน ($\text{CH}_3\text{-C-}$) และ เมทิลีนโปรตอน ($\text{-C-CH}_2\text{-C-}$) ที่ δ 0.85-0.89 และ 1.25-1.30 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C-}$ ที่ δ 1.59-1.64 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-C=C}$ ที่ δ 2.00-2.01 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-CH}_2\text{-COO-C-}$ ที่ δ 2.27-2.32 ppm, สเปกตรัมของ $\text{-C=C-CH}_2\text{-C=C-}$ ที่ δ 2.71-2.78 ppm, สเปกตรัมของ เมทิลเอสเทอร์ (-R-COO-CH_3) ที่ δ 3.65 ppm, สเปกตรัมของ -CH=CH- ที่ δ 5.33-5.35 ppm

จากการเปรียบเทียบ NMR สเปกตรัมในรูปที่ 4.12 – รูปที่ 4.13 จะเห็นว่า เมื่อนำน้ำมันปาล์ม มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอล จะพบว่าตำแหน่งโปรตอนของ $\text{-CH}_2\text{-OOC-R}$ และ -CH-OOC-R ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่ δ 4.11-4.17 และ 4.27-4.32 ppm หายไปเกิดเป็นตำแหน่งโปรตอนของ -R-COO-CH_3 ในโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ขึ้นมาแทนที่ δ 3.63 ppm สำหรับที่สถานะอื่นๆ ผลที่ได้เป็นไปในทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและเมทานอลด้วยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้เกลือของโลหะแอลคาไลน์บนแมกนีเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/ MgO) และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ พบว่า

- 1.) ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมคือ ปิโตรเลียมอีเทอร์ (PE) เนื่องจากให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า เมทิลเทอร์เชียรีบิลทิลอีเธอร์ (MTBE) เตตระไฮโดรฟูแรน (THF) และเมทิลเอทิลคีโตน (MEK) โดยปิโตรเลียมอีเทอร์สามารถช่วยให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันได้ดี และราคาถูกเมื่อเทียบกับตัวทำละลายร่วมชนิดอื่นๆ
- 2.) ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/MgO) สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (NaOH/MgO) เนื่องจากให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สูงกว่า
- 3.) สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล และให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ดีที่สุด คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล ต่อน้ำมันพืชเท่ากับ 10:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/ MgO) และใช้ตัวทำละลายร่วมปิโตรเลียมอีเทอร์ (PE) เลือกใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วม ต่อน้ำมัน ที่ 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1.) ควรนำเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง เช่น ความหนืด จุดวาบไฟ จุดไหลเท ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน เพื่อตรวจสอบว่า เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติทางเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซลหรือไม่
- 2.) ควรทำการศึกษาผลของตัวทำละลายร่วม ในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา และควรศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยา ในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยไม่เติมตัวทำละลายร่วม
- 3.) ควรนำไบโอดีเซลที่ได้มาทดสอบผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์จริง
- 4.) ควรนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคขั้นสูง เช่น การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวโดยใช้เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยวิธี BET (Brunauer –Emmett-Teller)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

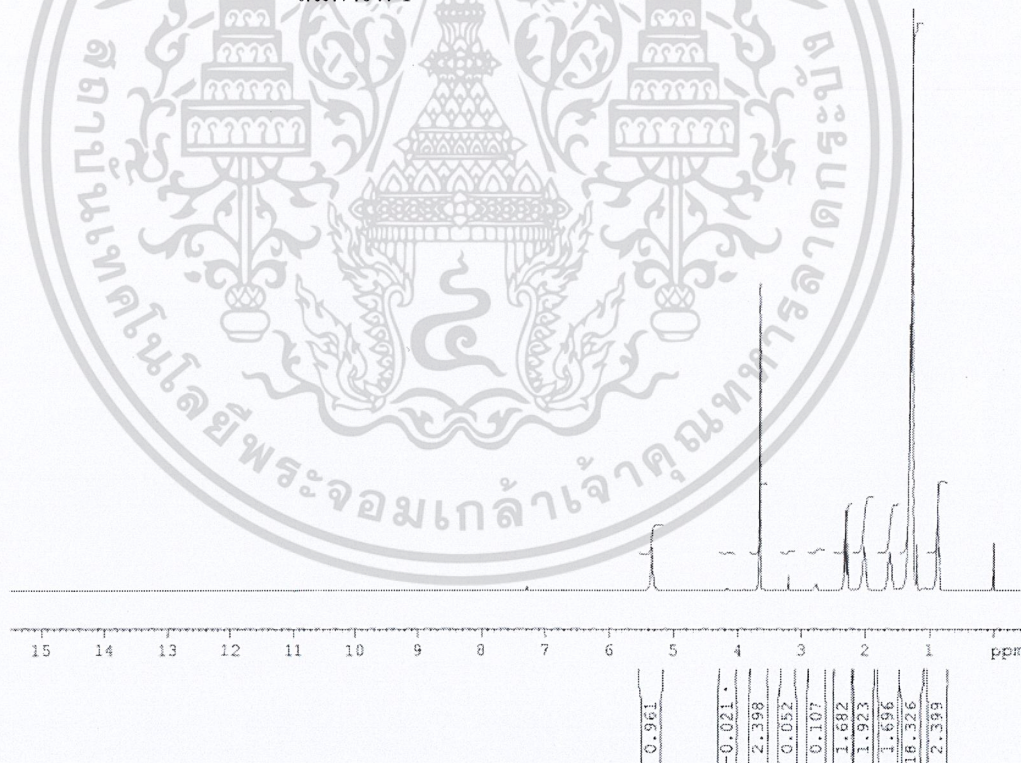
- [1] <http://www.region1.m-energy.go.th/data/biodeseil.html>
- [2] <http://www.eco-agrotech.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=485094&Ntype=2>
- [3] ร.ต. หลิง ฐัฐมณฑน์ ลีจินดา. [Online] . Available:
<http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=pow03&date=15-09-2008&group=2>
 &blog=1
- [4] D.G.B. Boocock, S.K. Konar, V. Mao, H. Sidi, **Biomass Bioenergy** .11(1996) 43-50.
- [5] G.Guan, K. Kusakebe, N. Sakurai, K.Moriyama, **Chem.Lett.** 36(2007) 1408-1409.
- [6] คมสัน หุตะแพทย์, สุัทสนา กำเนิดทอง, กำพล กาหลง และฉัฐภูมิ สุดแก้ว. 2550. **ทำไบโอดีเซลใช้เอง**. หน้า5,23,32. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ.
- [7] Ma F., Hanna M.A. **Biodiesel Production: A Review**. Bioresource Technology, 70 (1999) 1-15.
- [8] Schuchardt U., Sercheli R., Vargas R.M. **Transesterification of vegetable oils: a review**. J Bras Chem Soc, 9(1998) 199-210.
- [9] จตุพร วิทยาคณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. 2547. **การเร่งปฏิกิริยา: พื้นฐานการประยุกต์**. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [10] ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 [Online]. Available:
<http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=351>
- [11] Ratre, P. **Biodiesel Production from Palm Oil with Co-solvent**. D.Sc(2008) 95 pp.
- [12] Guoqing, G., Nozomi, S., Katsuki, K. **Synthesis of biodiesel from sunflower oil at room temperature in the presence of various cosolvents**. Chemical Engineering Journal 146(2009) 302-306
- [13] ชาตรี เกรียงยะกุล, ทรานซ์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของปาล์มสเตียรีนในวัฏภาคเดียวเติมไปเป็นไบโอดีเซล, 86หน้า.
- [14] เพียงพิศ วงศ์ฉินิต, กฤษดา แก้วยก, อรวรรณ อยู่แท้กุล, ศึกษากระบวนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันทอดใช้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

1. การคำนวณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%methyl ester) จากไฮโดรเจนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกตรัม (H^1 -NMR)

ตัวอย่างการคำนวณ ที่สภาวะในการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล ใช้ น้ำมันปาล์ม 50 กรัม อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 8:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2 % โดยน้ำหนัก และที่อุณหภูมิ 60 - 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนแมกนีเซียมออกไซด์ (KOH/MgO) และใช้ตัวทำละลายร่วมปีโตรเลียมอีเทอร์ (PE) การคำนวณหาร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ สามารถหาได้จากไฮโดรเจนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกตรัม (H^1 -NMR) ในรูปที่ ก.1 และ สมการที่ 1



รูปที่ ก.1 สเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลจากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ Yield} = \frac{100 \times [2 \times \text{integration value of } -\text{OCH}_3]}{[3 \times \text{integration value of } \alpha\text{-CH}_2]}$$

สมการที่ 1 สมการคำนวณหาร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

$$\text{จากสมการ } \% \text{ Yield} = 100 \times [(2 \times 2.398) / (3 \times 1.689)]$$

$$= 94.65 \%$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้