



ศึกษาการใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล
โดยมีการป้อนกลับแอลกอฮอล์

Study of Using CaO as Catalyst for Biodiesel Production with Refluxing Alcohol

พัชพันธ์ ภู่อกุล

Patthanun Phoosakul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Chemical Engineering

Prince of Songkla University

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ศึกษาการใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยมี
 การป้อนกลับแอลกอฮอล์

ผู้เขียน นายพัทธนันท์ ภู์สกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณาฐ ประเสริฐสิทธิ์) (รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณาฐ ประเสริฐสิทธิ์)

.....กรรมการ
 (ดร.สุธรรม สุขมณี)

.....กรรมการ
 (ดร.สุธรรม สุขมณี)

.....กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....
 (ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์คารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ศึกษาการใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยมีการ ป้อนกลับแอลกอฮอล์
ผู้เขียน	นายพัทธนันท์ ภู่สกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

การผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสแบบ
วิธีพ่นมีการศึกษาเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีข้อได้เปรียบกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอกพันธ์คือ ง่ายต่อการ
แยกออกจากผลิตภัณฑ์ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้
แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิธีพ่นในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน
สำหรับการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากมีราคาถูก และสามารถหาได้ง่าย โดยปัจจัยต่างๆ ที่ศึกษาได้แก่
สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์โดยมีปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก
น้ำมัน (x_1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (x_2) ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (x_3) และปริมาณน้ำในเมทานอล

ผลการทดลองพบว่า การใช้ CaO ระดับคุณภาพห้องปฏิบัติการได้สภาวะที่เหมาะสมในการ
ผลิตไบโอดีเซลคือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 360 นาที ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก
น้ำมัน ที่สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 15:1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา CaO
ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักน้ำมันซึ่งให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เป็น 87.19

ส่วนการใช้ CaO ระดับคุณภาพเชิงการค้าได้ใช้เทคนิค RSM แบบ CCD ในการหาสมการแสดง
ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์กับตัวแปรดำเนินการต่างๆพบว่า ได้ผลดัง
สมการ

$$y = -33.84 + 19.76x_2 + 0.24x_3 - 0.17x_1^2 - 2.12x_2^2 - 0.0005x_3^2 + 0.53x_1x_2 + 0.008x_1x_3$$

โดยให้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต คือใช้เวลา 407 นาที ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ
3 โดยน้ำหนักน้ำมัน ที่สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 21:1 และปริมาณตัวเร่ง
ปฏิกิริยา CaO ร้อยละ 7.34 โดยน้ำหนักน้ำมัน ซึ่งให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์จากการ
ทำนายโดยสมการความสัมพันธ์ และจากการทดลองเป็น ร้อยละ 86.94 และ 84.78 ตามลำดับ

(มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.48) นอกจากนี้พบว่าสามารถนำ CaO กลับมาใช้ซ้ำได้ถึง 10 ครั้ง โดย ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดต่ำลงจากการใช้ CaO เพียงครั้งเดียวเพียงเล็กน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 5)

Thesis	Study of Using CaO as Catalyst for Biodiesel Production with Refluxing Alcohol
Author	Mr. Patthanun Phoosakul
Department	Chemical Engineering
Academic year	2011

Abstract

Study of biodiesel production by transesterification reaction with heterogeneous catalyst is gaining attention these days. Since, heterogeneous catalyst is easier to separate from product and reusable when compare with homogeneous catalyst. In this study, CaO considered to use as heterogeneous catalyst in transesterification for biodiesel production due to its low price and availability. The effects of molar ratio of methanol to refined palm oil (x_1) with 3%wt (respected to oil) of water in methanol, amount of CaO catalyst (x_2), reaction time (x_3) and amount of water in methanol for biodiesel were studied in this work.

From the experimental, the suitable condition of using AR grade CaO was at 360 minutes reaction time, 3%wt of water respected to oil (in methanol), 15:1 molar ratio of methanol to refined palm oil and 2% CaO. This condition provided 87.19% methyl ester purity.

For using commercial CaO as catalyst, central composite design (CCD) in response surface methodology (RSM) technique was used to determine the relationship of studied parameter on the purity of methyl ester. The relation is that:

$$y = -33.84 + 19.76x_2 + 0.24x_3 - 0.17x_1^2 - 2.12x_2^2 - 0.0005x_3^2 + 0.53x_1x_2 + 0.008x_1x_3$$

According to this relation the optimum conditions when using commercial CaO as catalyst was 407 minutes reaction time, 3% water (in methanol) by wt. of oil, 21:1 molar ratio of methanol to refined palm oil and 7.34% CaO. Purities of methyl ester from equation and experiment were 86.94% and 84.78%, respectively (with 2.48% error). Furthermore, it was showed that can be reused approximately 10 times with less than 5% decreasing of purity.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากการสนับสนุน และได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากบุคคลหลายๆท่าน ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และดร.สุธรรม สุขมณี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษา คอยชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหา และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา อีกทั้งยังช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร กรรมการผู้แทนคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย ที่จัดสรรเงินทุนในการวิจัย รวมทั้งภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ โครงการสู่ความเป็นเลิศทางด้านวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนค่าเล่าเรียน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีความดีอยู่บ้าง ผู้จัดทำขอขอบให้ท่านทั้งหลายที่ได้กล่าวถึงข้างต้น ส่วนความบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้น ผู้จัดทำขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

พัทธนันท์ ภูัสกุล

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
2.1 ข้อมูลทั่วไปของไบโอดีเซล	4
2.1.1 ความหมายของไบโอดีเซล	4
2.1.2 วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลของไทย	5
2.2 การผลิตไบโอดีเซล	5
2.2.1 การใช้โดยตรงและการผสม	5
2.2.2 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)	5
2.2.3 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)	6
2.2.4 การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต	6
2.2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification)	7
2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)	7
2.3.1 ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	8
2.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base Catalyst)	8
2.3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst)	8
2.3.4 เอนไซม์ไลเปส (Lipase)	8
	(7)

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3.5 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyst)	8
2.4 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	9
2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	9
2.6 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเมื่อมีปริมาณน้ำในเมทานอลและมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น CaO	10
2.6.1. ขั้นตอนการเกิดเมทอกไซด์ไอออน (CH_3O^-)	10
2.6.2. ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	11
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	13
2.7.1 ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ	14
2.7.2 ผลของอัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน	14
2.7.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา	14
2.7.4 ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา	15
2.7.5 ผลของอัตราการกวนผสม	15
2.8 ข้อดีและข้อเสียของตัวเร่งปฏิกิริยา CaO	16
2.9 Response Surface Methodology (RSM)	16
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	23
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี	23
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทั่วไป	23
3.3 วิธีการวิจัย	24
3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มรีไฟน์ด้วยเทคนิคการไตเตรท	24

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3.2 การผลิตและการขึ้นชั้นสำหรับการนำ CaO มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอ- ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มรีไฟน์	25
3.3.3 ศึกษาผลของปริมาณน้ำในเมทานอลและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนิน ปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	26
3.3.4 ศึกษาผลของปริมาณน้ำในเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของ เมทิลเอสเทอร์	28
3.3.5 ศึกษาผลของสัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอล ที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	29
3.3.6 ศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของ เมทิลเอสเทอร์	31
3.3.7 ศึกษาผลการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของ เมทิลเอสเทอร์	33
3.3.8 การออกแบบพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM)	34
3.3.9 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอล ต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาที่ใช้ใน การดำเนินปฏิกิริยา ที่มีผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและบทวิจารณ์	38
4.1 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มรีไฟน์	38
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มรีไฟน์ด้วยเทคนิคการไตเตรท	39
4.3 การผลิตและการขึ้นชั้นสำหรับการนำ CaO มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับ กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมัน ปาล์มรีไฟน์	40

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.4 ผลการศึกษาปริมาณน้ำในเมทานอลและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	42
4.5 ผลการศึกษาปริมาณน้ำในเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	43
4.6 ผลการศึกษาสัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	44
4.7 ศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	45
4.8 ศึกษาผลการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	47
4.9 ผลของสภาวะดำเนินการต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	48
4.10 พื้นผิวตอบสนองต่อผลตัวแปรดำเนินการต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	52
4.10.1 ผลของสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (x_1) และระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (x_3)	53
4.10.2 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (x_2) และสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (x_1)	54
4.10.3 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (x_3) และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (x_2)	55
4.11 การหาค่าสภาวะดำเนินการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยมี CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	56
4.12 การเปรียบเทียบผลการใช้ KOH และ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	57
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	60

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บรรณานุกรม	62
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก วิธีการเตรียมสารละลายและตัวอย่างการคำนวณ	68
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ Gas chromatography (GC-FID)	74
ภาคผนวก ค ข้อมูลรายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองที่ได้จากโปรแกรม RSM	77
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Regression	80
ภาคผนวก จ วัคซีนคัพพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา	82
ภาคผนวก จ บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ	85
ประวัติผู้เขียน	92

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด และเอนไซม์	15
2-2	แสดงข้อดี-ข้อเสียในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดตัวเร่ง	16
3-1	ศึกษาผลกระทบของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละ ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	27
3-2	ศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำในเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของ เมทิลเอสเทอร์	28
3-3	ศึกษาผลกระทบของสัดส่วนเชิง โมลของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่มี ต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	30
3-4	ศึกษาผลกระทบของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของ เมทิลเอสเทอร์	32
3-5	แสดงรหัสตัวแปรและขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา	35
3-6	แสดงชุดการทดลองจากการออกแบบด้วย RSM เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนเชิง โมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ระยะเวลาที่ใช้ ในการดำเนินปฏิกิริยา ที่มีผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	36
4-1	แสดงร้อยละผล ได้ของเมทิลเอสเทอร์ที่สภาวะต่างๆ จากการออกแบบการ ทดลองด้วยเทคนิค RSM	49
4-2	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่มีรูปแบบสมการ แบบ Linear interaction	50
4-3	แสดงฟังก์ชันเป้าหมาย และขอบเขตในการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อหา ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	56

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-4	แสดงสถานะที่เหมาะสมของการผลิตไบโอดีเซลของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิด	58
ก-1	ข้อมูลดิบการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มรีไฟน์	70
ก-2	แสดงการคำนวณปริมาณของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่ใช้ในการทดลอง	71
ก-3	แสดงการคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง	72
ก-4	แสดงการคำนวณปริมาณน้ำในเมทานอลที่ใช้ในการทดลอง	73
ค-1	แสดงรายละเอียดสถานะที่ใช้ในการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค RSM	78
ค-2	แสดงการเปรียบเทียบร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง	79
ง-1	แสดงข้อมูลทางสถิติของแบบจำลองของร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	81

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
2-1	กระบวนการแตกสลายทางความร้อน	6
2-2	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์	7
2-3	กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์	9
2-4	แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเมื่อมีปริมาณน้ำในเมทานอลและมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น CaO	11
2-5	แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเมื่อมีปริมาณน้ำในเมทานอลและมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น CaO	12
2-6	ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)	13
2-7	ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	13
3-1	ชุดการทดลองปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มรีไฟน์	26
4-1	ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่อุณหภูมิห้อง	38
4-2	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบชั้นบาง	39
4-3	โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์มาตรฐาน ($C_8 - C_{24}$).	41
4-4	โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ปริมาณ CaO เป็นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 12:1 อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C	41
4-5	แสดงผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ สภาวะในการทดลองคือ ปริมาณ CaO เป็นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมล เมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม รีไฟน์เป็น 12:1 อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C	42

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
4-6	แสดงผลกระทบของน้ำในเมทานอลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ สภาวะในการทดลองคือ ปริมาณ CaO เป็นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 12:1 อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C	43
4-7	แสดงผลกระทบของสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่ส่งผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยมีสภาวะการทดลอง คือ ปริมาณ CaO เป็นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C	44
4-8	แสดงผลกระทบของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยมีสภาวะการทดลองคือ ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 15:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C	45
4-9	แสดงผลกระทบของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณการเกิดสบู่ โดยมีสภาวะการทดลองคือ ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 15:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C	47
4-10	แสดงการใช้ซ้ำของ CaO เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยมีสภาวะการทดลองคือ ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 15:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C	48

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
4-11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนายโดยใช้แบบจำลอง Linear interaction	51
4-12	กราฟพื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (x_1) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (x_3) ต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	53
4-13	กราฟพื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (x_2) และสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (x_1) ต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	54
4-14	กราฟพื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (x_3) และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (x_2) ต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	55

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันจากพืช หรือไขมันจากสัตว์ โดยไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (biodegradable) และไม่มีพิษ (Nontoxic) ดังนั้นจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับยานพาหนะได้ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด อีกทั้งยังช่วยรักษาสภาพเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้นานกว่าอีกด้วย เนื่องจากออกซิเจนในไบโอดีเซลให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีควันดำและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ช่วยลดมลพิษทางอากาศ รวมทั้งลดการอุดตันของระบบไอเสีย เนื่องจากองค์ประกอบของไบโอดีเซลไม่มีธาตุกำมะถัน แต่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จึงช่วยการเผาไหม้ได้ดีขึ้น และลดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และฝุ่นละออง ไบโอดีเซลจึงได้รับความสนใจอย่างยิ่ง (Kandpal and Madan, 1994)

วัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันพืช และน้ำมันพืชใช้แล้ว และไขมันสัตว์ อาทิ น้ำมันปาล์ม มะพร้าว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ละหุ่ง งา และทานตะวัน แต่ยังมีพืชน้ำมันอีกชนิดหนึ่งที่มีการส่งเสริมให้นำมาใช้ผลิตเป็นไบโอดีเซลมากขึ้น ได้แก่ สบู่ดำ เนื่องจากในเมล็ดของสบู่ดำ มีปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 52.8 ของน้ำหนักเนื้อใน และในน้ำมันสบู่ดำมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง กล่าวคือ มีปริมาณกรดโอเลอิกร้อยละ 44.8 และกรดไลโนเลอิกร้อยละ 34.0 ซึ่งส่งผลให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความหนืดที่เหมาะสมและมีคุณภาพดี นอกจากนี้การนำสบู่ดำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลยังไม่เป็นการแย่งตลาดของน้ำมันที่ใช้บริโภค เนื่องจากน้ำมันสบู่ดำไม่สามารถนำมาบริโภคได้ (Kandpal and Madan, 1994)

ขณะเดียวกัน ปาล์มน้ำมันก็เป็นพืชน้ำมันที่น่าสนใจนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ทั้งนี้เพราะปาล์มเป็นพืชที่ปลูกกันมากอยู่แล้ว แต่ละปีประเทศไทยมีผลผลิตของปาล์มจำนวนมาก โดยทั่วไปน้ำมันปาล์มมีทั้งกรดไขมันไม่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลัก กล่าวคือ มีกรดปาล์มมิติกร้อยละ 42.6 และกรดโอเลอิกร้อยละ 40.5 (Demirbas, 2002) การที่มีกรดไขมันไม่

อิ่มตัวมาก จะช่วยให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอัลคิลเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated alkyl ester) ซึ่งเป็นไบโอดีเซลที่มีคุณภาพดี มีความหนืดไม่เกินมาตรฐานสากล อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตไบโอดีเซลโดยมากมักขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการหาวัตถุดิบและราคาของวัตถุดิบเป็นสำคัญ

การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันสามารถใช้ทั้งเบส กรด และ เอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Du et al., 2004; Vicent and Coteron, 1998) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสนั้นมีด้วยกัน 2 ประเภท คือ 1) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดดิวีวิฟพันซ์ 2) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอกพันธ์ (Ma and Hanna, 1999) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอกพันธ์ที่นิยมใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และแอลกอฮอล์ของหมู่ 1 และ 2 ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสชนิดเอกพันธ์เป็นตัวเร่งที่เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Vicente et al., 2004) อย่างไรก็ตามก็ต้องสิ้นเปลืองปริมาณน้ำจำนวนมากเพื่อกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากไบโอดีเซลหลังปฏิกิริยาสิ้นสุด (Ebiura et al., 2005; Hak et al., 2004 and Dorado et al., 2004)

ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสชนิดดิวีวิฟพันซ์มีประโยชน์หลายอย่างเช่นกัน เช่น ไม่มีการกักร้อนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีการจัดการกับปัญหาของตัวเร่งชนิดนี้น้อยกว่า อีกทั้งยังง่ายต่อการแยกออกจากผลิตภัณฑ์ที่มีสถานะเป็นของเหลว สามารถออกแบบให้ตัวเร่งมีความว่องไวสูง มีความจำเพาะเจาะจงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง (Gryglewicz, 1999) ในปัจจุบันมีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดดิวีวิฟพันซ์เป็นจำนวนมากที่สามารถนำไปใช้กับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนน้ำมันพืชไปเป็นไบโอดีเซล เช่นออกไซด์ของโลหะหมู่ 2 (Alkaline earth oxide) ออกไซด์ของโลหะหมู่ 2 บนอลูมินัมหรือซิลิโคไซด์ (Xie and Peng, 2006; Suppes et al., 2004; Cantrell et al., 2005) อย่างไรก็ตามการขับพดตัวเร่งเบสลงบนตัวรองรับนั้นง่ายต่อการถูกเมทานอลทำให้เสื่อมสภาพการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและยังมีการนำไปใช้ซ้ำได้น้อยครั้งอีกด้วย

เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลส่วนใหญ่จะใช้แอลกอฮอล์มากเกินไป ซึ่งถ้าในระหว่างกระบวนการผลิตได้มีการป้อนกลับแอลกอฮอล์แล้ว ก็น่าจะเป็นการลดปริมาณแอลกอฮอล์ที่มากเกินไป อันเป็นการลดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งแอลกอฮอล์ไม่ระเหยออกจากระบบจึงเป็นการป้องกันการเกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมภายนอกอีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยในครั้งนี้สนใจที่จะศึกษาการนำ CaO มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลโดยมีการป้อนกลับแอลกอฮอล์ เพื่อให้ทราบว่า การใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลทำได้หรือไม่ ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตไบโอดีเซลสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลในการใช้ CaO สำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบมีการป้อนกลับแอลกอฮอล์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำ CaO มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
2. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันต่อไป

ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ซึ่งใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอ์

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันสูง ทำให้มีต้นทุนการผลิตและราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายทั้งในสินค้าอุปโภคและบริโภค ส่วนแบ่งการผลิตน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันพืชของโลกจึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ซึ่งปาล์มน้ำมันเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้น จัดอยู่บริเวณใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงเจริญเติบโตได้ดีในภาคใต้ของประเทศบริเวณพื้นที่ที่ปลูกมากที่สุด คือจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง โดยจังหวัดกระบี่ ปลูกมากที่สุดจำนวน 537,637 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 39 และรองลงมาได้แก่จังหวัดสุราษฎร์ธานี 405,213 ไร่ และจังหวัดชุมพร 216,798 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 30 และ 16 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผลตอบแทนการปลูกปาล์มน้ำมันดีกว่าการปลูกพืชชนิดอื่น เช่น ยางพารา และการทำนาข้าว จึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูก ประกอบกับมีโครงการเปลี่ยนพื้นที่ปลูกปาล์มทั่วประเทศ คาดว่าปริมาณความต้องการน้ำมันปาล์มภายในเพิ่มขึ้นมากทั้งนี้เพราะราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้ความแตกต่างของราคาภายในและภายนอกประเทศไม่จูงใจให้มีการลักลอบเข้ามาบริโภคทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงเช่นกัน

ที่มา: พืชไร่เศรษฐกิจ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรมหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์ กรมวิชาการเกษตร

2.1 ข้อมูลทั่วไปของไบโอดีเซล

2.1.1 ความหมายของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล หมายถึง สารประกอบโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Mono-alkyl ester) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ของน้ำมันพืช หรือสัตว์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Alcohol) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด หรือเบส และได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ (Ester) กับผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้กลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเราจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์นี้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เพราะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์

2.1.2 วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลของไทย

วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันสัตว์ ซึ่งในการพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้ต้องคำนึงถึง ราคา ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชชนิดนั้น และความเหมาะสมของปริมาณการปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้นด้วย สำหรับประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชน้ำมันหลัก 6 ชนิด คือ ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วลิสง งา และละหุ่ง ในจำนวนพืชน้ำมันทั้ง 6 ชนิดนี้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด รองลงมาคือ มะพร้าว นอกจากนี้ทั้ง 6 ชนิดนี้แล้ว ยังมีแหล่งน้ำมันอื่นๆ เช่น สนุ่น น้ำมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งวัตถุดิบพืชน้ำมันที่มีความเหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันมีจำนวน 3 ชนิด คือ ปาล์ม น้ำมัน สนุ่น และ น้ำมันใช้แล้ว

2.2 การผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้หลายวิธี ดังนี้

2.2.1 การใช้โดยตรงและการผสม

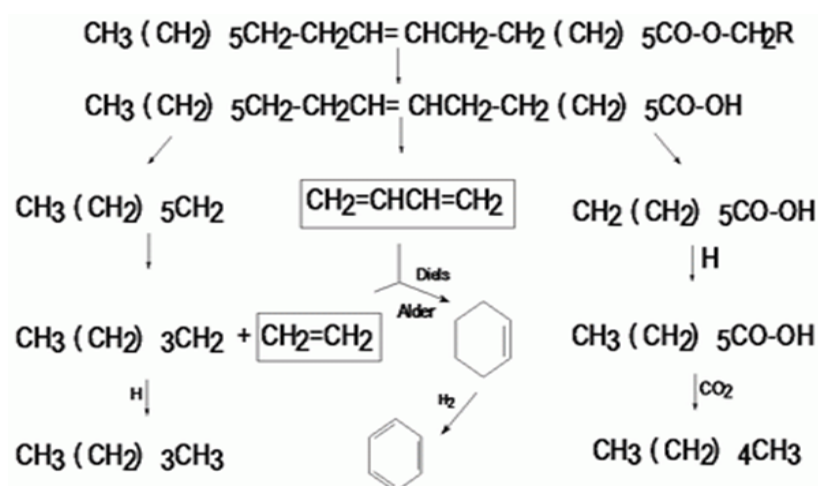
การใช้โดยตรงคือ น้ำมัน ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันหมู ซึ่งสามารถนำเอามาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสมหรือผสมสารเคมีอื่นหรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน ส่วนแบบผสมคือเป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลหรืออื่นๆ เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น โคโคดีเซลที่ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเป็นการผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือที่เรียกปาล์มดีเซล (กองบรรณาธิการ, 2548)

2.2.2 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

ไมโครอิมัลชัน คือ คอลลอยด์ที่กระจายตัวในสถานะสมดุล โดยมีอนุภาคในคอลลอยด์ส่วนมากอยู่ในช่วง 1-150 นาโนเมตร ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งเพื่อแก้ปัญหาความหนืดสูงในน้ำมันพืชให้มีค่าความหนืดลดลง โดยใช้ควบคู่กับตัวทำละลายเช่น เมทานอล เอทานอล และ 1- บิวทานอล (Srivasayava and Prasad, 1999) ไมโครอิมัลชันที่เกิดจากเมทานอลกับน้ำมันพืชจะได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่เมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่ามีการสะสมตัวของคราบ (ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอน) เกาะรอบๆ หัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นข้อเสียของน้ำมันที่ผลิตโดยวิธีนี้ (Ma and Hanna, 1999)

2.2.3 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนจากสารประกอบหนึ่งชนิดไปเป็นสารประกอบอื่นๆมากกว่าหนึ่งชนิด โดยใช้ความร้อนหรือใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้ต้องจำกัดปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการประมาณ 450-600 องศาเซลเซียส สารประกอบที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งกระบวนการนี้ยากที่จะกำหนดหรือควบคุมให้ได้ผลิตตามที่ต้องการเนื่องด้วยความหลากหลายทางปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ วัตถุประสงค์ที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ (Natural Fatty Acid) และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Ma and Hanna, 1999) กลไกของกระบวนการแตกสลายทางความร้อนแสดงในภาพประกอบที่ 2-1



ภาพประกอบที่ 2-1. กระบวนการแตกสลายทางความร้อน

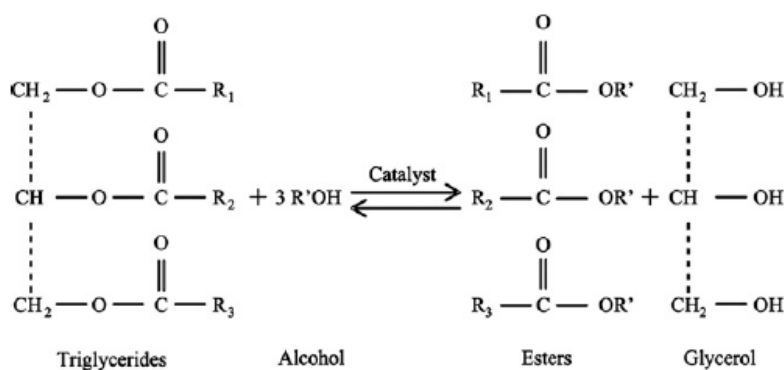
ที่มา: Srivasyava and Prasad (1999)

2.2.4 การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต

เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวิธีนี้เป็นการนำเอาน้ำมัน วัตถุประสงค์มาทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤตใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย พร้อมทั้งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกล่าวคือ ไม่มีของเสียจากกระบวนการแต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะต้องใช้อุณหภูมิและความดันในระดับที่ค่อนข้างสูงประมาณ 512.2 เคลวิน และ 8.1 เมกะปาสกาล ตามลำดับ เพื่อต้องทำให้เมทานอลอยู่ในสถานะเหนือวิกฤต (Demirbas, 2002)

2.2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification)

กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยมีตัวเร่งในปฏิกิริยา (Ma and Hanna, 1999) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-2 ตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น (Agarwal, 2006)



ภาพประกอบที่ 2-2.ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์
ที่มา: Ma and Hanna (1999)

2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลมีทั้งกรดและเบส ตัวอย่างของกรดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้แก่ กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก และกรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น โดยมักใช้ในกรณีที่น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่นำมาผลิตไบโอดีเซลมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง สำหรับเบสที่มีการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ โพตัสเซียมเมทอกไซด์ โซเดียมเอไมด์ และโพตัสเซียมเอไมด์ เป็นต้น ซึ่งเมื่อพิจารณาตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองประเภทพบว่าในกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำมันไบโอดีเซลทั่วโลกมักใช้เบสในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากสามารถเร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไบโอดีเซลและกลีเซอรอลที่ได้สามารถแยกจากกันได้ง่ายเนื่องจากมีความหนาแน่นต่างและสภาพขั้วที่แตกต่างกัน โดยกลีเซอรอลจะมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซล ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้อจึงเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสคือ แคลเซียมออกไซด์ มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

2.3.1 ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีขึ้น โดยชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้ดังนี้ (Marchetti et al., 2005)

2.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base Catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่ใช้กันโดยทั่วไปได้แก่โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งควรใช้ทำปฏิกิริยากับเมทานอลหรือเอทานอล โดยน้ำมันที่ใช้จะเป็นชนิดใดก็ได้เช่น น้ำมันดิบ (Crude Oil) น้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น ก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันควรเปลี่ยนจากรูปเบส (NaOH, KOH) ไปเป็นในรูปของสารประกอบ อัลคอกซี (alcoxy) ก่อน สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสนี้จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) ในปริมาณที่สูงด้วย (Ma and Hanna, 1999) ส่วนข้อจำกัดตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสคือ น้ำ และ ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบ (Free Fatty Acid) ถ้ามีน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในระบบของการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมากจะทำให้มีสบู่เกิดขึ้นแทนที่จะได้น้ำมัน ไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์ (Agarwal, 2006)

2.3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst)

กรดที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะทำให้ได้ผลผลิตคือน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมากแต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก อาจจะใช้เวลามากกว่า 1 วัน ในการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้เช่น ในน้ำมันที่ใช้แล้วเป็นต้น (Fukuda et al., 2001)

2.3.4 เอนไซม์ไลเปส (Lipase)

เอนไซม์ไลเปสถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ เช่นกระบวนการไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) และ แอซิโดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปสคือสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ไม่มีของเสียออกมาจากกระบวนการ ข้อเสียของเอนไซม์คือมีราคาค่อนข้างแพง (Fukuda et al., 2001)

2.3.5 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyst)

เป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวในระบบ เช่น ZrO_2 ZnO KNO_3/ZrO_2 KNO_3/KL zeolite เป็น

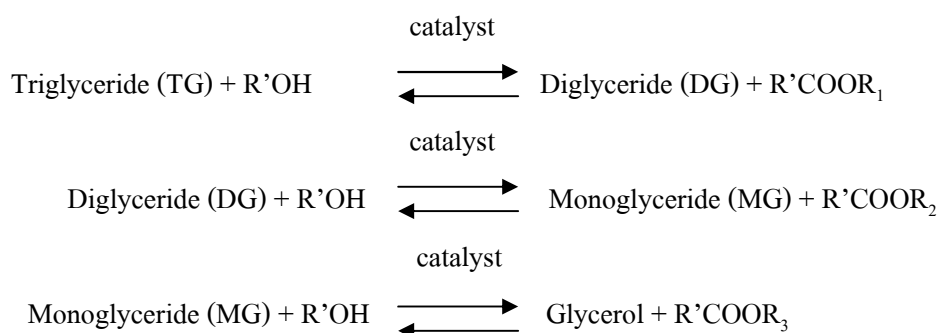
ต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งในระบบที่มีน้ำในปฏิกิริยา (Jitputti et al., 2005)

2.4 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และ บิวทานอล โดยเฉพาะเมทานอลถูกใช้มากที่สุดเพราะมีราคาถูก สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็วและสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดีเนื่องจากเป็นโมเลกุลมีขนาดเล็ก สำหรับปริมาณที่ใช้ตามสัดส่วนของปฏิกิริยาเคมีพบว่า เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3:1 แต่ในทางปฏิบัติต้องใช้อัตราส่วนที่มากกว่านั้น โดยหลังปฏิกิริยาสิ้นสุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของผสมระหว่าง เอสเตอร์ แอลกอฮอล์ กลีเซอรอล ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และตัวเร่งปฏิกิริยา และพบว่าถ้าไบโอดีเซลมีส่วนผสมของ โมโนกลีเซอไรด์มากจะทำให้ไบโอดีเซลเกิดการแข็งตัวง่าย ทั้งนี้ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่ในไบโอดีเซลก็จะทำให้จุดหมอกควัน (Cloud Point) และจุดไหลเท (Pour Point) มีค่าสูงขึ้นด้วย (Ma and Hanna, 1999)

2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ 3 ขั้นตอนย่อย โดยเริ่มจากไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์ตามลำดับและสุดท้ายได้เป็น เอสเตอร์กับกลีเซอรอล ซึ่งแต่ละขั้นตอนย่อยจะได้ เอสเตอร์ 1 โมล ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-3



ภาพประกอบที่ 2-3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์

2.6 ปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเมื่อมีปริมาณน้ำในเมทานอลและมีตัวเร่งปฏิกริยาเป็น CaO

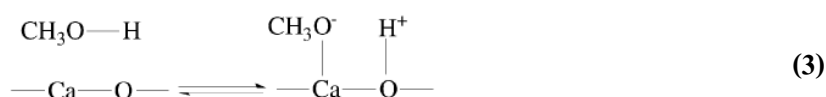
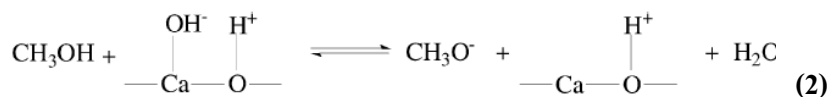
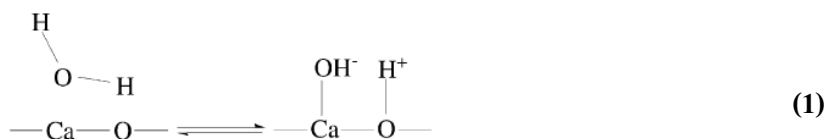
โดยทั่วไปน้ำจะส่งผลกระทบต่อร้อยละความบริสุทธิ์และร้อยละผลได้ของไบโอดีเซล โดยจะส่งผลให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลและร้อยละผลได้ลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกริยาข้างเคียงของน้ำกับไตรกลีเซอไรด์เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ และสามารถทำปฏิกริยาต่อกับเบสในระบบได้เป็นสาเหตุปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันตัวเร่งปฏิกริยาเป็น CaO

ขั้นตอนแสดงกลไกปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเมื่อมีปริมาณน้ำในเมทานอล

2.6.1. ขั้นตอนการเกิดเมทอกไซด์ไอออน (CH_3O^-)

2.6.1.1 การเกิดปฏิกริยาโมเลกุล CaO มีออกไซด์ไอออน (O^{2-}) ซึ่งทำหน้าที่ให้คู่อิเล็กตรอนกับไฮโดรเนียมไอออน (H^+) ซึ่งเป็นไอออนที่ได้จากกระบวนการแตกตัวของน้ำ โดยแสดงกลไกดังภาพประกอบที่ 2-4 ขั้นที่ 1

2.6.1.2 โมเลกุลเมทานอลในระบบเกิดปฏิกริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนจากขั้นที่ 1 เกิดการแตกพันธะระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจน ($\text{O}-\text{H}$) เนื่องจากเมทานอลมีความเป็นกรดมากกว่าเมื่อเทียบกับไฮดรอกไซด์ไอออน เมื่อพันธะแตกออกจะได้เมทอกไซด์ไอออนและน้ำ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-4 ขั้นที่ 2 เมทอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นมีความแรงของเบสสูง เนื่องจากแตกตัวจากกรดอ่อน (เมทานอล) อีกทั้งยังมีความว่องไวสูง (Ma and Hanna, 1999) นอกจากนี้ ออกไซด์ไอออนยังสามารถทำปฏิกริยากับโมเลกุลของเมทานอล โดยการดึงไฮโดรเนียมไอออนออกจากโมเลกุลเมทานอล ได้เมทอกไซด์ไอออนเช่นเดียวกันแสดงดังภาพประกอบที่ 2-4 ขั้นที่ 3



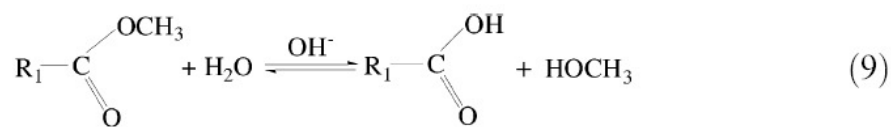
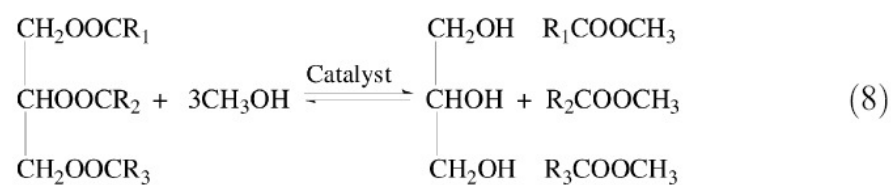
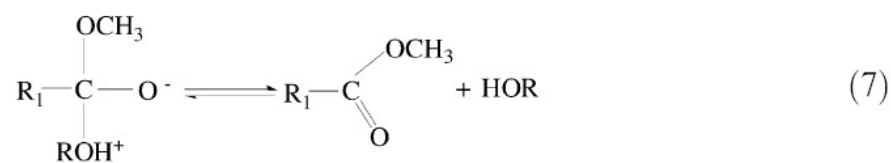
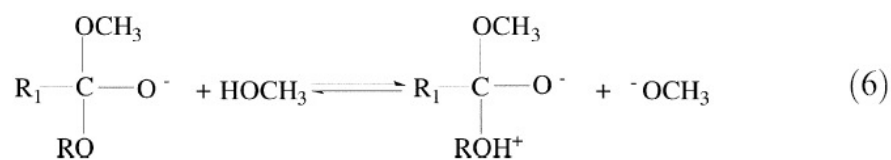
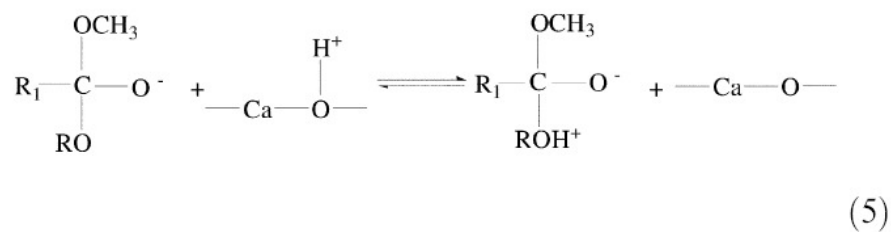
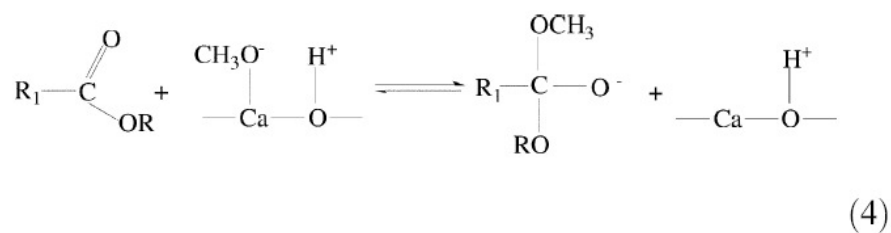
ภาพประกอบที่ 2-4 แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเมื่อมีปริมาณน้ำในเมทานอลและมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น CaO
ที่มา: Ma and Hanna (1999)

2.6.2. ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

2.6.2.1 เมทอกไซด์ไอออนเข้าจับตรงตำแหน่งคาร์บอนิลคาร์บอนอะตอมของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ได้สารมัธยันต์มีรูปร่างแบบทรงสี่หน้าแสดงดังภาพประกอบที่ 2-5 ขั้นที่ 4

2.6.2.2 สารมัธยันต์จากขั้นที่ 4 รับโปรตอนจากแคลเซียมออกไซด์และสารมัธยันต์นี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับเมทานอลได้เมทอกไซด์ไอออนด้วย แสดงดังภาพประกอบที่ 2-5 ขั้นที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

2.6.2.3 สารมัธยันต์มีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นโมเลกุลไบโอดีเซลและกลีเซอรอลแสดงดังภาพประกอบที่ 2-5 ขั้นที่ 7 (Ma and Hanna, 1999)



ภาพประกอบที่ 2-5 แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเมื่อมีปริมาณน้ำในเมทานอลและมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น CaO

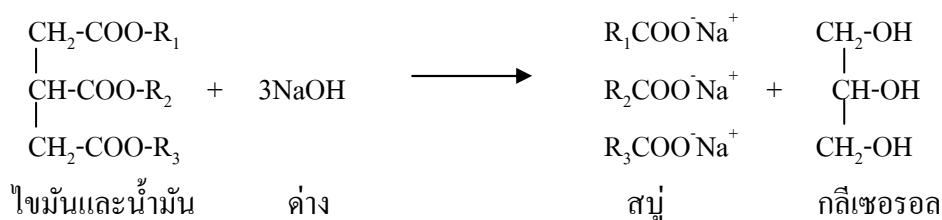
ที่มา: Ma and Hanna (1999)

2.7. ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

2.7.1 ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส) แอลกอฮอล์และกลีเซอไรด์ที่ใช้ต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสมเพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ในระหว่างการทำปฏิกิริยาดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-6

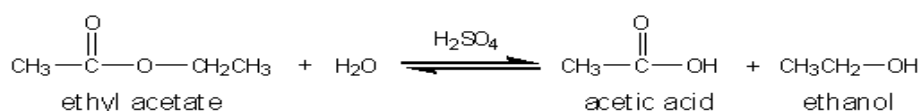
สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง และทำให้น้ำมันไบโอดีเซลมีความหนืดสูงขึ้น โดยน้ำมันมีลักษณะเป็นเจล ซึ่งยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอล



ภาพประกอบที่ 2-6. ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)

ที่มา: Waste Management and Research Center (2006)

จากภาพประกอบที่ 2-7 ปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเกิดสบู่ได้นอกจากน้ำแล้วยังมีกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบ ดังนั้นการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงควรใช้น้ำมันวัตถุดิบที่มีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไป ลง (Ramsdhas et al., 2005) แต่สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่ค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาลดค่าความเป็นกรดก่อนโดยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรด (Acid esterification) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-7 แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ (Ramadhas et al., 2005)



ภาพประกอบที่ 2-7 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

ที่มา: Khan (2002)

2.7.2 ผลของอัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล (Agarwal, 2006) เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน โดยในภาพประกอบที่ 2-6 สัดส่วนที่ใช้ในปฏิกิริยา คือ 3 โมลของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นยังใช้อัตราส่วนมากเท่าไรก็จะทำให้ได้เอสเตอ์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นเท่านั้นและภายในเวลาที่สั้นลงด้วย อัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ถูกรู้ใช้ในการกระบวนการอุตสาหกรรมพบว่าได้เมทิลเอสเตอ์มากกว่าร้อยละ 98 (Fukuda et al., 2001)

2.7.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งสามารถแบ่งได้เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด หรือ เอนไซม์ กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่ง แต่อย่างไรก็ตาม กรดที่มิกรดไขมันมันอิสระในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ด้วยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า (Ma and Hanna, 1999) โดยในตารางที่ 2-1 จะแสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5- 1 โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ (Yield) ร้อยละ 94-99 การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบสไม่ได้เป็นการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์ (Agarwal, 2006)

ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์

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

ที่มา: Marchetti et al. (2005)

2.7.4 ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน (Meher et al., 2004)

ส่วนอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันอย่างมาก (Agarwal, 2006) อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอ ปฏิกิริยาก็สามารถเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้องได้ แต่โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้เช่น ถ้าใช้เมทานอล อุณหภูมิที่ใช้คือ 60-70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)

2.7.5 ผลของอัตราการกวนผสม

การกวนผสมนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เพราะน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกันปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจึงจะเกิดและได้เป็นไบโอดีเซล (Meher et al., 2004)

2.8 ข้อดีและข้อเสียของตัวเร่งปฏิกิริยา CaO

ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสชนิดวิวิธพันธุ์มีประโยชน์หลายอย่างเช่นกัน เช่น ไม่มีการกักคร่อนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีการจัดการกับปัญหาของตัวเร่งชนิดนี้น้อยกว่า อีกทั้งยังง่ายต่อการแยกออกจากผลิตภัณฑ์ที่มีสถานะเป็นของเหลว สามารถออกแบบให้ตัวเร่งมีความว่องไวสูง มีความจำเพาะเจาะจงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง (Gryglewicz, 1999; Tanabe and Holderich, 1999). ในปัจจุบันมีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์เป็นจำนวนมากที่สามารถนำไปใช้กับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนน้ำมันพืชไปเป็นไบโอดีเซล ยกตัวอย่างเช่น โลหะ alkaline earth (หมู่ 2) ออกไซด์ support ออกไซด์ของโลหะหมู่ 2 บนอะลูมินาหรือซีโลไรต์ (Xie and Peng, 2006; Suppes et al., 2004; Tsuji et al., 1994; Cantrell et al., 2005) อย่างไรก็ตาม การขับพอตตัวเร่งเบสลงบนตัวรองรับนั้นง่ายต่อการถูกเมทานอลทำให้เสื่อมสภาพการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และยังมีการนำไปใช้ซ้ำได้น้อยครั้งอีกด้วย

ตารางที่ 2-2 แสดงข้อดี – ข้อเสีย ในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูง 2. สภาพที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไม่รุนแรง 3. ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำกลับมาใช้ได้หลายครั้ง 4. ราคาถูก	1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำ 2. ใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยา (ประมาณ 6-24 ชั่วโมง)

2.9 Response Surface Methodology (RSM)

งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิค RSM มาใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรดำเนินการต่างๆ ตามหลักสถิติ โดยมีรายละเอียดและประโยชน์ของเทคนิค RSM ดังนี้

2.9.1 ความหมายของ RSM

RSM คือ การรวบรวมข้อมูลทางสถิติและเทคนิคทางคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพและการหาจุดที่เหมาะสมของกระบวนการซึ่ง RSM ประกอบด้วยกลุ่มของตัวแปรตามหลักการทางคณิตศาสตร์และสถิติ โดยจะใช้หลักการเหล่านี้ใน

การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองและตัวแปรอิสระ โดย RSM ประกอบขึ้นมาจากผลของตัวแปรอิสระซึ่งอาจมีเพียงตัวเดียวหรือหลายตัว สำหรับการวิเคราะห์ของตัวแปรอิสระที่ได้จากผลการทดลองนั้นจะถูกนำมาสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของผลตอบสนองในรูปแบบของพื้นผิวตอบสนอง (Response surface) โดยความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองที่ได้กับข้อมูลดิบแสดงดังสมการที่ (2-1)

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \quad (2-1)$$

เมื่อ y คือ ผลตอบสนอง (Response) ที่เกิดขึ้น
 x_1, x_2, \dots, x_n คือ ตัวแปรอิสระซึ่งจะถูกเรียกว่าตัวแปรธรรมชาติด้วย
 n คือ จำนวนของตัวแปรอิสระ
 ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นซึ่งเกิดมาจากแหล่งต่างๆ ซึ่งไม่สามารถถูกรวบรวมเอาไว้ใน f ได้ซึ่งแหล่งที่ว่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบ เช่น ค่าการวัดผิดพลาดโดยที่จะถูกคาดคะเนด้วยค่า ε ซึ่งมีการกระจายตัวด้วยค่าเฉลี่ยศูนย์และค่าความแปรปรวน

2.9.2 การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิค RSM

ในการออกแบบการทดลองขั้นตอนตามรายละเอียดดังนี้

2.9.2.1 การกำหนดตัวแปรที่จะศึกษาซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ในกระบวนการทางเคมีและทางชีวเคมีสามารถได้รับผลกระทบจากกระบวนการต่างๆ มากมาย เพราะเป็นไปไม่ได้ที่จะระบุผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้จากทุกตัวแปรที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความจำเป็นในการเลือกตัวแปรบางตัวที่สร้างผลกระทบได้โดยตรงออกมา การคัดเลือกโดยการทดลองนั้นมีความสำคัญในการระบุตัวแปรอิสระ โดยหลังจากทำการทำการระบุตัวแปรสำคัญต่างๆ แล้วจะสามารถกำหนดทิศทางการพัฒนารูปแบบขึ้นซึ่งจะสามารถระบุระดับความสำคัญของตัวแปรต่างๆ ขึ้นมาได้ การระบุความสำคัญของตัวแปรต่างๆ นั้นมีความสำคัญเพราะความสำเร็จของกระบวนการหาจุดที่เหมาะสมนั้นเกี่ยวข้องกับสิ่งนี้โดยตรง ซึ่งความผิดพลาดในการระบุระดับความสำคัญนั้นส่งผลถึงความผิดพลาดในการระบุจุดที่เหมาะสมได้

2.9.2.2 กำหนดรหัส (Code) ของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการออกแบบสถานะที่ใช้ในการทดลองโดยวิธีการ Central Composite Design (CCD) และทำการแปลงค่ารหัสตัวแปรอิสระ (Coded variables) ที่ได้ออกแบบไว้เป็นตัวแปรเดิมโดยใช้สมการที่ (2-2) ซึ่งในการ

ดำเนินการนี้จะต้องทราบถึงค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของตัวแปรอิสระที่สนใจศึกษาก่อนที่จะทำการแปลงค่ารหัส

$$X = \left[\begin{array}{c} \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \\ \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2} \end{array} \right] \quad (2-2)$$

เมื่อ	X	คือ Coded variables
	x	คือ ตัวแปรอิสระ
	x_{\max}	คือ ค่าสูงสุดของตัวแปรอิสระ
	x_{\min}	คือ ค่าต่ำสุดของตัวแปรอิสระ

2.9.2.3 ทำการทดลองตามสภาวะการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ด้วยใช้เทคนิค RSM และการแปลงรหัสของตัวแปรอิสระแต่ละตัว เพื่อให้ได้มาซึ่งผลตอบสนองของแต่ละการทดลองจนครบตามจำนวนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้

2.9.2.4 แสดงผลของตัวแปรอิสระต่างๆ ที่ได้จากการทดลองในรูปผลตอบสนองและทำการหาแบบจำลองในรูป Surface plot โดยใช้โปรแกรม Regression Analysis ซึ่งแบบจำลองที่ได้จะอยู่ในรูปแบบสมการกำลังสอง (Quadratic equation) ดังแสดงได้ในสมการที่ (2-3)

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \left[\sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j \right]_{i < j} \quad (2-3)$$

เมื่อ β_0 , β_i , β_{ii} และ β_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ถดถอยทั้งแบบเชิงเส้นและแบบกำลังสอง และสัมประสิทธิ์เชิงซ้อน ตามลำดับ

2.9.3 ประโยชน์ของเทคนิค RSM

เทคนิค RSM มีประโยชน์มากถ้าเปรียบเทียบกับระหว่างการทำค่าที่เหมาะสมในการทดลองโดยวิธีดั้งเดิมกับ RSM โดยข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ จำนวนชุดการทำลองที่ออกแบบโดยใช้ RSM นั้นมีจำนวนที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรออกแบบการทดลองแบบดั้งเดิมเพราะ

RSM นั้นจะนำมาเสนอข้อมูลจำนวนมากจากการทดลองเพียงไม่กี่ครั้ง ซึ่งต่างจากการทดลองในแบบดั้งเดิมที่จะใช้จำนวนการทดลองที่มากกว่าเพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมของระบบ และเทคนิค RSM มีความเป็นไปได้ที่จะเจอผลกระทบที่มีลักษณะเป็น Interactive effect จากตัวแปรอิสระ โดยเฉพาะกระบวนการทางชีวเคมี นอกจากนี้สมการแบบจำลองอย่างง่าย RSM จะเพิ่มความเข้าใจต่อผลที่เกิดจากการผสมกันของตัวแปรอิสระต่างๆ เมื่อสังเกตสมการผ่านการทดลองต่างๆ ก็จะพบว่าข้อมูลของตัวแปรอิสระต่างๆ ที่ได้กับผลตอบสนองนั้นมีความสอดคล้องกัน จึงกล่าวได้ว่า RSM เป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์สำหรับการหาจุดที่เหมาะสมของกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางชีวเคมี

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liu et al., (2008a) ในการทดลองนี้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ CaO ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาถูกเสนอและศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังนี้ คือ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนเชิงมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมัน และปริมาณน้ำในเมทานอล ผลการทดสอบแสดงว่าสภาวะที่ให้ผลดีที่สุดคือ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 8 ที่อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา 65°C และปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 2.03 โดยร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมงจะมากกว่าร้อยละ 95 อายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยา CaO จะนานกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด $K_2CO_3/\gamma-Al_2O_3$ และ $KF/\gamma-Al_2O_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา CaO จะยังคงมีความว่องไวคงเดิมแม้ว่าจะมีการใช้ซ้ำ 20 ครั้ง และจะไม่ส่งผลมากนักต่อร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่เวลา 1.5 ชั่วโมงในการทำการทดลองซ้ำ

Liu et al., (2008b) ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแคลเซียมเมทอกไซด์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธ์ โดยใช้เทคนิค BET, SEM และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค เป็นต้น โดยผลการทดลองพบว่าแคลเซียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธ์ที่ดี เนื่องจากมีความว่องไวสูง จำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่สูงและความเสถียรของตัวเร่งสูงแม้ว่าจะใช้ในสารละลายอินทรีย์ก็ตาม อีกทั้งยังศึกษาการนำแคลเซียมเมทอกไซด์มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองและเมทานอลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C เวลาใน

การทำปฏิกิริยาเป็น 2 ชั่วโมง โดยให้ร้อยละผลได้สูงสุดเป็นร้อยละ 98 จำนวนครั้งในการนำตัวเร่งกลับมาใช้ใหม่คือ 20 ครั้ง

Huaping et al., (2006) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชซึ่งเป็นสารตั้งต้น โดยมีแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (CaO) ซึ่งในขั้นต้นมีการเตรียม CaO มาทำปฏิกิริยาการสลายแอมโมเนียมคาร์บอเนต ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) และนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง (900 องศาเซลเซียส) จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นกว่าเดิม (ความแรงของเบส (Basic strength) มากกว่า 26.5 ซึ่งโดยปกติตัวเร่งปฏิกิริยา CaO จะมีความแรงของเบสอยู่ที่ 17.2 – 18.4) หลังจากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเตรียมข้างต้นมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน พบว่าให้สถานะที่เหมาะสมคือ สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 9:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักน้ำมัน ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 2.5 ชั่วโมง โดยให้ร้อยละผลของเมทิลเอสเตอร์เป็น 93

Demirbas (2006) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้ น้ำมันดอกทานตะวันและมีแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (CaO) โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตไบโอดีเซล เช่นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่ใช้และเปรียบเทียบกับเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์มีความว่องไวต่ำเมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิที่ 335 K ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลได้เพียงร้อยละ 5 ในเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 1 จนถึงร้อยละ 3 จะทำให้ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและลดลงเมื่อเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 5 สำหรับสัดส่วนเชิงโมลเป็น 1:41 เป็นสัดส่วนเชิงโมล เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็น 525 K ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันใช้เวลาเพียง 6 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (CaO) ร้อยละ 3

Kawashima et al., (2009) ศึกษาความสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์ เพื่อพัฒนาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธ์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมคือ แคลเซียมออกไซด์ 0.1 กรัม เมทานอล 3.9 กรัม น้ำมัน 15 กรัม เวลาที่ใช้ในการ กระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ 1.5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ได้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเตอร์ร้อยละ 90 โดยใช้เวลาเพียง 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ศึกษากระบวนการ กระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ เมื่อทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ด้วยเมทานอล แคลเซียมออกไซด์จะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมเมทอกไซด์ ซึ่งจะเป็สารตั้งต้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ได้ผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอล

Mootabadi et al., (2010) ศึกษาการใช้อัลตราโซนิกในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในน้ำมันปาล์มโดยมีเบสออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (CaO, SrO, BaO) โดยทำการศึกษากระบวนการแบบกะที่ความถี่อัลตราโซนิก 20 KHz เพื่อศึกษาปัจจัยของเวลาในการทำปฏิกิริยา (10-60 นาที) อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลกับน้ำมันปาล์ม เป็น 3:1 ถึง 15:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละ 0.5-3) และความถี่ของอัลตราโซนิก (ร้อยละ 25-100) ผลการศึกษาพบว่าที่สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอัลตราโซนิกใช้เวลาเพียง 60 นาที เพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ 95 แต่จากกระบวนการ ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแบบกวนผสมจะใช้เวลาถึง 2-4 ชั่วโมง นอกจากนี้ที่เวลา 60 นาที กระบวนการอัลตราโซนิกจะสามารถเพิ่มร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากร้อยละ 5.5 เป็นร้อยละ 77.3 จากร้อยละ 48.2 เป็นร้อยละ 95.2 และจากร้อยละ 67.3 เป็นร้อยละ 95.2 สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา CaO และ SrO และ BaO ตามลำดับ

Tan et al., (2010) กล่าวว่าไบโอดีเซลนั้นสามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์และไดเมทิลคาร์บอเนต ผลผลิตจากปฏิกิริยานี้ไม่ให้เกิดเฮอร์อลที่มีราคาถูกเป็นผลพลอยได้ แต่จะให้กลีเซอรอล คาร์บอเนต ซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่มีราคาสูงกว่าและการนำไปประยุกต์ใช้นั้นก็หลากหลายมากกว่ากลีเซอรอล เช่น ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเมอร์ ใช้เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น ในการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลครั้งนี้จะใช้ไดเมทิลคาร์บอเนตเป็นสารตั้งต้นที่สภาวะเหนือวิกฤต โดยปราศจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) สภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 380 องศาเซลเซียส สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อไดเมทิลคาร์บอเนต 1:39 เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ได้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเตอร์ 91

Wan and Hameed (2011) ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม (น้ำมันทอดใช้แล้ว) โดยมี Activated carbon (AC) ที่รองรับด้วย CaO/AC โดยวิธีการเตรียมคือหยดสารละลายแคลเซียมไนเตรท ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ลงบน AC จนถึงจุดอิ่มตัวและทำการคนเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาอบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกมา ซึ่งในงานวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาการนำกลับมาใช้ของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 2 ครั้ง และยังศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) โดยใช้ Central composite design (CCD) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยมีตัวแปรดำเนินการ คือ สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน ระยะเวลา

ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 190 องศาเซลเซียส สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 15:1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 21 นาที ที่สภาวะดังกล่าวให้เมทิลเอสเทอร์เป็นร้อยละ 80.98

Ngamcharussrivichai et al., (2010) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มและเมทานอลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยมี CaO ที่ได้จากธรรมชาติ (Calcite, Cuttlebone, Hydroxyapatite, Dicalcium phosphate, Dolomite, CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่า องค์ประกอบหลักของ Dolomite ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งต้องผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพด้วยเทคนิค TGA, SEM, XRD ซึ่งพบว่าหลังจากผ่านจากการเผาแคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนตได้เปลี่ยนเป็น แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ตามลำดับ หลังจากนั้นได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยมีแคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นสารที่อยู่ใน Dolomite พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 30:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักน้ำมัน ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 98 อีกทั้งยังมีการศึกษาสมบัติบางประการของไบโอดีเซลที่ผลิตได้พบว่า สมบัติผ่านมาตรฐานของไบโอดีเซลและดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน และยังพบว่าสามารถนำ Dolomite มาใช้ซ้ำได้ถึง 10 ครั้ง โดยร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดลงต่ำเพียงเล็กน้อย

Lin et al., (2011) ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธ์ต่อปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ ผลการศึกษาพบว่าแคลเซียมออกไซด์ชนิดผงแป้งขนาดนาโน มาทำปฏิกิริยากับน้ำมันถั่วเหลืองโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ซึ่งเทคนิคการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีประสิทธิภาพดีกว่าการให้ความร้อนแบบปกติ สภาวะที่เหมาะสมคือ สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 7:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นร้อยละ 3 เมื่อเทียบกับน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ให้ร้อยละผลได้ 96.6

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุ สารเคมี

3.1.1 น้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมัน จากสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3.1.2 เมทานอล (ความเข้มข้นร้อยละ 95) จาก Commercial/Thailand

3.1.3 แคลเซียมออกไซด์ จาก Merck/Analytical/Germany

3.1.4 แคลเซียมออกไซด์ จาก Commercial/Thailand

3.1.5 ฟีนอล์ฟทาลีน (ความเข้มข้น 1%) จาก Lab scan/Analytical/Thailand

3.1.6 โบรโมฟีนอลบลู อินดิเคเตอร์ จาก Lab scan/Analytical/Thailand

3.1.7 น้ำมันปาล์มรีไฟน์ ยี่ห้อมรกต (ตัวกลางให้ความร้อน) จากบริษัทมรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน/Food grade/Thailand

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทั่วไป

3.2.1 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2.2 กระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร

3.2.3 บิวเรต ขนาด 25 หรือ 50 มิลลิลิตร

3.2.4 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 50, 100, 1000 มิลลิลิตร

3.2.5 ขวดกั่นกลม 2 คอ ขนาด 250 มิลลิลิตร จาก Harmony, Japan

3.2.6 ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 25, 100, 1000 มิลลิลิตร

3.2.7 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

3.2.8 แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar) ขนาด 1 นิ้ว

3.2.9 ภาชนะโลหะ

3.2.10 สายยางซิลิโคน

- 3.2.11 หลอดทดสอบ (Test tube)
- 3.2.12 ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 100-1000 ไมโครลิตร จาก Labmate
- 3.2.13 เครื่องกลั่นแบบลดความดัน (Rotary vacuum evaporator) จาก Bochi Rotavapor รุ่น V-700
- 3.2.14 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น BP2100S จาก Satorius, USA
- 3.2.15 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น BP221S จาก Satorius, USA
- 3.2.16 ตู้อบ ยี่ห้อ Memmert รุ่น Model 200 จาก Schwabach, Germany
- 3.2.17 เครื่องมือวิเคราะห์ Gas Chromatography (GC-FID) ยี่ห้อ Agilent รุ่น HP 7890A

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มรีไฟน์ด้วยเทคนิคการไตเตรท

ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ก่อนนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้เทคโนโลยีวิเคราะห์โดยเทคนิคการไตเตรท (ตามมาตรฐาน AOCS Official Method Ca 5a-40) เพื่อควบคุมปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นในน้ำมันปาล์มรีไฟน์ให้น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ก่อนการไตเตรทต้องเตรียมตัวอย่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยน้ำในน้ำมันปาล์มรีไฟน์ออกให้น้อยที่สุด หลังผ่านขั้นตอนการระเหยน้ำออกแล้ว นำน้ำมันปาล์มรีไฟน์มาหาปริมาณกรดไขมันอิสระโดยวิธีการไตเตรทดังแสดงในขั้นตอนการทดลองข้างล่าง

ขั้นตอนการทดลอง

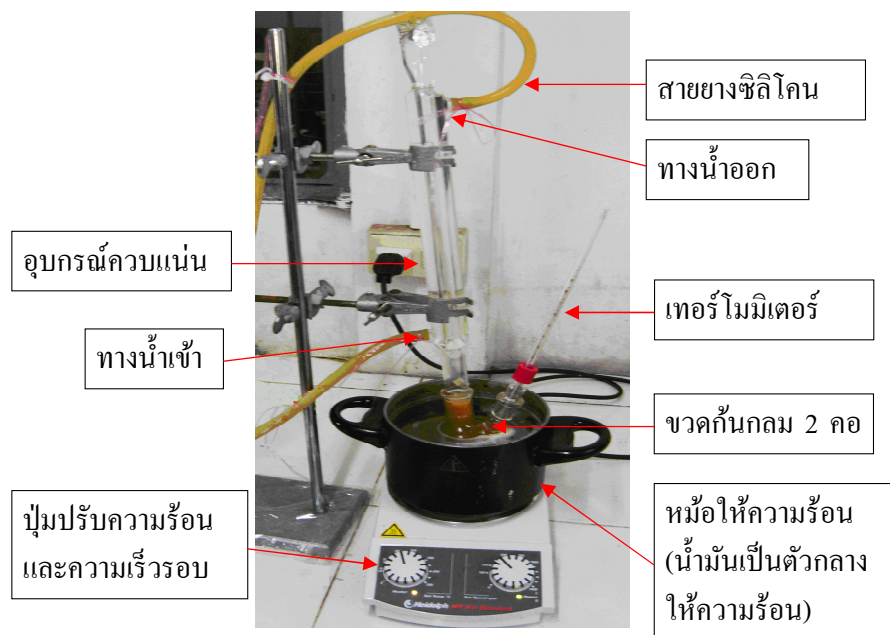
ชั่งตัวอย่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์ให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-10 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เตรียมสารละลายเอทานอลโดยการปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยเบส โดยเติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล หยดฟีนอล์ฟทาลีนที่ละลายพร้อมทั้งเขย่าจนได้สีชมพูถาวร (เดิมสีเหลืองส้ม) เติมแอลกอฮอล์ที่มีสภาพเป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ลงในน้ำมันปาล์มรีไฟน์ เขย่าอย่างแรงให้น้ำมันปาล์มรีไฟน์ละลายในแอลกอฮอล์ ไตเตรทสารละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งได้สีชมพูถาวรอีกครั้ง คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระจากสมการ (3-1) การคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระแสดงในภาคผนวก ก.

$$\% \text{กรดไขมันอิสระ} = \frac{\text{ปริมาณ NaOH (ml)} \times \text{ความเข้มข้น NaOH (N)} \times 25.6}{\text{น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)}} \quad (3-1)$$

3.3.2 การผลิตและการยืนยันสำหรับการนำ CaO มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มรีไฟน์

ขั้นตอนการทดลอง

ดำเนินการปฏิกิริยาในขวดแก้วก้นกลม 2 คอ ขนาดปริมาตร 250 มิลลิลิตร โดยติดตั้งชุดอุปกรณ์ในการรีฟลักซ์ เทอร์โมมิเตอร์ คอนเดนเซอร์ แท่งแม่เหล็ก สายยางซิลิโคน ชุดขาตั้งขาจับ โดยใช้เครื่องให้ความร้อนและกวนผสมที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที และภาชนะสำหรับใส่น้ำมันพืชเพื่อเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนระหว่างทำปฏิกิริยา การจัดอุปกรณ์รีฟลักซ์ทั้งหมดแสดงดังภาพประกอบที่ 3-1 ชุดคอนเดนเซอร์มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านตลอดการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เมทานอลที่ระเหยขึ้นไปควบแน่นกลับสู่ระบบตลอดการทำปฏิกิริยา เริ่มกระบวนการโดยป้อนน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม (0.1189 โมล) และเมทานอล 45.62 กรัม (1.4268 โมล) โดยมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 8 โดยน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิคงที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (Liu et al., 2008a) และมีการกวนผสมอย่างสม่ำเสมอด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุด กรองตัวเร่งปฏิกิริยาออกโดยวิธีการกรองแบบลดความดัน เพื่อแยกเอาตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อนนำไปประเหย หลังการกรองของผสมเสร็จสิ้น นำของผสมที่ได้ไปประเหยเมทานอลที่มากเกินพอด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดันที่ความดัน 70 เซนติเมตรปรอท และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิควบแน่นถูกควบคุมที่ 10 องศาเซลเซียส ได้ของผสมที่ปราศจากเมทานอล หลังจากนั้นนำของผสมที่ได้มาผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส (ล้างจนกว่าของผสมเป็นกลาง) นำของผสมที่ผ่านกระบวนการล้างไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำในของผสมออกจนหมด เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการล้าง นำของผสมที่ได้ไปวิเคราะห์หาร้อยละความบริสุทธิ์ด้วยเทคนิค GC-FID



ภาพประกอบที่ 3-1 ชุดการทดลองปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มรีไฟน์

3.3.3 ศึกษาผลของปริมาณน้ำในเมทานอลและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอ์

การทดลองนี้ เป็นการศึกษาผลของปริมาณน้ำในเมทานอลและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอ์ที่ดีที่สุด โดยมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การศึกษาผลของปริมาณน้ำในเมทานอลจะควบคุมปริมาณน้ำที่ร้อยละ 0 และร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์มรีไฟน์ และศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอ์ โดยศึกษาที่เวลาต่างๆ กันในช่วง 2-14 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลเป็น 1:12 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส (Liu et al., 2008a) (กำหนดให้ศึกษาแต่ละการทดลองซ้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ครั้ง)

ตารางที่ 3-1 ศึกษาผลกระทบของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

สัดส่วนเชิง โมลของน้ำมัน ปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอล	ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	*เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)
1:12	4	2
		4
		6
		8
		10
		12
		14

*ศึกษาปริมาณน้ำในเมทานอลคือ

1. น้ำในเมทานอล 0% โดยน้ำหนักน้ำมัน
2. น้ำในเมทานอล 3% โดยน้ำหนักน้ำมัน (Liu et al., 2008a)

ขั้นตอนการทดลอง

ชั่งน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม (0.1189 โมล) เมทานอล 45.62 กรัม (1.4268 โมล) และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน) (Liu et al., 2008a) โดยอุ่นน้ำมันให้ได้อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ก่อนการทำปฏิกิริยา โดยการกวนผสมกับเมทานอลและน้ำ (ร้อยละ 0 และร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน) ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเติมสารตั้งต้นทั้งหมดลงในขวดแก้วก้นกลม 2 ลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ซึ่งต่อเข้ากับชุดคอนเดนเซอร์ที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านตลอดการทำปฏิกิริยา ดังภาพประกอบที่ 3-1 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาดังแสดงในตารางที่ 3-1 ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิคงที่ 65 องศาเซลเซียส และมีการกวนผสมอย่างสม่ำเสมอด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดนำของผสมที่ได้ในการทำปฏิกิริยา กรอง กรั่น ล้าง และอบตามสภาวะการทดลองในกิจกรรมที่ 3.3.2 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ร้อยละความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค GC-FID

3.3.4 ศึกษาผลของปริมาณน้ำในเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

การทดลองนี้ เป็นการศึกษาผลของปริมาณน้ำในเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ดีที่สุด โดยมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การศึกษาผลของปริมาณน้ำในเมทานอลจะควบคุมปริมาณน้ำที่ร้อยละ 0, 1, 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยศึกษาที่เวลาต่างๆ กันในช่วง 1.5 - 6 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลเป็น 1:12 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส (Liu et al., 2008a) (กำหนดให้ศึกษาแต่ละการทดลองซ้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ครั้ง)

ตารางที่ 3-2 ศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำในเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอล	ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำในเมทานอล (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)
1:12	4	*	0
			1
			2
			3
			4

*ทำการทดลองที่ระยะเวลา 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 ชั่วโมง ตามลำดับ

ขั้นตอนการทดลอง

ชั่งน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม (0.1189 โมล) เมทานอล 45.62 กรัม (1.4268 โมล) และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน) (Liu et al., 2008a) โดยอุ่นน้ำมันให้ได้อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ก่อนการทำปฏิกิริยา โดยการกวนผสมกับเมทานอลและน้ำ โดยปริมาณน้ำในเมทานอลดังแสดงในตารางที่ 3-2 ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเติมสารตั้งต้นทั้งหมดลงในขวดแก้วก้นกลม

2 คอ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ซึ่งต่อเข้ากับชุดคอนเดนเซอร์ที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านตลอดการทำปฏิกิริยาดังภาพประกอบที่ 3-1 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาดังแสดงในตารางที่ 3-2 ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิคงที่ 65 องศาเซลเซียส และมีการกวนผสมอย่างสม่ำเสมอด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดนำของผสมที่ได้ในการทำปฏิกิริยา กรอง กลั่นล้าง และอบตามสภาวะการทดลองในกิจกรรมที่ 3.3.2 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ร้อยละความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค GC-FID

3.3.5 ศึกษาผลของสัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

การทดลองนี้ เป็นการศึกษาผลกระทบของสัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ดีที่สุด โดยมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การศึกษาผลกระทบของสัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลศึกษาในช่วง 1:3 – 1:21 โดยโมลต่อโมล และควบคุมปริมาณน้ำในเมทานอลที่ได้ผลดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.4 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ได้ผลดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.3 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส (Liu et al., 2008a) (กำหนดให้ศึกษาแต่ละการทดลองซ้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ครั้ง)

ตารางที่ 3-3 ศึกษาผลกระทบของสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์

เวลาที่ใช้ในการทำ ปฏิกิริยา	ปริมาณน้ำใน เมทานอล	สัดส่วนเชิง โมลของ Oil : MeOH	ปริมาณน้ำมัน ปาล์มรีไฟน์ที่ ใช้	ปริมาณ เมทานอลที่ใช้
ได้จากกิจกรรมที่ 2.3	ได้จากกิจกรรมที่ 2.4	1:3	100 กรัม (0.1189 โมล)	11.42 กรัม (0.3567 โมล)
		1:6	100 กรัม (0.1189 โมล)	22.83 กรัม (0.7134 โมล)
		1:9	100 กรัม (0.1189 โมล)	34.24 กรัม (1.0701 โมล)
		1:12	100 กรัม (0.1189 โมล)	45.66 กรัม (1.4268 โมล)
		1:15	100 กรัม (0.1189 โมล)	57.07 กรัม (1.7835 โมล)
		1:18	100 กรัม (0.1189 โมล)	68.49 กรัม (2.1402 โมล)
		1:21	100 กรัม (0.1189 โมล)	79.90 กรัม (2.4969 โมล)

กำหนด MeOH คือ เมทานอล และควบคุมปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ 4% โดยน้ำหนักน้ำมัน

ขั้นตอนการทดลอง

ชั่งน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม (0.1189 โมล) เมทานอลดังแสดงในตารางที่ 3-3 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน) (Liu et al., 2008a) โดยอุ่นน้ำมันให้ได้อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ก่อนการ

ทำปฏิกิริยา โดยการกวนผสมกับเมทานอลและน้ำ โดยปริมาณน้ำในเมทานอลที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.4 ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเติมสารตั้งต้นทั้งหมดลงในขวดแก้วกันกลม 2 คอ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ซึ่งต่อเข้ากับชุดคอนเดนเซอร์ที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านตลอดการ ทำปฏิกิริยาดังภาพประกอบที่ 3-1 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.3 ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิคงที่ 65 องศาเซลเซียส และมีการกวนผสมอย่างสม่ำเสมอด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดนำของผสมที่ได้ในการทำปฏิกิริยา กรอง กรั่น ล้าง และอบตามสภาวะการทดลองในกิจกรรมที่ 3.3.2 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ร้อยละ ค ว า ม บ ริ สุ ท ธิ์ ข อ ง น้ า ม้ น ไบโอดีเซลด้วยเทคนิค GC-FID

3.3.6 ศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

การทดลองนี้ เป็นการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ดีที่สุด โดยมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาศึกษาในช่วงร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 14 โดยน้ำหนักน้ำมัน และควบคุมปริมาณน้ำในเมทานอลที่ได้ผลดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.4 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ได้ผลดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.3 และสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.2.5 ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส (Liu et al., 2008a) (กำหนดให้ศึกษาแต่ละการทดลองซ้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ครั้ง)

ตารางที่ 3-4 ศึกษาผลกระทบของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	ปริมาณน้ำในเมทานอล	สัดส่วนเชิงโมลของ Oil : MeOH	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (% โดยน้ำหนักน้ำมัน)
ได้จากกิจกรรมที่ 3.3.3	ได้จากกิจกรรมที่ 3.3.4	ได้จากกิจกรรมที่ 3.2.5	0.5
			1.0
			1.5
			2.0
			4.0
			6.0
			8.0
			10.0
			12.0
			14.0

ขั้นตอนการทดลอง

ชั่งน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม (0.1189 โมล) เมทานอลที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.2.5 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3-4 โดยอุ่นน้ำมันให้ได้ อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ก่อนการทำปฏิกิริยา โดยการกวนผสมกับเมทานอลและน้ำ โดยปริมาณน้ำในเมทานอลที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.4 ที่ อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเติมสารตั้งต้นทั้งหมดลงในขวดแก้วก้นกลม 2 คอ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ซึ่งต่อเข้ากับชุดคอนเดนเซอร์ที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านตลอดการทำปฏิกิริยา ดังภาพประกอบที่ 3-1 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.3 ดำเนินปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิคงที่ 65 องศาเซลเซียส และมีการกวนผสมอย่างสม่ำเสมอด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดนำของผสมที่ได้ในการทำปฏิกิริยา กรอง กลั่น ล้าง และอบตาม สภาวะการทดลองในกิจกรรมที่ 3.3.2 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ร้อยละความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค GC-FID

3.3.7 ศึกษาผลการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

การทดลองครั้งนี้ เป็นการศึกษาผลการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การศึกษาการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการศึกษาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแล้ว นำมาทำปฏิกิริยาซ้ำอีกไปเรื่อยๆ จนร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดลง เพื่อศึกษาว่าสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้ซ้ำกี่ครั้ง โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ผลดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.2.6 ควบคุมปริมาณน้ำในเมทานอลที่ได้ผลดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.4 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ได้ผลดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.3 และสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.2.5 ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส (Liu et al., 2008a) (กำหนดให้ศึกษาแต่ละการทดลองซ้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ครั้ง)

ขั้นตอนการทดลอง

ชั่งน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม (0.1189 โมล) เมทานอลที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.2.5 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.2.6 โดยอุ่นน้ำมันให้ได้อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ก่อนการทำปฏิกิริยา โดยการกวนผสมกับเมทานอลและน้ำ โดยปริมาณน้ำในเมทานอลที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.4 ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเติมสารตั้งต้นทั้งหมดลงในขวดแก้วก้นกลม 2 ลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ซึ่งต่อเข้ากับชุดคอนเดนเซอร์ที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านตลอดการทำปฏิกิริยา ดังภาพประกอบที่ 3-1 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.3 ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิคงที่ 65 องศาเซลเซียส และมีการกวนผสมอย่างสม่ำเสมอด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดนำของผสมที่ได้ในการทำปฏิกิริยา กรอง กลั่น ล้าง และอบตามสภาวะการทดลองในกิจกรรมที่ 3.3.2 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ร้อยละความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค GC-FID

หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุด ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแล้ว นำไปบีบน้ำมันออกโดยผ่านผ้าขาวบาง หลังจากนั้นนำเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง

3.3.8 การออกแบบพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM)

การทดลองครั้งนี้ออกแบบสถานะการทดลองทำโดยเทคนิค RSM โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือศึกษาผลกระทบของสัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ ศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โดยจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เชิงการค้า (commercial grade) ศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และควบคุมปริมาณน้ำในเมทานอลที่ได้ผลดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.4 ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส (Liu et al., 2008a) เทคนิค RSM เป็นเครื่องมือสำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการ โดยใช้หลักทางสถิติในการออกแบบการทดลองอย่างเหมาะสม สำหรับการทดลองที่มีหลายตัวแปร RSM จะช่วยในการหาสถานะที่เหมาะสมโดยไม่ต้องทำการทดลองในทุกความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดที่เป็นไปได้ ขั้นตอนการออกแบบการทดลองโดยใช้ RSM มีขั้นตอน ดังนี้

1. กำหนดตัวแปรที่จะศึกษาซึ่งประกอบด้วย

1.1 ตัวแปรอิสระ ประกอบด้วย

- สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (x_1 , 9:1-21:1 mol:mol)
- ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงการค้า (x_2 , 1-10 %wt)
- ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (x_3 , 120-600 mins)

1.2 ตัวแปรตาม ประกอบด้วย

- ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

2. กำหนดรหัส (Code) ของช่วงตัวแปรอิสระที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการออกแบบสถานะในการทำการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3-5

3. ออกแบบสถานะของการทดลองจาก Code ของตัวแปรอิสระที่ได้กำหนดไว้โดยวิธีการ Central Composite Design (CCD) โดยได้สถานะต่างๆ ที่ใช้ในการทำการทดลองแสดงดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-5 แสดงรหัสตัวแปรและขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา

การทดลอง	x_1	x_2	x_3
1	-0.6	0.6	0.6
2	0	0	0
3	-0.6	-0.6	0.6
4	-1	0	0
5	-0.6	0.6	-0.6
6	1	0	0
7	0.6	0.6	0.6
8	0	0	0
9	0.6	-0.6	0.6
10	0.6	-0.6	-0.6
11	0	1	0
12	0.6	0.6	-0.6
13	0	0	-1
14	0	0	1
15	-0.6	-0.6	-0.6
16	0	0	0
17	0	-1	0

จากตารางที่ 3-5 ที่แสดงรหัสตัวแปรและขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษาเมื่อแปลงรหัสค่าที่ได้เป็นค่าของตัวแปรดำเนินการจะได้สภาวะการทดลองสำหรับการทดลองทั้งหมด 17 การทดลองดังแสดงในตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 แสดงชุดการทดลองจากการออกแบบด้วย RSM เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนเชิงโมลของ เมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา ที่มีผล ต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์

การทดลอง	สัดส่วนเชิง โมลของ Oil : MeOH	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	เวลาที่ใช้ในการทำ ปฏิกิริยา (นาที)
1	1:11	8	503
2	1:15	6	360
3	1:11	3	503
4	1:9	6	360
5	1:11	8	217
6	1:21	6	360
7	1:19	8	503
8	1:15	6	360
9	1:19	3	503
10	1:19	3	217
11	1:15	10	360
12	1:19	8	217
13	1:15	6	120
14	1:15	6	600
15	1:11	3	217
16	1:15	6	360
17	1:15	1	360

ขั้นตอนการทดลอง

ชั่งน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม (0.1189 โมล) เมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียม ออกไซด์ และระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยาดังแสดงในตารางที่ 3-6 โดยอุ่นน้ำมันให้ได้ อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ก่อนการทำปฏิกิริยา โดยการกวนผสมกับเมทานอลและน้ำ โดยปริมาณน้ำในเมทานอลที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 3.3.4 ที่

อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเติมสารตั้งต้นทั้งหมดลงในขวดแก้วก้นกลม 2 คอ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ซึ่งต่อเข้ากับชุดคอนเดนเซอร์ที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านตลอดการทำปฏิกิริยา ดังภาพประกอบที่ 3-1 ดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิคงที่ 65 องศาเซลเซียส และมีการกวนผสมอย่างสม่ำเสมอด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดนำของผสมที่ได้ในการทำปฏิกิริยา กรอง กรั่น ล้าง และอบตามสภาวะการทดลองในกิจกรรมที่ 3.3.2 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ร้อยละความบริสุทธิ์ของน้ำมัน ไบโอดีเซลด้วยเทคนิค GC-FID

3.3.9 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา ที่มีผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

ผลการทดลอง สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา ที่มีผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้โปรแกรม regression ซึ่งแบบจำลองที่ได้จะอยู่ในรูปของสมการกำลังสอง (Quadratic equation) ดังแสดงในสมการที่ (2-3) โดยการพิจารณาสร้างแบบจำลองเริ่มจากกำหนดเทอมที่สามารถเกิดขึ้นได้ทุกเทอม และตัดเทอมที่ไม่มีนัยสำคัญออกโดยใช้ P value ($P \text{ value} > 0.05$) โดยเหลือเพียงเทอมที่มี P value ต่ำ ซึ่งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแบบจำลอง

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \left[\sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j \right]_{i < j} \quad (2-3)$$

เมื่อ β_0 , β_i , β_{ii} และ β_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ถดถอยทั้งแบบเชิงเส้นและแบบกำลังสอง และสัมประสิทธิ์เชิงซ้อน ตามลำดับ

บทที่ 4

ผลการทดลองและบทวิจารณ์

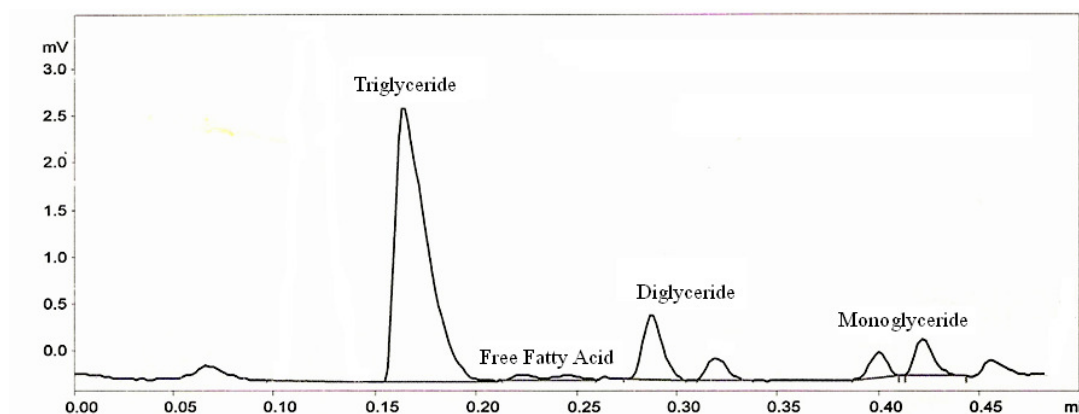
4.1 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มรีไฟน์

น้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่ใช้ในการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลผลิตจากบริษัท Lian Hoe Trading Company Limited มีลักษณะเป็นสีเหลืองใส และมีของแข็งสีขาวเล็กน้อย จากการแข็งตัวของไขมันไม่อิ่มตัวที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-1



ภาพประกอบที่ 4-1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่อุณหภูมิห้อง

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีแบบชั้นบาง (Thin Layer Chromatography, TLC) แสดงดังภาพประกอบที่ 4-2 จากผลการศึกษา พบว่า น้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล มีร้อยละเชิงโมลของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ เท่ากับ 97.23, 1.62, 0.52 และ 0.63 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบชั้นบาง

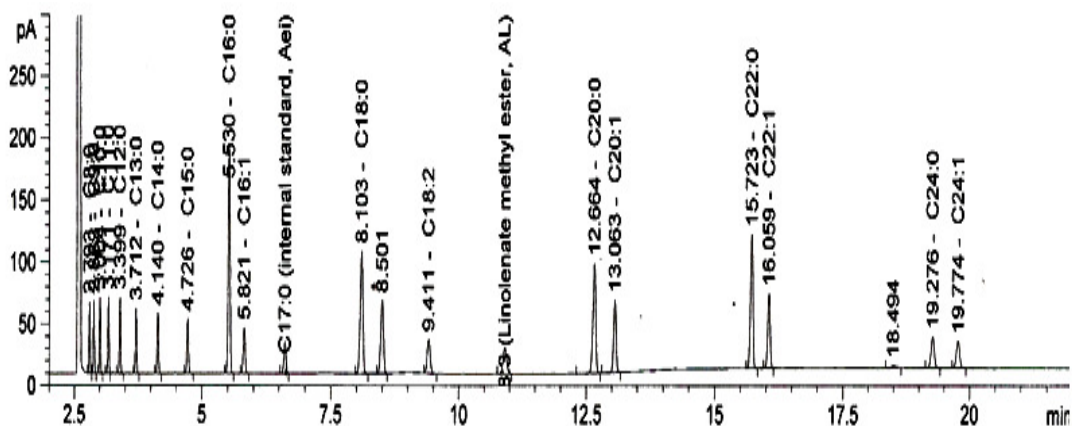
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มรีไฟน์ด้วยเทคนิคการไตเตรท

ค่าปริมาณกรด (Acid value) คือ จำนวนมิลลิกรัมของ NaOH ที่ต้องการสำหรับทำให้กรดไขมันอิสระเป็นกลางในน้ำมันตัวอย่างหนัก 1 กรัม Ghadge และ Raheman (2004) กล่าวว่า น้ำมันที่นำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันไม่ควรมียค่าปริมาณกรดสูงกว่าร้อยละ 1 (Ghadge and Raheman, 2005) เพราะถ้าน้ำมันมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระสูงจำเป็นจะต้องใช้ปริมาณของ NaOH ในสัดส่วนที่สูงตามไปด้วย เนื่องจาก NaOH จะเข้าทำปฏิกิริยากับกรด ซึ่งการใช้เบสมากเกินไปจะทำให้เกิดอิมัลชันซึ่งจะเพิ่มความหนืดและจะขัดขวางการแยกตัวของกลีเซอรอลที่มีอยู่ (ชากริต, 2544) จากการทดลองพบว่า น้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นมีค่าปริมาณกรดเท่ากับร้อยละ 0.59 ดังแสดงในตารางที่ ก-1 ภาคผนวก ก

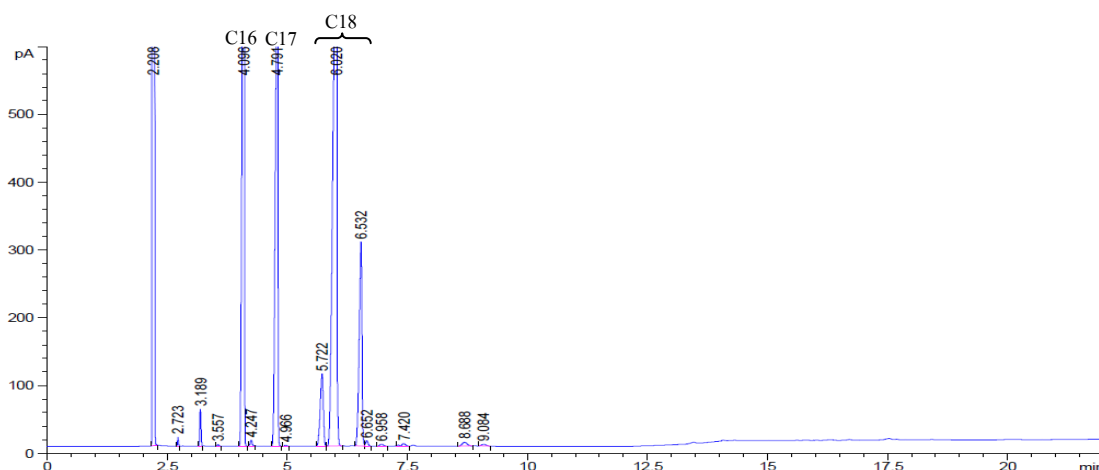
4.3 การผลิตและการยึดยันสำหรับการนำ CaO มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มรีไฟน์

การนำน้ำมันปาล์มรีไฟน์มาผลิตเป็นไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส NaOH หรือ KOH แบบทั่วไปนั้นสามารถทำได้ แต่เมื่อปฏิกิริยาลึกลับลงต้องมีขั้นตอนการแยกเบสอัลคาไลน์ออกจากสารตั้งต้นโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย น้ำสามารถเกิดปฏิกิริยากับเอสเทอร์ของกรดไขมัน ได้ผลิตภัณฑ์คือ กรดไขมัน และแอลกอฮอล์ กรดไขมันที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยากับเบสอัลคาไลน์ได้เกลือของกรดไขมัน หรือ สบู่ (Rashid and Anwar, 2008, Liu et al., 2007, Wenlei et al., 2006) และพบว่าปริมาณของเอสเทอร์มีค่าลดลง ดังนั้น ขั้นตอนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกพ้นจากผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ผลได้ของการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลลดลง และเกิดน้ำเสียเบสอัลคาไลน์ ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์จึงถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

งานวิจัยนี้จึงใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์แคลเซียมออกไซด์ (CaO) มาประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยข้อดีของตัวเร่งดังกล่าว คือตัวเร่งปฏิกิริยายังคงสภาพเป็นของแข็งในสถานะการเกิดปฏิกิริยาทำให้สามารถกรองแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออก และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย ซึ่งผลการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-3 และภาพประกอบที่ 4-4



ภาพประกอบที่ 4-3 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์มาตรฐาน (C₈-C₂₄).



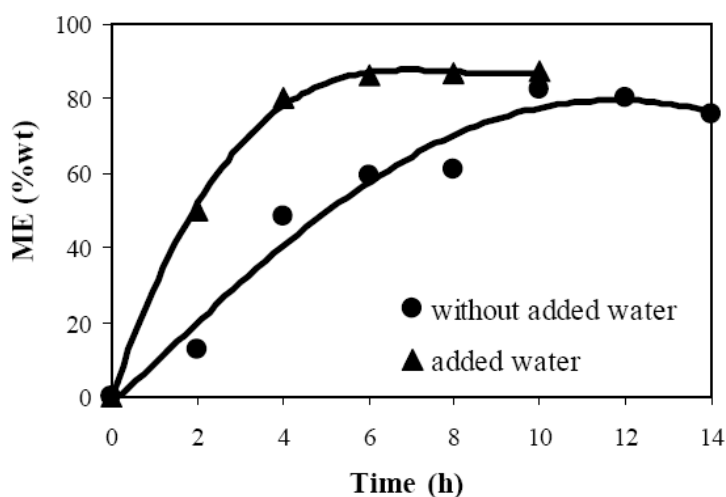
ภาพประกอบที่ 4-4 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ปริมาณ CaO เป็นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 12:1 อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C.

จากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID จะให้ผลดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-4 และเมื่อเปรียบเทียบกับสารประกอบเมทิลเอสเทอร์มาตรฐาน (ภาพประกอบที่ 4-3) พบว่าโครมาโต

แกรมที่ได้ปรากฏที่ตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ในเบื้องต้นว่า CaO มีประสิทธิภาพในการที่จะนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล

4.4 ผลการศึกษาปริมาณน้ำในเมทานอลและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

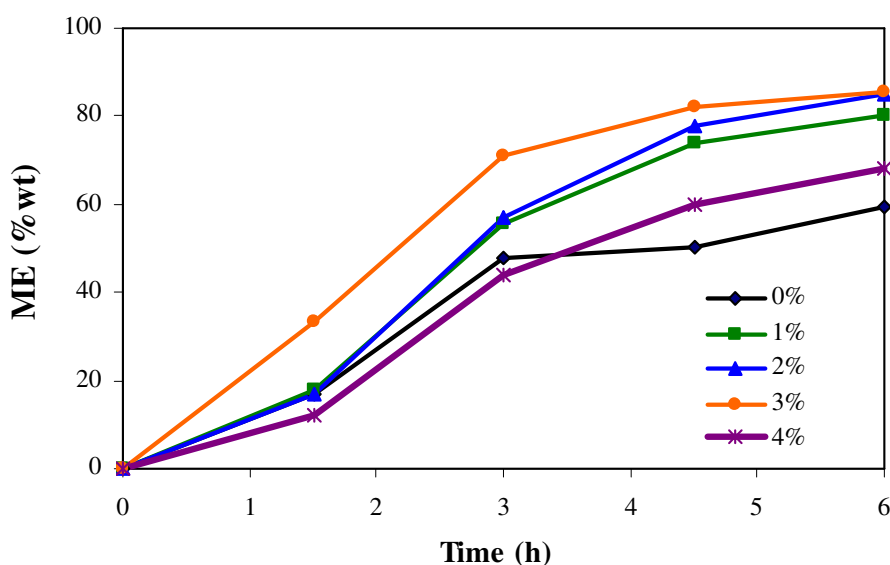
ภาพประกอบที่ 4-5 แสดงผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยศึกษาผลของปริมาณน้ำในเมทานอลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์พบว่า ทั้งสถานะที่มีน้ำ และไม่มีน้ำในระบบจะส่งผลให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 80 แต่จะต่างกันที่สถานะไม่มีน้ำในระบบจะต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่าเป็น 2 เท่าของสถานะที่มีน้ำในระบบ กล่าวคือ การที่ระบบจะเข้าสู่สถานะสมดุลนั้น ในสถานะที่มีน้ำในระบบจะใช้เวลาเพียง 6 ชั่วโมง ขณะที่ในสถานะที่ไม่มีน้ำในระบบจะต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสูงถึง 12 ชั่วโมง เป็นผลสืบเนื่องจาก โมเลกุลของ O^{2-} บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะดึง H^+ จากโมเลกุลของน้ำ จากนั้นหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกไซด์ (OH) จากโมเลกุลของน้ำ จะไปดึง H^+ จากโมเลกุลของเมทานอล จึงส่งผลให้เกิดเมทอกไซด์ไอออน (Liu et al., 2008) ที่จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน



ภาพประกอบที่ 4-5 แสดงผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ สถานะในการทดลองคือ ปริมาณ CaO เป็นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม รีไฟน์เป็น 12:1 อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C

4.5 ผลการศึกษาปริมาณน้ำในเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

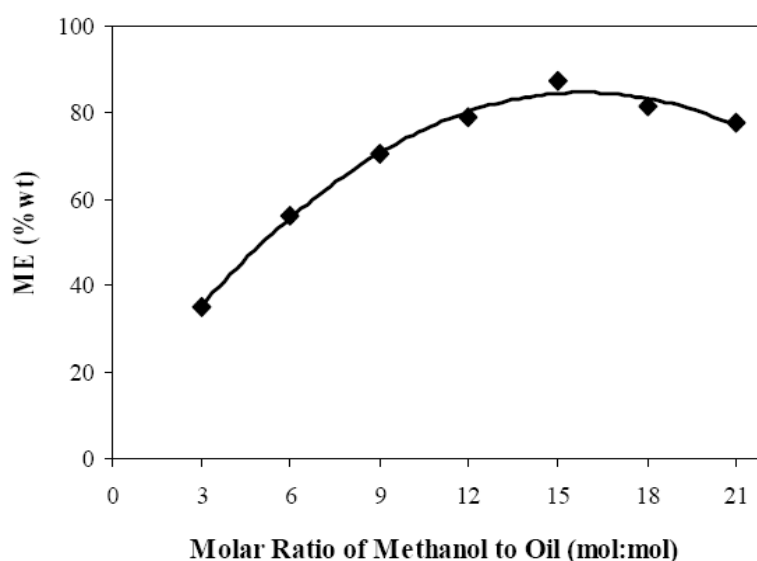
ภาพประกอบที่ 4-6 แสดงผลของปริมาณน้ำในเมทานอลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่เวลาต่างๆ ของการทำปฏิกิริยา พบว่าในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะส่งผลให้เกิดร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 59.56 เป็นร้อยละ 85.66 เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 3 ของน้ำหนักน้ำมัน เนื่องจากน้ำจะไปสนับสนุนให้เกิดการแตกตัวของ CaO กลายเป็นตัวเร่งเมทอกไซด์ที่จะต้องนำไปใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันต่อไป (Liu et al., 2008) และเมื่อปริมาณน้ำสูงเกินกว่านี้จะส่งผลให้ปริมาณของร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ลดต่ำลง เป็นผลสืบเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่มากเกินไป จะทำให้เกิดปฏิกิริยาแข่งขัน หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ที่จะสามารถเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นสบู่ จึงส่งผลให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดลง



ภาพประกอบที่ 4-6 แสดงผลกระทบบของน้ำในเมทานอลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์
 สภาวะในการทดลองคือ ปริมาณ CaO เป็นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอล
 ต่อน้ำมันเป็น 12:1 อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C

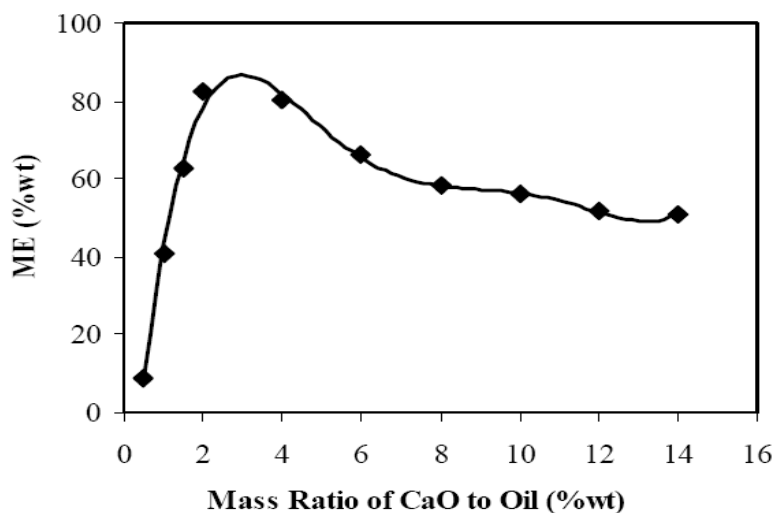
4.6 ผลการศึกษาสัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

ภาพประกอบที่ 4-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ และร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ พบว่า ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 36.65 เป็นร้อยละ 87.19 เมื่อสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เพิ่มขึ้นจาก 3:1 เป็น 15:1 เป็นผลมาจากปริมาณเมทานอลที่มากเกินไปจะผลักดันให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์สูงขึ้นกว่านี้ กลับส่งผลตรงกันข้าม กล่าวคือ จะทำให้ปริมาณร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดลง เป็นผลสืบเนื่องมาจาก ปริมาณเมทานอลที่มากเกินไปจะทำหน้าที่เป็นตัวทำลาย ที่จะทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นในระบบมีค่าลดลง จึงส่งผลให้โมเลกุลของสารตั้งต้นเกิดการชนกันน้อยลง ดังนั้นโอกาสในการที่สารตั้งต้นจะเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์จึงมีน้อยลงตามไปด้วย



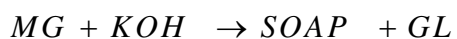
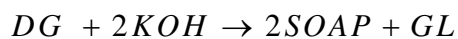
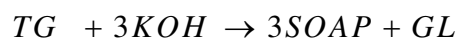
ภาพประกอบที่ 4-7 แสดงผลกระทบบของสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่ส่งผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยมีสภาวะการทดลองคือ ปริมาณ CaO เป็นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักน้ำมัน ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C

4.7 ศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์



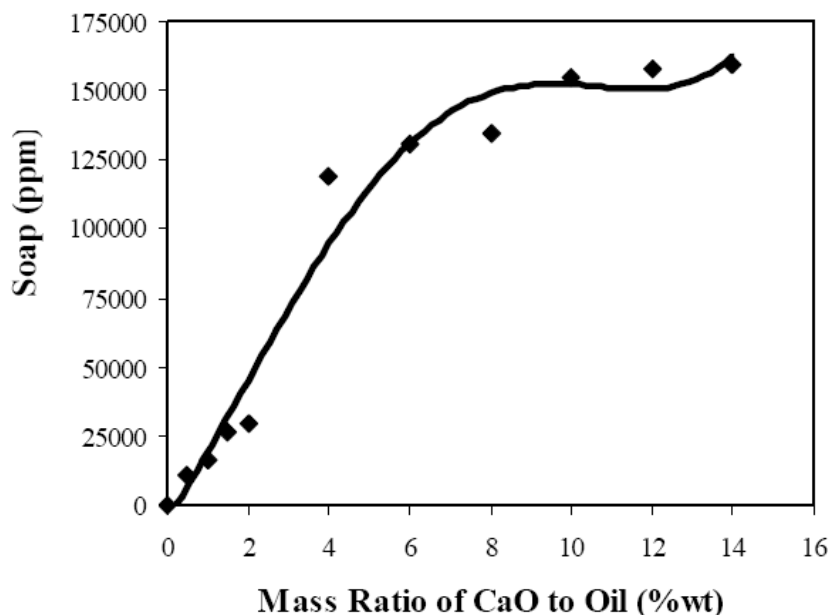
ภาพประกอบที่ 4-8 แสดงผลกระทบของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยมีสภาวะการทดลองคือ ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 15:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C

ภาพประกอบที่ 4-8 แสดงผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ พบว่า ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8.83 เป็นร้อยละ 86.29 เมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 2 เมื่อเทียบกับน้ำหนักน้ำมัน เพราะฉะนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลในเชิงบวกต่อการเกิดปฏิกิริยา แต่อย่างไรก็ตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปก็จะส่งผลในเชิงลบต่อปฏิกิริยาได้เช่นกัน นั่นคือจะทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง(ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน) จนกลายเป็นสบู่ ตามปฏิกิริยาดังนี้



โดย TG, DG, MG, ME, GL และ MeOH คือ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ กลีเซอรอล และเมทานอล ตามลำดับ

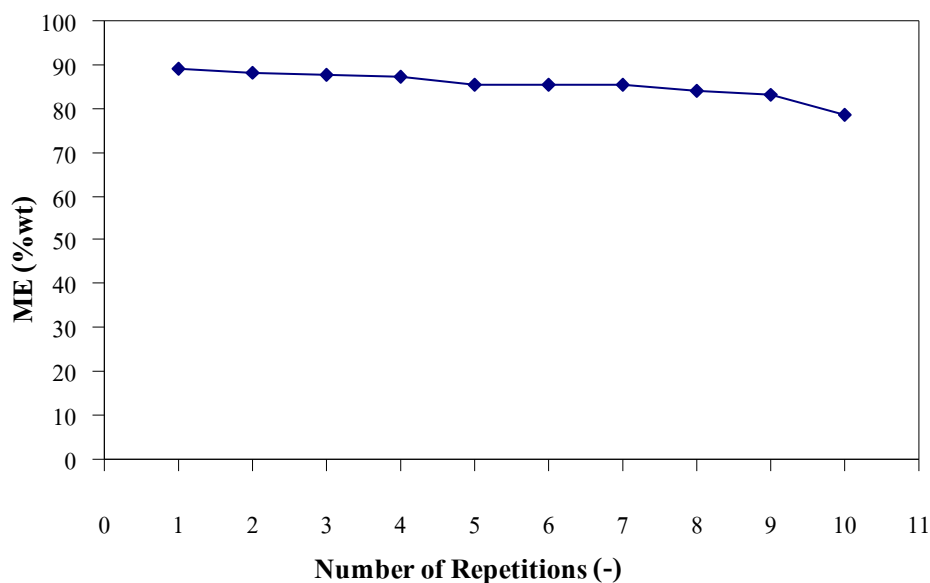
เมื่อศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ พบว่าเป็นดังภาพประกอบที่ 4-9 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะสนับสนุนให้เกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่ส่งผลให้เกิดเป็นเกลือของกรดไขมัน (สบู่) นอกจากนั้นยังส่งผลให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบมีปริมาณลดลงจึงส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันลดลงด้วย



ภาพประกอบที่ 4-9 แสดงผลกระทบของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณการเกิดสบู่ โดยมีสภาวะการทดลองคือ ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 15:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C

4.8 ศึกษาผลการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

ภาพประกอบที่ 4-10 แสดงจำนวนครั้งของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ พบว่า เมื่อทำการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซ้ำจำนวน 5 ครั้ง และ 10 ครั้ง จะทำให้ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดลงร้อยละ 5 และร้อยละ 12 ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุของการลดลงของผลิตภัณฑ์เป็นผลมาจากการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการใช้งานมาแล้วในแต่ละครั้งไม่ได้ทำการฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) มีแต่เพียงการนำไปอบก่อนการใช้งานในครั้งต่อไป จึงส่งผลให้สารประกอบบางชนิด เช่น สบู่ ที่ติดอยู่บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาไปขัดขวางความว่องไว (Activity) ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดโมเลกุลของเมทอกไซด์ที่จะเข้าทำปฏิกิริยาต่อไป นอกจากนี้ ในขั้นตอนของการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาภายหลังจกสิ้นสุดปฏิกิริยาในแต่ละครั้ง จะทำให้เกิดการสูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาจากการล้าง และกรอง จึงส่งผลให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดลงในแต่ละครั้งของการทำซ้ำด้วย



ภาพประกอบที่ 4-10 แสดงการใช้ซ้ำของ CaO เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยมีสภาวะการทดลองคือ ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 15:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C

4.9 ผลของสภาวะดำเนินการต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

จากการศึกษาการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของการผลิตไบโอดีเซล โดยมี CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค RSM แบบ CCD ซึ่งมีการทดลองทั้งหมด 17 การทดลอง ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ของแต่ละสภาวะการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4-2 โดยข้อมูลรายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4-1 แสดงร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ที่สภาวะต่างๆ จากการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค RSM

การทดลอง	สัดส่วนเชิงโมลของ Oil : MeOH	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	เวลาที่ใช้ในการ ทำปฏิกิริยา (นาที)	ME (%wt)
1	1:11	8	503	54.00
2	1:15	6	360	82.00
3	1:11	3	503	44.00
4	1:9	6	360	64.30
5	1:11	8	217	65.00
6	1:21	6	360	85.00
7	1:19	8	503	78.00
8	1:15	6	360	82.00
9	1:19	3	503	44.00
10	1:19	3	217	44.00
11	1:15	10	360	64.32
12	1:19	8	217	68.00
13	1:15	6	120	50.20
14	1:15	6	600	55.00
15	1:11	3	217	55.00
16	1:15	6	360	82.00
17	1:15	1	360	15.00

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4-1 สามารถนำมาวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ กับตัวแปรดำเนินการที่ศึกษาได้โดยใช้เทคนิค RSM ได้แบบจำลองของสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ดังแสดงในสมการที่ (4-1) ($R^2 = 0.96$)

$$y = -33.84 + 19.76x_2 + 0.24x_3 - 0.17x_1^2 - 2.12x_2^2 - 0.0005x_3^2 + 0.53x_1x_2 + 0.008x_1x_3 \quad (4-1)$$

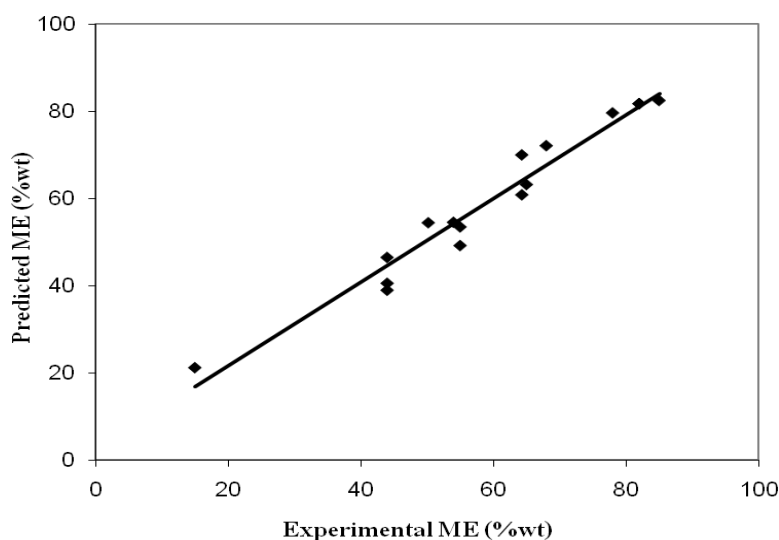
โดยมีข้อจำกัด	$1:9 \leq x_1 \leq 1:21, 1 \leq x_2 \leq 10, 120 \leq x_3 \leq 600$
เมื่อ y	= ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์
x_1	= สัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอล (โมลต่อโมล)
x_2	= ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (% โดยน้ำหนักน้ำมัน)
x_3	= ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (นาที)

สมการที่ (4-1) แสดงให้เห็นถึงตัวแปรดำเนินการที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ ตัวแปรดำเนินการเหล่านี้ได้แก่ สัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา ซึ่งในการพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองที่ได้จะพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการที่ (4-1) สำหรับรายละเอียดในการวิเคราะห์สมการแบบจำลองด้วยวิธี ANOVA ของแบบจำลองนั้น อธิบายได้ในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่มีรูปแบบสมการแบบ Linear interaction

ANOVA						
Source	SS	SS%	MS	F	F Signif	df
Regression	5692.7	96	813.24	32.35	1.1175E-05	7
Residual	226.27	4	25.14			9
Total	5918.9	100				16

จากตารางที่ 4-2 ค่า F significant หรือ P value เท่ากับ 0.000011 แสดงว่านัยสำคัญของตัวแปรที่ศึกษามีผลอย่างมีนัยสำคัญ เพราะค่า P value ของแบบจำลองต่ำกว่า 0.05 พิจารณาว่า P value แต่ละเทอมโดยแต่ละเทอมในแบบจำลองที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญจะให้ค่า P value ที่ต่ำกว่า 0.05 และถ้าเทอมใดมีค่า P value ต่ำกว่า 0.05 มากๆ แสดงว่าเทอมนั้นมีผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญมาก ส่วนเทอมที่มี P value สูงกว่า 0.05 จะตัดทิ้ง รายละเอียดของ P value ในแต่ละเทอม ดังแสดงในภาคผนวก ง จากการศึกษาร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ พิจารณาจากสัมประสิทธิ์ของแต่ละเทอมจะพบว่าผลของตัวแปรเดี่ยวจะมีผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มากกว่าผลของ interaction คือ สัดส่วนเชิงโมระหว่างน้ำมันปลา ลัมรีไฟน์ต่อเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาในการดำเนินปฏิกิริยา นอกจากค่า P value แล้ว ค่า R^2 เป็นค่าที่มีความสำคัญในการพิจารณาความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ซึ่ง R^2 มากกว่า 0.75 เป็นค่าที่ยอมรับได้ (Seyedeh et al, 2007) ส่วนค่า R^2_{adj} หากมีค่าใกล้เคียงกับ R^2 แสดงว่าแต่ละเทอมในแบบจำลองที่ได้มีส่วนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ทั้งหมด จากการทดลองพบว่า R^2 และ R^2_{adj} เท่ากับ 0.96 และ 0.93 ตามลำดับ พบว่าเมื่อพิจารณาความน่าเชื่อถือของแบบสมการแบบจำลองได้จากภาพประกอบที่ 4-11



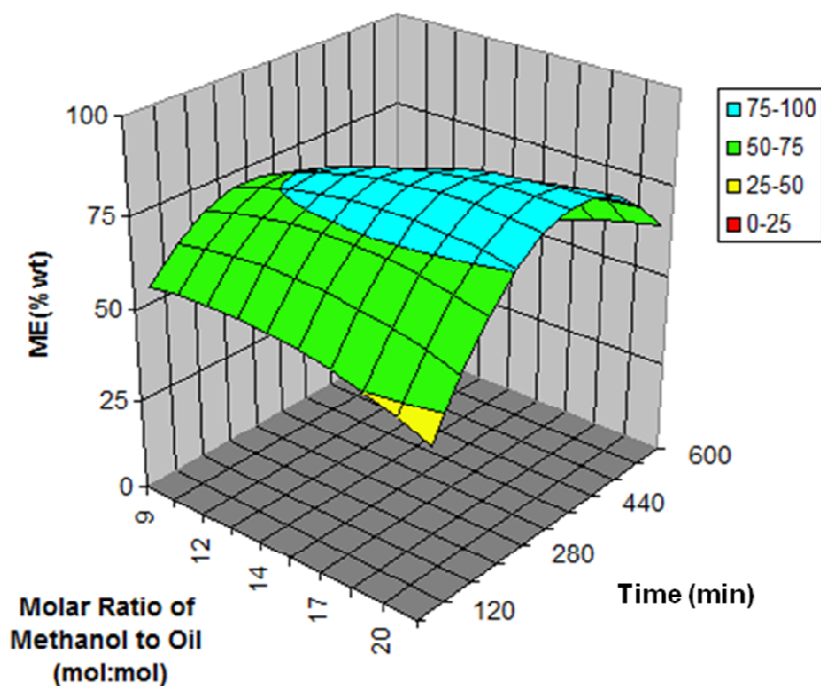
ภาพประกอบที่ 4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนายโดยใช้แบบจำลอง Linear interaction

จากภาพประกอบที่ 4-11 สังเกตเห็นว่าข้อมูลร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทดลองและการคำนวณจากสมการ (4-1) มีการกระจายตัวรอบเส้นตรงแสดงว่าแบบจำลอง Linear interaction สามารถใช้ทำนายร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจากการทดลอง โดยเทอม interaction ระหว่างสองตัวแปร คือ x_1x_2 , x_1x_3 และ x_2x_3 และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการต่างๆ กับร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ในรูปของกราฟพื้นผิว ได้ดังภาพประกอบที่ 4-12 ถึง ภาพประกอบที่ 4-14

4.10 พื้นผิวตอบสนองต่อผลตัวแปรดำเนินการต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

จากสมการแบบจำลองสำหรับการทำนายร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้สามารถแสดงการพล็อตกราฟพื้นผิวสามมิติจากสมการ Regression ของความสัมพันธ์ตัวแปรต่างๆ เพื่อคาดคะเนสถานะที่เหมาะสมได้ (Mohamed and Nadji, 2008) ในการพล็อตค่าจะพิจารณาได้ครั้งละสองตัวแปร ในการศึกษาครั้งนี้สนใจ 3 ตัวแปร ดังนั้นจะให้ตัวแปรหนึ่งมีค่าคงที่ แล้วพิจารณาค่าตัวแปรอีกสองตัวที่เหมาะสมได้จากสมการที่ (4-1) กราฟพื้นผิวที่ได้แสดงดังได้ดังภาพประกอบที่ 4-12 ถึง ภาพประกอบที่ 4-14

4.10.1 ผลของสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (x_1) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (x_3)

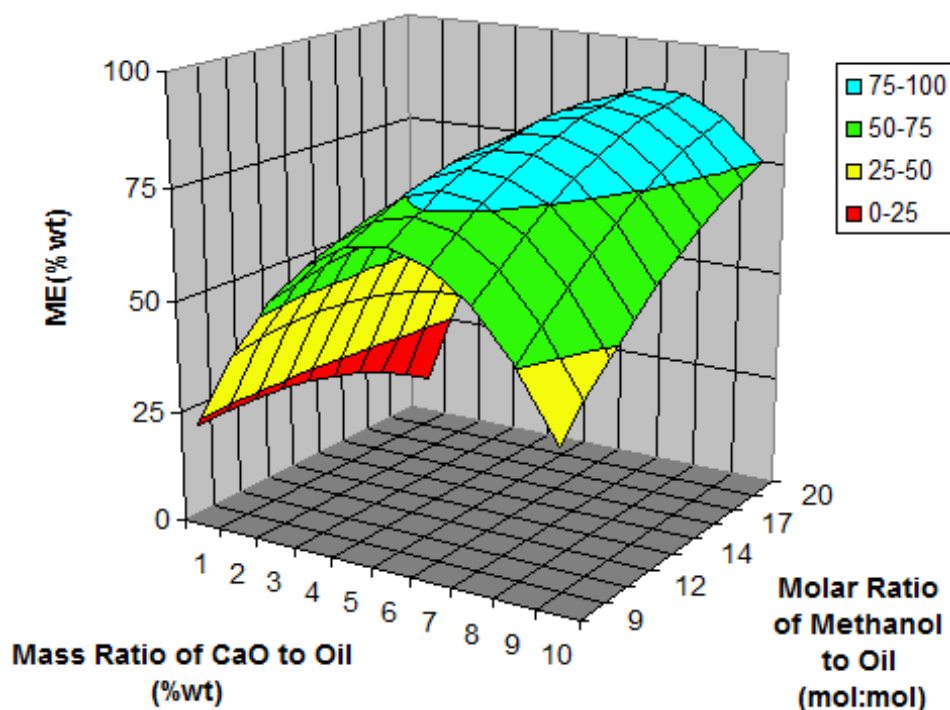


ภาพประกอบที่ 4-12 กราฟพื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (x_1) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (x_3) ต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยมีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5.5

จากภาพประกอบที่ 4-12 พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ จะส่งผลให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มลดลงในช่วงเริ่มต้นในการดำเนินปฏิกิริยา (ประมาณ 120 นาที) แต่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการดำเนินปฏิกิริยามากขึ้น (ประมาณ 360 นาที) และยังพบอีกว่าหลังเวลาดังกล่าวค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มลดลง สืบเนื่องมาจากในช่วงระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเริ่มต้นเมื่อปริมาณเมทานอลที่มากเกินไปจะทำหน้าที่เป็นตัวทำลาย ซึ่งจะให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นในระบบมีค่าลดลง จึงส่งผลให้โมเลกุลของสารตั้งต้นเกิดการชนกันน้อยลง ดังนั้นโอกาสในการที่สารตั้งต้นจะ

เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์จึงมีค่าน้อยลงตามไปด้วย และเมื่อใช้เวลาในการดำเนินปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากสารตั้งต้นในปฏิกิริยามีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากันได้มากขึ้น แต่เมื่อผ่านระยะเวลาในการดำเนินปฏิกิริยาที่ผ่านจุดสมมูลจะเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ทำให้ผลิตภัณฑ์กลายเป็นสบู่ ส่งผลให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดลง

4.10.2 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (x_2) และสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (x_1)

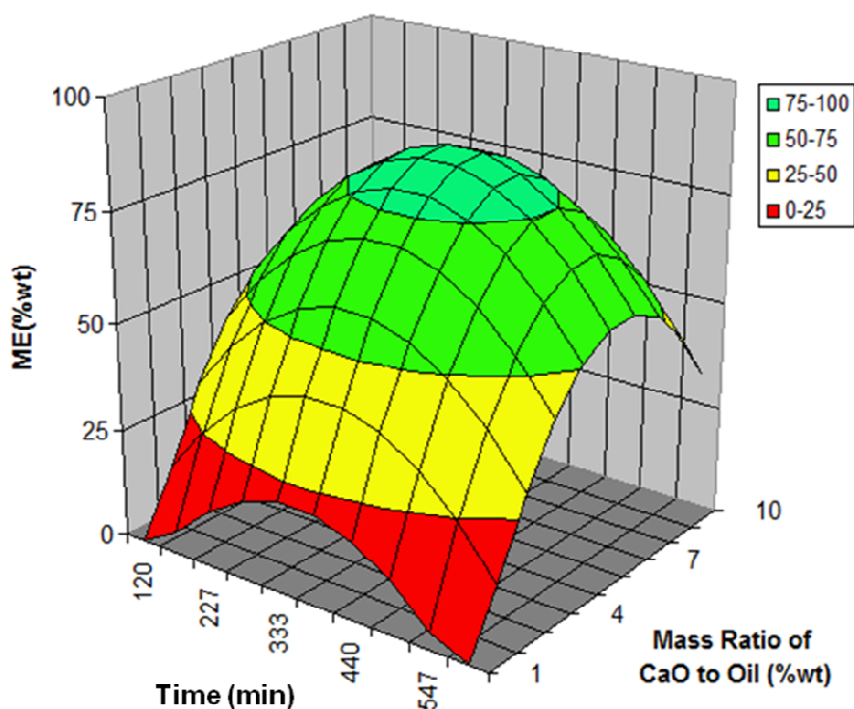


ภาพประกอบที่ 4-13 กราฟพื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (x_2) และสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (x_1) ต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้ระยะเวลาในการดำเนินปฏิกิริยาที่ 360 นาที

จากภาพประกอบที่ 4-13 เมื่อสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 9:1 พบว่าค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 24 เป็นร้อยละ 60 เมื่อปริมาณ

ของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 6 เพราะฉะนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลในเชิงบวกต่อการเกิดปฏิกิริยา แต่อย่างไรก็ตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากกว่าร้อยละ 5 ก็จะมีผลในเชิงลบต่อปฏิกิริยาได้เช่นกัน นั่นคือ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาใกล้เคียง (ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน) จนกลายเป็นสบู่ และเมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิง โมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์มากขึ้นจะส่งผลให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และยังพบอีกว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สูงขึ้นเช่นกัน

4.10.3 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (x_3) และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (x_2)



ภาพประกอบที่ 4-14 กราฟพื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (x_3) และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (x_2) ต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้สัดส่วนเชิง โมลน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลเป็น 1:15

จากภาพประกอบที่ 4-14 เมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 1 เทียบกับน้ำหนักน้ำมัน พบว่าค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และจะลดลงหลังจากเวลา 330 นาที เป็นผลมาจากในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา สารตั้งต้นจะเข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจนเกิดเป็นไบโอดีเซลและสารมัธยันต์(โมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์) ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้สามารถที่จะกลายเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาแข่งขัน(สะพอนิฟิเคชัน) กล่าวคือเป็นปฏิกิริยาที่จะส่งผลให้ทั้งสารมัธยันต์และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเปลี่ยนรูปไปเป็นสบู่ ซึ่งจะส่งผลให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้พบว่า ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและจะลดลงเมื่อมีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่าร้อยละ 6 โดยน้ำหนักน้ำมัน สืบเนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะไปทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันทำให้เกิดเป็นสบู่ส่งผลให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดลงด้วย

4.11 การหาค่าสถานะดำเนินการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยมี CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การหาค่าสถานะดำเนินการที่เหมาะสมของตัวแปรดำเนินการต่างๆ เพื่อให้ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด ทำได้โดยควบคุมตัวแปรต่างๆ ขอบเขตสูงสุดและต่ำสุดที่ตั้งไว้ และการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 แสดงฟังก์ชันเป้าหมาย และขอบเขตในการหาสถานะที่เหมาะสมเพื่อหาร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

Objective function	$y = -33.84 + 19.76x_2 + 0.24x_3 - 0.17x_1^2 - 2.12x_2^2 - 0.0005x_3^2 + 0.53x_1x_2 + 0.008x_1x_3$
Subject to	Boundary limit
	$1: 9 \leq x_1 \leq 1: 21$
	$1 \leq x_2 \leq 10$
	$120 \leq x_3 \leq 600$

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม RSM พบว่าให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ได้ 86.94 และสภาวะที่เหมาะสมแสดงได้ดังนี้

สัดส่วนเชิงโมลของ Oil : MeOH (mol:mol)	= 1:21
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (% โดยน้ำหนักน้ำมัน)	= 7.35
เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	= 407
ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	= 86.94

ซึ่งจากสภาวะที่เหมาะสมนำไปทดลองหาร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์พบว่าให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ประมาณร้อยละ 84.78 โดยคลาดเคลื่อนจากการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประมาณ ร้อยละ 2.48 ดังนั้นสมการแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการที่ (4-1) มีความแม่นยำพอสำหรับการนำไปใช้ทำนายร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

4.12 การเปรียบเทียบผลการใช้ KOH และ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

การใช้ KOH และ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน พบว่าใช้ปริมาณวัตถุดิบ ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา หรืออุณหภูมิในการดำเนินการมีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-4 แสดงสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไบโอดีเซลของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิด

ตัวแปรของกระบวนการ	ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา		
	KOH*	CaO** (เกรดทางการค้า)	CaO*** (เกรด AR)
อัตราส่วนเชิง โมลของเมทานอลต่อน้ำมัน	6:1	21:1	15:1
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาท)	30	407	360
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (% ของน้ำมัน)	1	7.34	2
อุณหภูมิ (°C)	60	65	65
ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์	96.5	86.94	86.68

* Damoko and Cheryan (2009)

** ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมพื้นผิวตอบสนอง

*** ผลการทดลองที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงที่ละตัวแปร

จากตารางที่ 4-4 พบว่า CaO มีความเป็นไปได้น้อยในการนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งยังเกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น การเกิดอิมัลชันในขั้นตอนการล้าง ผลิตภัณฑ์ถูกดูดซับในตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น นอกจากนี้ในการดำเนินปฏิกิริยาที่ต้องใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจำเป็นต้องใช้เมทานอลมากเกินไป สูงกว่าการใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 2-4 เท่า เพื่อช่วยกระตุ้นให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินไปข้างหน้า จึงส่งผลให้ปริมาณเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามีปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องนำเมทานอลเหล่านั้นมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการกลั่น จากตารางยังพบอีกว่า ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในเชิงทางการค้าใช้ในปริมาณที่มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงการค้ามีพื้นที่ผิวสัมผัส ($0.386 \text{ m}^2/\text{g}$) ซึ่งน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาในห้องปฏิบัติการที่มีพื้นที่ผิวสัมผัส ($0.591 \text{ m}^2/\text{g}$) ดังนั้นจึงส่งผลให้ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงการค้าในปริมาณที่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาในห้องปฏิบัติการ

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของการผลิตไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้นเป็นทวีคูณ จึงไม่มีจุดคุ้มทุนสำหรับกระบวนการดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามไบโอดีเซลที่ได้นี้สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตรได้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งระดับคุณภาพห้องปฏิบัติการและระดับคุณภาพเชิงการค้าพบว่า มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้แทนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดอื่นที่ใช้กันโดยทั่วไป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณน้ำในเมทานอล สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน พบว่า การใช้ CaO ระดับคุณภาพห้องปฏิบัติการได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล คือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 360 นาที ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน ที่สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 15:1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักน้ำมันซึ่งให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เป็น 87.19 ส่วน การใช้ CaO ระดับคุณภาพเชิงการค้าได้ใช้เทคนิค RSM แบบ CCD ให้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคือ ใช้เวลา 407 นาที ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนักน้ำมัน ที่สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มรีไฟน์เป็น 21:1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ร้อยละ 7.34 โดยน้ำหนักน้ำมัน ซึ่งจากการทำนายโดยสมการความสัมพันธ์ และจากการทดลองให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เป็น 86.94 และ 84.78 ตามลำดับ (มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.48) นอกจากนี้พบว่าสามารถนำ CaO กลับมาใช้ซ้ำได้ถึง 10 ครั้ง โดยร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดต่ำลงเพียงเล็กน้อย

สรุปได้ว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ระดับคุณภาพห้องปฏิบัติการและเชิงการค้าให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น CaO ระดับคุณภาพเชิงการค้าจึงมีความเพียงพอสำหรับการนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพียง 87 ซึ่งการทำให้เมทิลเอสเทอร์มีความบริสุทธิ์มากขึ้น สามารถทำได้โดยการนำเมทิลเอสเทอร์ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันอีกครั้ง พบว่าได้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 95
2. CaO ควรนำไปผ่านกรรมวิธีการเผาก่อนนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเพิ่มรูพรุนให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น
3. การผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันซึ่งใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต้องอาศัยน้ำเพื่อช่วยให้ CaO แตกตัวและทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น แต่ปริมาณน้ำที่มากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (สะพอนิฟิเคชัน) ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาเราจึงควรควบคุมปริมาณน้ำให้เหมาะสมเพื่อลดปัญหาจากปฏิกิริยาข้างเคียงดังกล่าว ที่อาจส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้และความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ด้วย

บรรณานุกรม

กองบรรณาธิการเทคนิค เครื่องกลไฟฟ้า อุตสาหกรรม. 2548. ไบโอดีเซล พลังงานทดแทนช่วยชาติ. 22 (256): 154-163.

พืชไร่เศรษฐกิจ. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรมวิชาการเกษตร. Available online: <http://www.doa.go.th> (สืบค้นเมื่อ 18 มิถุนายน 2554).

Agarwal, A.K. 2006. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science. (Unpublished manuscript).

Cantrell, D.G., Gillie, L.J., Lee, A.F., and Wilson, K. 2005. Structure-reactivity correlations in MgAl hydrotalcite catalysts for biodiesel synthesis. Applied Catalysis A: General. 287: 183–190.

Demirbas, A. 2002. Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol. J. Energy Conversion and Management. 43: 2349–2356.

Dorado, M.P., Ballesteros, E., Lopez, F.J., and Mittelbach, M. 2004. Optimization of alkali catalyzed transesterification of barassica carinata oil for biodiesel production. Energy Fuels. 18: 77-83.

Du, W., Xu, Y., Liu, D., and Zeng, J. 2004. Comparative study on lipase-catalyzed transformation of soybean oil for biodiesel production with different acyl acceptors. J. Molecular Catalysis B: Enzymatic. 30: 125–129.

Ebiura, T., Echizen, T., Ishikawa, A., Murai, K., and Baba, T. 2005. Selective transesterification of triolein with methanol to methyloleate and glycerol using alumina loaded with alkali metalsalt as a solid-base catalyst. Applied Catalysis A: General. 283: 111–116.

Fukuda, H., Kondo, A., and Noda, H. 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. J. Bioscience and Bioengineering. 92: 405-416.

- Ghadge, S.V. and Raheman, H. 2005. Biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil having high free fatty acids. *Biomass and Bioenergy*. 28: 601-605.
- Gryglewicz, S., 1999. Rapeseed oil methyl esters preparation using heterogeneous catalysts. *Bioresource Technology*. 70: 249-253.
- Hsiao, M.C., Lin, C.C., and Chang, Y.H. 2011. Microwave irradiation-assisted transesterification of soybean oil to biodiesel catalyzed by nanopowder calcium oxide. *Fuel* 90: 1963–1967.
- Huaping, Z., Zongbin, W., Yuanxiong, C., Ping, Z., Shijie, D., Xiaohua, L., Zongqiang, M. 2006. Preparation of Biodiesel Catalyzed by Solid Super Base of Calcium Oxide and Its Refining Process. *Chin J Catalysis*. 27(5): 391–396.
- Jitputti, J., Kitiyanan, B., Rangsunvigit, P., Bunyakiat, K., Attanatho, L., and Jenvanitpanjakul, P. 2005. Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalysts. *J. Chemical Engineering*. 116: 61-66.
- Kandpal, J.B. and Madan, M. 1994. *Jatropha curcas*: a renewable source of energy for meeting future energy needs. *Technical Note, Renewable Energy*. 6(2).
- Kawashima, A., Matsubara, K., and Honda, K. 2009. Acceleration of catalytic activity of calcium oxide for biodiesel production. 100:696-700.
- Kim, H.J., Kang, B.S., Kim, M.J., Park, Y.M., Kim, D.K., Lee, J.S., and Lee, K.Y. 2004. Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst. *Catalysis Today* 93–95. 315–320.
- Liu, X., He, H., Wang, Y., and Zhu, S. 2007. Transesterification of soybean oil to biodiesel using SrO as a solid base catalyst. *Catalyst Communication*. 8: 1107-1111.

- Liu, X., He, H., Wang, Y., Zhu, S., and Piao, X. 2008(a). Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. *87*: 216-221.
- Liu, X., Piao, X., Wang, Y., and Zhu, S. 2008(b). Calcium Ethoxide as a Solid Base Catalyst for the Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel. *Energy & Fuels*. *22*: 1313–1317.
- Ma, F., Clements, L.D., and Hanna, M.A. 1999. The effect of mixing on transesterification of beef tallow. *Bioresource Technology*. *69*: 289-293.
- Marchetti, J.M., Miguel, V.U., and Errazu, A.F. 2005. Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. *11*: 1300-1311.
- Meher, L.C., Sagar, D., and Naik, S.N. 2004. Technical aspects of biodiesel production by Transesterification-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. *10*: 1-21.
- Mootabadi, H., Salamatinia, B., Bhatia, S., and Zuhairi, A.A. 2010. Ultrasonic-assisted biodiesel production process from palm oil using alkaline earth metal oxides as the heterogeneous catalysts. *89*: 1818-1825.
- Ngamcharussrivichai, C., Nunthasanti, P., Tanachai, S., and Bunyakiat, K. 2010. Biodiesel production through transesterification over natural calciums. *Fuel Processing Technology*. *91*: 1409–1415.
- Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., and Muraleecharan, C. 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel*. *84*: 335-340.
- Rashid, U. and Anwar, F. 2008. Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyst transesterification of rapeseed oil. *Fuel*. *87*: 265-173.
- Srivastava, A. and Prasad, R. 1999. Triglycerides based diesel fuels. *Renewable and Sustainable Energy Review*, *4*:111-133.

- Suppes, G.J., Dasari, M.A., Daskocil, E.J., Mankidy, P.J., and Goff, M.J. 2004. Transesterification of soybean oil with zeolite and metal catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 257(2): 213-223.
- Tan, K.T., Lee, K.T., and Mohamed, A.R. 2010. A glycerol-free process to produce biodiesel by supercritical methyl acetate. *Bioresource Technology*. 101: 965–969.
- Tanabe, K. and Holderich, W.F. 1999. Industrial application of solid acid–base catalysts technology: An optimization study via Response Surface Methodology. *Applied Catalysis A*. 18: 399–434.
- Tsuji, H., Yagi, F., Hattori, H., and Kita, H. 1994. Self-condensation of n-butyraldehyde over solid base catalysts. *J Catalysis*.; 148: 759–770.
- Vicente, G., Coteron, A., Martinez, M., and Araci, J. 1998. Application of the factorial design of experiments and response surface methodology to optimize biodiesel production. *Industrial Crops and Products*. 8: 29–35
- Vicente, G., Martinez, M., and Aracil J. 2004. Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems. *Bioresource Technology*. 92: 297–305.
- Wan, Z., Hameed, B.H. 2011. Transesterification of palm oil to methyl ester on activated carbon supported calcium oxide catalyst. *Bioresource Technology*. 102: 2659–2664.
- Waste Management and Research Center. Small Scale Biodiesel Production. Available Source: www.wmrc.com. (Accessed on November 17, 2006).
- Wenlei, X., Hong, P., and Chen, L. 2006. Transesterification of soybean oil catalyzed by potassium loaded on alumina as solid-base catalyst. *Applied Catalysis A*. 300: 67.
- Xie, W.L., Peng, H., and Chen, L.G. 2006. Trans-esterification of soybean oil catalyzed by potassium loaded on alumina as a solid-base catalyst. *Applied Catalysis A: General*. 300: 67-74.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการเตรียมสารละลายและตัวอย่างการคำนวณ

ก-1 วิธีการเตรียมสารละลายและตัวอย่างการคำนวณ

1. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1 นอร์มอล

หน่วยความเข้มข้นนอร์มอล (N) คือการใช้กรัมสมมูลในการคำนวณหาความเข้มข้นแทนกรัมสูตร (มวลโมเลกุล) เนื่องจากกรัมสมมูลของ NaOH คือ 40 กรัม เท่ากับมวลโมเลกุลของ NaOH ดังนั้น NaOH 0.1 M = 0.1 N เตรียมโดยชั่ง NaOH ปริมาณ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับ ปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บสารละลาย NaOH ในขวดแก้ว

2. การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

$$\% \text{กรดไขมันอิสระ (FFA)} = \frac{\text{ปริมาณ NaOH (ml)} \times \text{ความเข้มข้น NaOH (N)} \times 25.6}{\text{น้ำหนักน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (กรัม)}} \quad (\text{ก-1})$$

ข้อมูลการไตเตรทหากรดไขมันอิสระครั้งที่ 1

$$V_{\text{NaOH}} \text{ ที่ใช้ในการไตเตรทน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 9.96 กรัม} = 2.28 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\% \text{FFA} = \frac{2.28 \times 0.1 \times 25.6}{9.96} = 0.59\%$$

ข้อมูลการไตเตรทหากรดไขมันอิสระครั้งที่ 2

$$V_{\text{NaOH}} \text{ ที่ใช้ในการไตเตรทน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 9.98 กรัม} = 2.31 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\% \text{FFA} = \frac{2.31 \times 0.1 \times 25.6}{9.98} = 0.59\%$$

ข้อมูลการไตเตรทหากรดไขมันอิสระครั้งที่ 3

$$V_{\text{NaOH}} \text{ ที่ใช้ในการไตเตรทน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 9.97 กรัม} = 2.26 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\% \text{FFA} = \frac{2.26 \times 0.1 \times 25.6}{9.97} = 0.58\%$$

ข้อมูลการไตเตรทหากรดไขมันอิสระครั้งที่ 4

$$V_{\text{NaOH}} \text{ ที่ใช้ในการไตเตรทน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 9.96 กรัม} = 2.30 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\% \text{FFA} = \frac{2.26 \times 0.1 \times 25.6}{9.97} = 0.59\%$$

$$\text{ค่าเฉลี่ย \%FFA} = \frac{0.59 + 0.59 + 0.58 + 0.59}{4} = 0.59\%$$

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มรีไฟน์

ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (mL)	ร้อยละปริมาณกรด
1	9.96	2.28	0.59
2	9.98	2.31	0.59
3	9.97	2.26	0.58
4	9.96	2.30	0.59
เฉลี่ย	9.97	2.29	0.59

3. การคำนวณหาปริมาณของสารที่ต้องใช้ในการทดลองปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

3.1 การคำนวณหาปริมาณของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอล

เมื่อกำหนดให้

$$\text{มวลโมเลกุลของน้ำมันปาล์มรีไฟน์} = 842 \text{ กรัมต่อโมล}$$

$$\text{มวลโมเลกุลของเมทานอล} = 32 \text{ กรัมต่อโมล}$$

(1) การคำนวณสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอล

ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อสัดส่วนเป็น 1:15 โมลต่อโมล คิดเป็นกรัมได้ $(1 \times 842) : (15 \times 32)$ กรัมต่อกรัม

หรือ 1:0.57 กรัมต่อกรัม

ในการทดลองใช้น้ำมัน 100 กรัม \therefore ใช้เมทานอล $0.57 \times 100 = 57$ กรัม

เมื่อสัดส่วนเป็น 1:12 โมลต่อโมล คิดเป็นกรัมได้ $(1 \times 842) : (12 \times 32)$ กรัมต่อกรัม

หรือ 1:0.45 กรัมต่อกรัม

ในการทดลองใช้น้ำมัน 100 กรัม \therefore ใช้เมทานอล $0.45 \times 100 = 45$ กรัม

ที่สัดส่วนอื่นๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันนี้ดังแสดงไว้ในตาราง ก-2

ตารางที่ ก-2 แสดงการคำนวณปริมาณของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อเมทานอลที่ใช้ในการทดลอง

สัดส่วนเชิงโมล โมล/โมล	สัดส่วนเชิงน้ำหนัก กรัม/กรัม	น้ำหนักน้ำมันปาล์มรีไฟน์ กรัม	น้ำหนักเมทานอล กรัม
1:3	100 : 0.11×100	100	11
1:6	100 : 0.22×100	100	22
1:9	100 : 0.34×100	100	34
1:12	100 : 0.45×100	100	45
1:15	100 : 0.57×100	100	57
1:18	100 : 0.68×100	100	68
1:21	100 : 0.79×100	100	79

- (2) การคำนวณหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์
การทดลองใช้ปริมาณตัวเร่งที่แตกต่างกันในช่วง 0.5-10 % โดยน้ำหนักน้ำมัน

ตัวอย่างการคำนวณ

ในกรณีใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

-ร้อยละ 5 ของแคลเซียมออกไซด์

น้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม ใช้แคลเซียมออกไซด์ 5 กรัม

-ร้อยละ 10 ของแคลเซียมออกไซด์

น้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม ใช้แคลเซียมออกไซด์ 10 กรัม

ที่ปริมาณอื่นๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันนี้ดังแสดงไว้ในตาราง ก-3

ตาราง ก-3 แสดงการคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (% โดยน้ำหนักน้ำมัน)	ปริมาณน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (กรัม)	ปริมาณ CaO (กรัม)
0.5	100	0.5
1	100	1
1.5	100	1.5
2	100	2
4	100	4
6	100	6
8	100	8
10	100	10
12	100	12
14	100	14

(3) การคำนวณหาปริมาณน้ำในเมทานอล

การทดลองใช้ปริมาณตัวเร่งที่แตกต่างกันในช่วง 0-4 % โดยน้ำหนักน้ำมัน

ตัวอย่างการคำนวณ

-ร้อยละ 3 ของน้ำในเมทานอล

น้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม ใช้น้ำในเมทานอล 3 กรัม

-ร้อยละ 1 ของน้ำในเมทานอล

น้ำมันปาล์มรีไฟน์ 100 กรัม ใช้น้ำในเมทานอล 1 กรัม

ที่ปริมาณอื่นๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันนี้ดังแสดงไว้ในตาราง ก-4

ตาราง ก-4 แสดงการคำนวณปริมาณน้ำในเมทานอลที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณน้ำในเมทานอล (% โดยน้ำหนักน้ำมัน)	ปริมาณน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (กรัม)	ปริมาณน้ำในเมทานอล (กรัม)
0	100	0
1	100	1
2	100	2
3	100	3
4	100	4

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ Gas chromatography (GC-FID)

ข-1 วิธีการวิเคราะห์ Gas chromatography (GC-FID)

1. การวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการใน DMC-biodiesel ด้วยเทคนิค GC-FID

1.1 สภาพะการทดลองของแก๊สโครมาโตกราฟี ยี่ห้อ Agilent รุ่น HP 7890A

การวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี โดยมีคอลัมน์เป็น Select™ Biodiesel ความยาวของคอลัมน์ 10 เมตร×320 ไมโครเมตร (I.D.) ×0.1 ไมโครเมตร (ความหนาของชั้นฟิล์ม)

สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

ปริมาณสารตัวอย่าง: 1 ไมโครลิตร

อุณหภูมิของ Injector: 290°C (แก๊สตัวพา (N₂) 2 มิลลิลิตร/นาที ที่อุณหภูมิ 20 °C)

อุณหภูมิของ Detector: 300°C (make up gas 30 มิลลิลิตร/นาที)

อุณหภูมิของ Oven: อุณหภูมิเริ่มต้น 210°C คงที่ไว้เป็นเวลา 12 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วย อัตรา 20°C / นาที จนถึง 250°C และคงที่ไว้เป็นเวลา 8 นาที

Split ratio: 50:1

วิธีการเตรียมตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซล

ชั่งตัวอย่างไบโอดีเซล 0.05 กรัมในขวด vial. ขนาด 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐาน n-heptadecanoate. (1 กรัมใน 100 มิลลิลิตร n-heptane)

การคำนวณร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จะแสดงเป็นสัดส่วนในรูปของปริมาณร้อยละ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (ข-1)

$$C = \frac{(\sum A) - A_{EI}}{A_{EI}} \times \frac{C_{EI} \times V_{EI}}{m} \times 100\% \quad (\text{ข-1})$$

$\sum A$ = พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดที่วิเคราะห์จากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี (C_{14:0} ถึง C_{24:1})

A_{EI} = พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานเมทิลเฮปตะเดคคาโนเอต (C₁₇)

C_{EI} = ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลเฮปตะเดคคาโนเอต (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

V_{EI} = ปริมาตรของสารละลายเมทิลเฮปตะเดคคาโนเอต (มิลลิลิตร)

m = น้ำหนักของสารตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

ภาคผนวก ค

ข้อมูลรายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองที่ได้จากโปรแกรม RSM

ค-1 ข้อมูลรายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองที่ได้จากโปรแกรม RSM

ตารางที่ ค-1 แสดงรายละเอียดสภาวะที่ใช้ในการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค RSM

การทดลอง	สัดส่วนเชิงโมลของ Oil : MeOH	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)
1	1:11	8	503
2	1:15	6	360
3	1:11	3	503
4	1:9	6	360
5	1:11	8	217
6	1:21	6	360
7	1:19	8	503
8	1:15	6	360
9	1:19	3	503
10	1:19	3	217
11	1:15	10	360
12	1:19	8	217
13	1:15	6	120
14	1:15	6	600
15	1:11	3	217
16	1:15	6	360
17	1:15	1	360

ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ซึ่งคำนวณจากสมการที่ (4-1) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลองพบว่ามีความใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ ค-2

ตารางที่ ค-2 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง

การทดลอง	ME(%wt) จากการทดลอง	ME(%wt) จากแบบจำลอง
1	54.00	53.12
2	82.00	82.65
3	44.00	41.76
4	64.30	70.77
5	65.00	62.26
6	85.00	82.29
7	78.00	78.42
8	82.00	82.65
9	44.00	45.87
10	44.00	36.72
11	64.32	57.81
12	68.00	69.27
13	50.20	53.85
14	55.00	53.85
15	55.00	50.91
16	82.00	82.65
17	15.00	18.3

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Regression

ง-1 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Regression

1 ข้อมูลสถิติของแบบจำลอง

1.1 ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

จากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์กับตัวแปรดำเนินการชนิดต่างๆ ที่ได้จากสมการที่ (4-1) โดยใช้โปรแกรม Regression และข้อมูลทางสถิติของแบบจำลองและข้อมูล ANOVA ของแบบจำลองดังตารางที่ ง-1

ตารางที่ ง-1 แสดงข้อมูลทางสถิติของแบบจำลองของร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

		P value	Std Error	-95%	95%	t Stat	VIF
b0	-33.84	0.05141	15.07	-67.94	0.257	-2.245	
b1	19.76	0.000249	3.388	12.10	27.43	5.833	44.63
b2	0.244	0.00601	0.06820	0.08926	0.398	3.571	51.44
b3	-0.168	0.00847	0.05008	-0.281	-0.05467	-3.354	15.82
b4	-2.123	2.26618E-06	0.201	-2.578	-1.668	-10.56	20.09
b5	-0.000522	4.17852E-05	7.06695E-05	-0.000682	-0.000362	-7.383	29.71
b6	0.533	0.01559	0.179	0.128	0.939	2.974	35.76
b7	0.00867	0.02733	0.00330	0.00122	0.01613	2.631	37.69

โดยแบบจำลองที่ได้มีค่า R^2 และ R^2_{adj} เท่ากับ 0.96 และ 0.93 ตามลำดับ

ภาคผนวก จ

วัดขนาดพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา



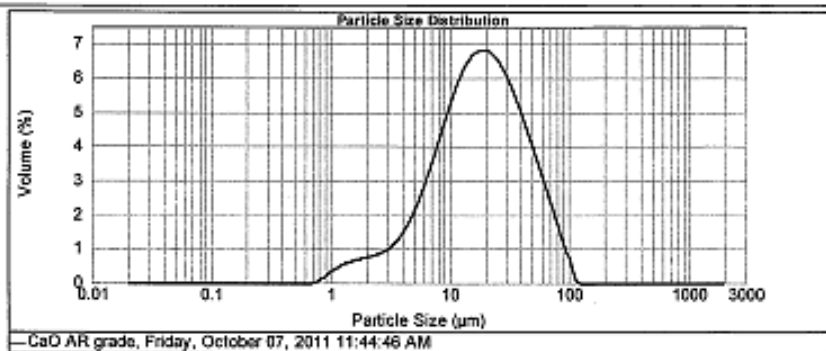
Result Analysis Report

Sample Name: CaO AR grade	SOP Name:	Measured: Friday, October 07, 2011 11:44:46 AM
Sample Source & type:	Measured by: janya	Analysed: Friday, October 07, 2011 11:44:47 AM
Sample bulk lot ref:	Result Source: Measurement	

Particle Name: CaO	Accessory Name: Hydro 2000WJ (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle Rf: 1.838	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 15.96 %
Dispersant Name: Propan-2-ol	Dispersant Rf: 1.390	Weighted Residual: 1.535 %	Result Emulsion: Off

Concentration: 0.0212 %Vol	Span : 2.605	Uniformity: 0.798	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.591 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 10.145 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 23.887 um	

d(0.1): 5.016 um d(0.5): 18.063 um d(0.9): 52.079 um



Size (um)	Volume (%)	Size (um)	Volume (%)	Size (um)	Volume (%)	Size (um)	Volume (%)
0.075	0.00	1.500	0.00	11.400	5.40	300.000	0.00
0.090	0.00	1.620	0.00	12.540	5.00	330.000	0.00
0.105	0.00	1.740	0.00	13.780	5.04	360.000	0.00
0.120	0.00	1.860	0.00	15.020	5.15	390.000	0.00
0.135	0.00	1.980	0.00	16.260	5.11	420.000	0.00
0.150	0.00	2.100	0.00	17.500	5.04	450.000	0.00
0.165	0.00	2.220	0.00	18.740	5.15	480.000	0.00
0.180	0.00	2.340	0.00	19.980	5.11	510.000	0.00
0.195	0.00	2.460	0.00	21.220	5.04	540.000	0.00
0.210	0.00	2.580	0.00	22.460	5.15	570.000	0.00
0.225	0.00	2.700	0.00	23.700	5.11	600.000	0.00
0.240	0.00	2.820	0.00	24.940	5.04	630.000	0.00
0.255	0.00	2.940	0.00	26.180	5.15	660.000	0.00
0.270	0.00	3.060	0.00	27.420	5.11	690.000	0.00
0.285	0.00	3.180	0.00	28.660	5.04	720.000	0.00
0.300	0.00	3.300	0.00	29.900	5.15	750.000	0.00
0.315	0.00	3.420	0.00	31.140	5.11	780.000	0.00
0.330	0.00	3.540	0.00	32.380	5.04	810.000	0.00
0.345	0.00	3.660	0.00	33.620	5.15	840.000	0.00
0.360	0.00	3.780	0.00	34.860	5.11	870.000	0.00
0.375	0.00	3.900	0.00	36.100	5.04	900.000	0.00
0.390	0.00	4.020	0.00	37.340	5.15	930.000	0.00
0.405	0.00	4.140	0.00	38.580	5.11	960.000	0.00
0.420	0.00	4.260	0.00	39.820	5.04	990.000	0.00
0.435	0.00	4.380	0.00	41.060	5.15	1020.000	0.00
0.450	0.00	4.500	0.00	42.300	5.11	1050.000	0.00
0.465	0.00	4.620	0.00	43.540	5.04	1080.000	0.00
0.480	0.00	4.740	0.00	44.780	5.15	1110.000	0.00
0.495	0.00	4.860	0.00	46.020	5.11	1140.000	0.00
0.510	0.00	4.980	0.00	47.260	5.04	1170.000	0.00
0.525	0.00	5.100	0.00	48.500	5.15	1200.000	0.00
0.540	0.00	5.220	0.00	49.740	5.11	1230.000	0.00
0.555	0.00	5.340	0.00	50.980	5.04	1260.000	0.00
0.570	0.00	5.460	0.00	52.220	5.15	1290.000	0.00
0.585	0.00	5.580	0.00	53.460	5.11	1320.000	0.00
0.600	0.00	5.700	0.00	54.700	5.04	1350.000	0.00
0.615	0.00	5.820	0.00	55.940	5.15	1380.000	0.00
0.630	0.00	5.940	0.00	57.180	5.11	1410.000	0.00
0.645	0.00	6.060	0.00	58.420	5.04	1440.000	0.00
0.660	0.00	6.180	0.00	59.660	5.15	1470.000	0.00
0.675	0.00	6.300	0.00	60.900	5.11	1500.000	0.00
0.690	0.00	6.420	0.00	62.140	5.04	1530.000	0.00
0.705	0.00	6.540	0.00	63.380	5.15	1560.000	0.00
0.720	0.00	6.660	0.00	64.620	5.11	1590.000	0.00
0.735	0.00	6.780	0.00	65.860	5.04	1620.000	0.00
0.750	0.00	6.900	0.00	67.100	5.15	1650.000	0.00
0.765	0.00	7.020	0.00	68.340	5.11	1680.000	0.00
0.780	0.00	7.140	0.00	69.580	5.04	1710.000	0.00
0.795	0.00	7.260	0.00	70.820	5.15	1740.000	0.00
0.810	0.00	7.380	0.00	72.060	5.11	1770.000	0.00
0.825	0.00	7.500	0.00	73.300	5.04	1800.000	0.00
0.840	0.00	7.620	0.00	74.540	5.15	1830.000	0.00
0.855	0.00	7.740	0.00	75.780	5.11	1860.000	0.00
0.870	0.00	7.860	0.00	77.020	5.04	1890.000	0.00
0.885	0.00	7.980	0.00	78.260	5.15	1920.000	0.00
0.900	0.00	8.100	0.00	79.500	5.11	1950.000	0.00
0.915	0.00	8.220	0.00	80.740	5.04	1980.000	0.00
0.930	0.00	8.340	0.00	81.980	5.15	2010.000	0.00
0.945	0.00	8.460	0.00	83.220	5.11	2040.000	0.00
0.960	0.00	8.580	0.00	84.460	5.04	2070.000	0.00
0.975	0.00	8.700	0.00	85.700	5.15	2100.000	0.00
0.990	0.00	8.820	0.00	86.940	5.11	2130.000	0.00
1.005	0.00	8.940	0.00	88.180	5.04	2160.000	0.00
1.020	0.00	9.060	0.00	89.420	5.15	2190.000	0.00
1.035	0.00	9.180	0.00	90.660	5.11	2220.000	0.00
1.050	0.00	9.300	0.00	91.900	5.04	2250.000	0.00
1.065	0.00	9.420	0.00	93.140	5.15	2280.000	0.00
1.080	0.00	9.540	0.00	94.380	5.11	2310.000	0.00
1.095	0.00	9.660	0.00	95.620	5.04	2340.000	0.00
1.110	0.00	9.780	0.00	96.860	5.15	2370.000	0.00
1.125	0.00	9.900	0.00	98.100	5.11	2400.000	0.00
1.140	0.00	10.020	0.00	99.340	5.04	2430.000	0.00
1.155	0.00	10.140	0.00	100.580	5.15	2460.000	0.00
1.170	0.00	10.260	0.00	101.820	5.11	2490.000	0.00
1.185	0.00	10.380	0.00	103.060	5.04	2520.000	0.00
1.200	0.00	10.500	0.00	104.300	5.15	2550.000	0.00
1.215	0.00	10.620	0.00	105.540	5.11	2580.000	0.00
1.230	0.00	10.740	0.00	106.780	5.04	2610.000	0.00
1.245	0.00	10.860	0.00	108.020	5.15	2640.000	0.00
1.260	0.00	10.980	0.00	109.260	5.11	2670.000	0.00
1.275	0.00	11.100	0.00	110.500	5.04	2700.000	0.00
1.290	0.00	11.220	0.00	111.740	5.15	2730.000	0.00
1.305	0.00	11.340	0.00	112.980	5.11	2760.000	0.00
1.320	0.00	11.460	0.00	114.220	5.04	2790.000	0.00
1.335	0.00	11.580	0.00	115.460	5.15	2820.000	0.00
1.350	0.00	11.700	0.00	116.700	5.11	2850.000	0.00
1.365	0.00	11.820	0.00	117.940	5.04	2880.000	0.00
1.380	0.00	11.940	0.00	119.180	5.15	2910.000	0.00
1.395	0.00	12.060	0.00	120.420	5.11	2940.000	0.00
1.410	0.00	12.180	0.00	121.660	5.04	2970.000	0.00
1.425	0.00	12.300	0.00	122.900	5.15	3000.000	0.00
1.440	0.00	12.420	0.00	124.140	5.11	3030.000	0.00
1.455	0.00	12.540	0.00	125.380	5.04	3060.000	0.00
1.470	0.00	12.660	0.00	126.620	5.15	3090.000	0.00
1.485	0.00	12.780	0.00	127.860	5.11	3120.000	0.00
1.500	0.00	12.900	0.00	129.100	5.04	3150.000	0.00
1.515	0.00	13.020	0.00	130.340	5.15	3180.000	0.00
1.530	0.00	13.140	0.00	131.580	5.11	3210.000	0.00
1.545	0.00	13.260	0.00	132.820	5.04	3240.000	0.00
1.560	0.00	13.380	0.00	134.060	5.15	3270.000	0.00
1.575	0.00	13.500	0.00	135.300	5.11	3300.000	0.00
1.590	0.00	13.620	0.00	136.540	5.04	3330.000	0.00
1.605	0.00	13.740	0.00	137.780	5.15	3360.000	0.00
1.620	0.00	13.860	0.00	139.020	5.11	3390.000	0.00
1.635	0.00	13.980	0.00	140.260	5.04	3420.000	0.00
1.650	0.00	14.100	0.00	141.500	5.15	3450.000	0.00
1.665	0.00	14.220	0.00	142.740	5.11	3480.000	0.00
1.680	0.00	14.340	0.00	143.980	5.04	3510.000	0.00
1.695	0.00	14.460	0.00	145.220	5.15	3540.000	0.00
1.710	0.00	14.580	0.00	146.460	5.11	3570.000	0.00
1.725	0.00	14.700	0.00	147.700	5.04	3600.000	0.00
1.740	0.00	14.820	0.00	148.940	5.15	3630.000	0.00
1.755	0.00	14.940	0.00	150.180	5.11	3660.000	0.00
1.770	0.00	15.060	0.00	151.420	5.04	3690.000	0.00
1.785	0.00	15.180	0.00	152.660	5.15	3720.000	0.00
1.800	0.00	15.300	0.00	153.900	5.11	3750.000	0.00
1.815	0.00	15.420	0.00	155.140	5.04	3780.000	0.00
1.830	0.00	15.540	0.00	156.380	5.15	3810.000	0.00
1.845	0.00	15.660	0.00	157.620	5.11	3840.000	0.00
1.860	0.00	15.780	0.00	158.860	5.04	3870.000	0.00
1.875	0.00	15.900	0.00	160.100	5.15	3900.000	0.00
1.890	0.00	16.020	0.00	161.340	5.11	3930.000	0.00
1.905	0.00	16.140	0.00	162.580	5.04	3960.000	0.00
1.920	0.00	16.260	0.00	163.820	5.15	3990.000	0.00
1.935	0.00	16.380	0.00	165.060	5.11	4020.000	0.00
1.950	0.00	16.500	0.00	166.300	5.04	4050.000	0.00
1.965	0.00	16.620	0.00	167.540	5.15	4080.000	0.00
1.980	0.00	16.740	0.00	168.780	5.11	4110.000	0.00
1.995	0.00	16.860	0.00	170.020	5.04	4140.000	0.00
2.010	0.00	16.980	0.00	171.260	5.15	4170.000	

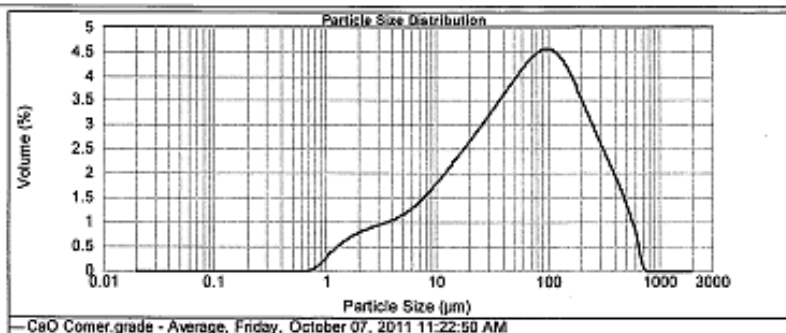


Result Analysis Report

Sample Name: CaO Comer grade - Average
Sample Source & type:
Sample bulk lot ref:
SOP Name:
Measured by: janya
Result Source: Averaged
Measured: Friday, October 07, 2011 11:22:50 AM
Analysed: Friday, October 07, 2011 11:22:52 AM

Particle Name: CaO	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle ID: 1.833	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 13.37 %
Dispersant Name: Propan-2-ol	Dispersant RI: 1.350	Weighted Residual: 2.117 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0268 %Vol	Spas : 4.427	Uniformity: 1.35	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.389 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 15.423 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 107.248 um	

d(0.1): 8.295 um d(0.5): 51.793 um d(0.9): 278.631 um



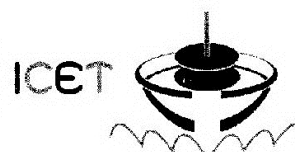
CaO Comer grade - Average, Friday, October 07, 2011 11:22:50 AM

Bin (µm)	Volume (%)	Bin (µm)	Volume (%)	Bin (µm)	Volume (%)	Bin (µm)	Volume (%)	Bin (µm)	Volume (%)
2.019	0.00	3.199	0.00	1.096	0.38	11.482	1.94	120.225	3.88
2.071	0.00	3.129	0.00	1.250	0.47	13.183	1.98	136.330	3.79
2.023	0.00	3.138	0.00	1.445	0.57	15.135	2.14	155.490	3.55
2.015	0.00	3.158	0.00	1.680	0.65	17.378	2.39	181.870	3.29
2.017	0.00	3.182	0.00	1.963	0.65	19.993	2.59	208.930	3.29
2.020	0.00	3.206	0.00	2.188	0.71	22.989	2.45	238.880	3.00
2.023	0.00	3.240	0.00	2.510	0.77	26.323	2.62	275.450	2.71
2.028	0.00	3.273	0.00	2.884	0.85	30.020	2.79	316.220	2.40
2.030	0.00	3.315	0.00	3.311	0.89	34.074	2.99	363.370	2.14
2.038	0.00	3.363	0.00	3.782	0.94	38.511	3.14	416.850	1.98
2.042	0.00	3.417	0.00	4.286	1.01	43.329	3.48	476.530	1.88
2.048	0.00	3.478	0.00	4.772	1.08	48.481	3.67	540.541	1.80
2.052	0.00	3.552	0.00	5.194	1.13	53.926	3.63	608.817	1.55
2.055	0.00	3.621	0.00	6.627	1.29	59.185	3.57	674.498	1.50
2.058	0.00	3.704	0.04	7.586	1.41	75.435	4.07	811.764	0.00
2.078	0.00	3.822	0.12	8.740	1.55	81.941	4.12	854.860	0.00
2.091	0.00	3.955	0.26	10.000	1.69	104.710	4.12	1066.470	0.00
2.128	0.00	4.096	0.26	11.482	1.69	130.226	4.08	1250.825	0.00

Operator notes: Pump speed: 2020 rpm.
Take sample by Song

ภาคผนวก ฉ

บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ



ICET2011-141

FEASIBILITY STUDY OF USING CaO FOR BIODIESEL PRODUCTION BY TRANSESTERIFICATION OF PALM OIL

Patthanun Phoosakul^{1*}, Sutham Sukmanee¹ and Kulchanat Prasertsit¹

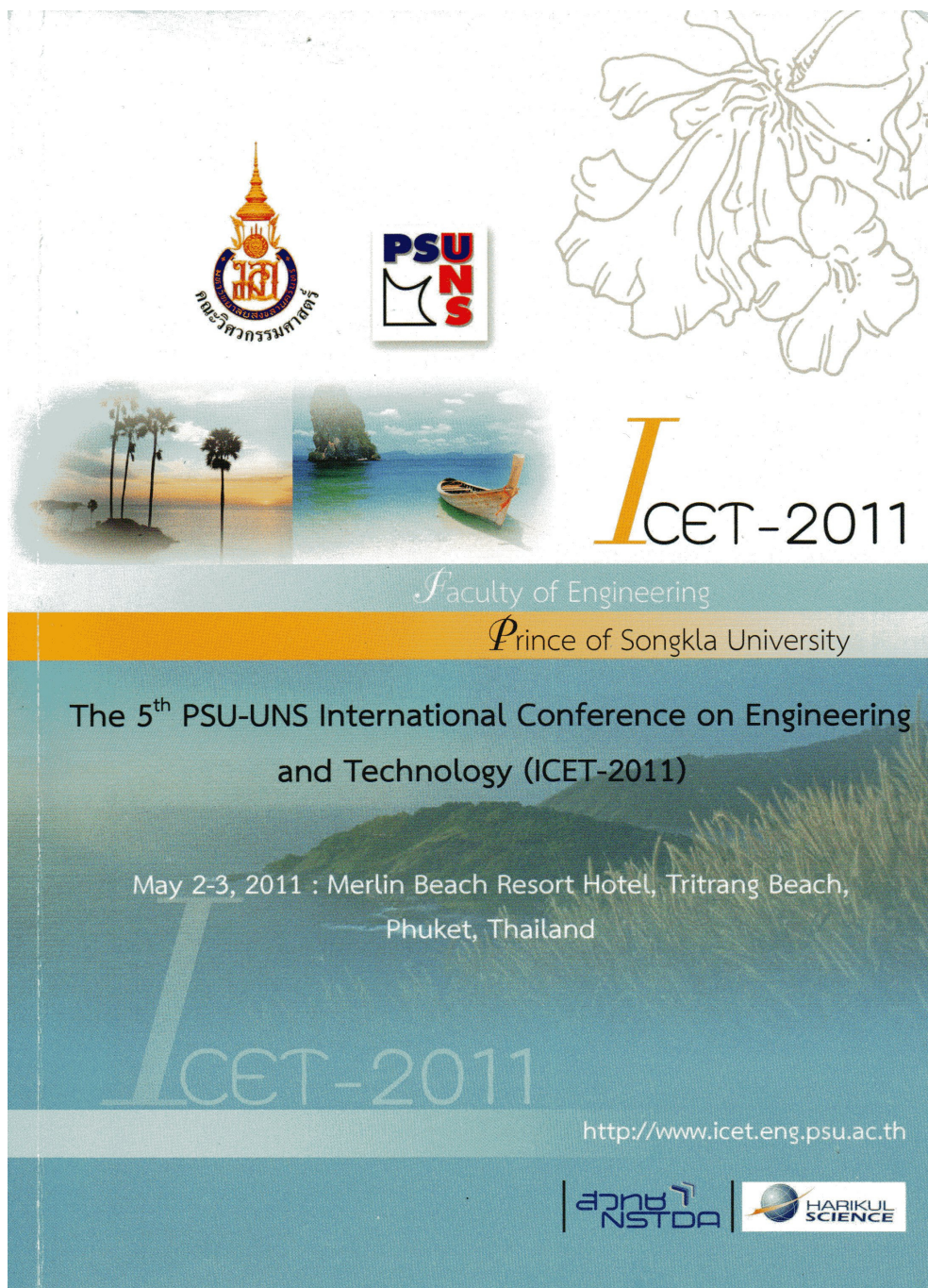
¹Prince of Songkla University, Faculty of Engineering, Thailand

*E-mail: soso_gift@hotmail.com

Abstract

Production of biodiesel is greatly increasing due to its clean burning, non-toxic and biodegradable alternative fuel which comes from 100% renewable materials. However, homogeneous catalysts in production process are still disadvantages. Introducing a solid heterogeneous catalyst in biodiesel production could support the performance of reaction to the higher yield. In this study, transesterification of palm oil using CaO as a solid base catalyst was investigated. Four parameters are molar ratio of methanol to oil, addition of CaO catalyst, retention time, and water content was studied in biodiesel production. The preliminary results shows that at 15:1 molar ratio of methanol to oil, addition of 2% CaO catalyst, 6 h. of retention time, 65°C reaction temperature, and 3% water content in methanol produce 86.23% purity of methyl ester.

Key Words: Biodiesel/ Palm Oil/ Heterogeneous Catalyst/ Homogeneous Catalyst/ Transesterification/ CaO



The cover features a collage of images: a golden stupa, a PSU-UNS logo, a white floral outline, a tropical beach with palm trees, a boat on a bay, and a large background image of a tropical coastline with a road leading to the sea.

ICET-2011

Faculty of Engineering
Prince of Songkla University

The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering
and Technology (ICET-2011)

May 2-3, 2011 : Merlin Beach Resort Hotel, Tritrang Beach,
Phuket, Thailand

<http://www.icet.eng.psu.ac.th>

NSTDA | HARIKUL SCIENCE



The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011), Phuket, May 2-3, 2011
Prince of Songkla University, Faculty of Engineering
Hat Yai, Songkhla, Thailand 90112

FEASIBILITY STUDY OF USING CaO FOR BIODIESEL PRODUCTION BY TRANSESTERIFICATION OF PALM OIL

Patthanun Phoosakul^{1*}, Sutham Sukmanee¹ and Kulchanat Prasertsit¹

¹Prince of Songkla University, Faculty of Engineering, Thailand

*e-mail: soso_gift@hotmail.com

Abstract: Production of biodiesel is greatly increasing due to its clean burning, non-toxic and biodegradable alternative fuel which comes from 100% renewable materials. However, homogeneous catalysts in production process are still disadvantages. Introducing a solid heterogeneous catalyst in biodiesel production could support the performance of reaction to the higher yield. In this study, transesterification of palm oil using CaO as a solid base catalyst was investigated. Four parameters are molar ratio of methanol to oil, addition of CaO catalyst, retention time, and water content was studied in biodiesel production. The preliminary results shows that at 15:1 molar ratio of methanol to oil, addition of 2% CaO catalyst, 6 h. of retention time, 65 °C reaction temperature, and 3% water content in methanol produce 86.23% purity of methyl ester.

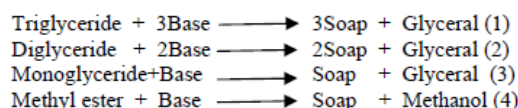
Key Words: Biodiesel/ palm oil/ heterogeneous catalyst/ homogeneous catalyst/ Transesterification/ CaO

1. INTRODUCTION

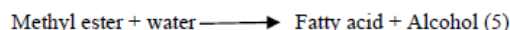
The concept of biodiesel as an alternative diesel fuel has been gaining great importance worldwide for its good quality exhaust, sustainability, biodegradability and can be used in conventional diesel engines without significant modifications [1, 2]. The most common method for the synthesis of biodiesel involves the use of homogeneous base catalysts such as sodium or potassium hydroxide (NaOH or KOH) which allow completion of transesterification with in a few hours [3] as shown in figure 1.

However, the common method still has side reactions such as

1. Saponification: the reaction between free fatty acids (FFAs) in oil feed, or methyl ester (ME) reacts with the base catalyst as shown in the following equation [4].



2. Hydrolysis: the reaction between ME with water that is byproduct to from the fatty (FA) acid and alcohol as shown in the following equation (5)



Besides, the removal of homogeneous catalysts is technically difficult, thus it increases the operation cost [5]. To avoid these problems, several types of biodiesel production process have been studied: heterogeneous catalysts, Acid catalyst, supercritical process and enzymatic process. Heterogeneous base catalysts have many advantages: noncorrosive [3], stable, easy separation and reuse.

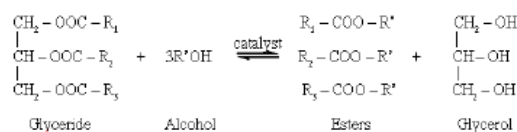


Fig. 1. The reaction of a fat or oil with an alcohol to form esters and glycerol

Calcium oxide (CaO) is the heterogeneous catalysts. To producing biodiesel using CaO as a solid base catalyst, the reaction rate was slow and it required 6-24 h to obtain high conversion with their most active catalyst [6, 7]. However, this process has many benefits such as high activity, gentle reaction conditions, long catalyst lifetimes and low catalyst cost [3].

In this work, the production of biodiesel using CaO as heterogeneous catalyst was investigated. The molar ratio of methanol to oil, amount of CaO catalyst,

retention time, and water content were parameter that studied in biodiesel production.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

In this study, palm oil contained free fatty acid about 0.3-0.6 % and less than 1% moisture content (from Specialized R&D Center for Alternative Energy from Palm Oil and Oil Crop Songkhla, Thailand) was used with a commercial grade methanol as reactants. The AR CaO catalyst was purchased from Sigma.

2.2. Apparatus and reaction procedure

Transesterification reaction was carried out in a 250 ml two-neck glass flask connecting with a reflux condenser. The reaction procedure was as follows: first, the palm oil was put to the reactor and heated to 65°C while CaO, methanol and water were mixed and stirred at room temperature (30°C) for activation. After 0.5 h, the mixture was added to the oil reactor and stirred at rate of 750 rpm for desired time. The experimental conditions were showed in table 1.

At the end of the reaction, the product was filtrated to remove the catalyst and evaporated under vacuum in order to get rid of the excess methanol. After that the product was washed to eliminate the remaining base catalyst that is and evaporated the water at 120°C for 24 h.

Table 1. Conditions of using CaO for biodiesel production by transesterification of palm oil.

Exp	Time (h)	Methanol to oil molar ratio	Mass ratio of CaO to oil (%wt)	Water content in ethanol(%wt)
1	0-14	12:1	4	3
2	Optimum	3:1 – 21:1	4	3
3	Optimum	Optimum	0.5-14	3
4	Optimum	Optimum	Optimum	0-4

2.3 Product analysis

The content of Fatty Acid Methyl Ester (FAME or ME) in product was analyzed by a GC-7890 gas chromatography (Agilent 7890A). Its column was a Select™ Biodiesel for FAME (capillary column, length 30 m x 320 µm I.D. x 0.25 µm film thickness, Varian Part No. CP-9080). Initial column temperature was 210°C and kept it for 12 minutes. Then the column was raised to 250 C at the rate of 20°C/min and maintained this temperature for 8 minutes. The temperature of the injector and the flame ionization detector (FID) was 290 and 300°C, respectively. The FAME content was quantitatively determined by using the concentration of methyl heptadecanoate (C17:0, internal standard).

Sample Preparation:

Approximately 250 mg of sample was filled in a 10 mL vial, then 5 mL of methyl heptadecanoate solution (10 mg/mL) was added.

Calculations:

The ester content (C) expressed as a fraction in percent, is calculated using the following formula:

$$C = \frac{(\sum A) - A_{EI}}{A_{EI}} \times \frac{C_{EI} \times V_{EI}}{m} \times 100\%$$

$\sum A$ = the total peak area from the FAME C_{14:0} to C_{24:1}.

A_{EI} = the peak area of methyl heptadecanoate.

C_{EI} = the concentration, in mg/mL, of the methyl heptadecanoate solution.

V_{EI} = the volume, in mL, of the methyl heptadecanoate solution.

m = the mass, in mgr, of the sample.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Effect of residence time on purity of methyl ester

The effect of reaction time as shown in figure 2 was studied on transesterification of palm oil with methanol and the presence of CaO catalyst with and without added water. After the start of each experimental, the liquid product was checked for %ME by GC to check the changing of reactant.

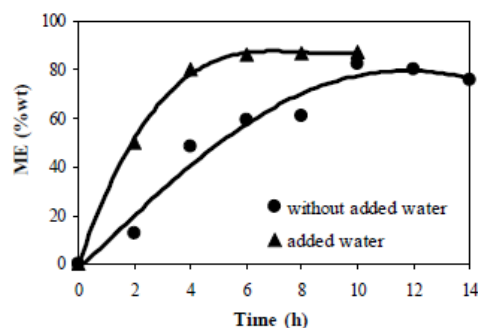


Fig. 2. The effect of residence time on purity of methyl ester. CaO to oil mass ratio: 4%; methanol to oil molar ratio: 12:1; reaction temperature: 65°C; water content: 3%.

In the case of added water, the purity of ME demonstrates slightly increasing within the first 6 h and finally reached the steady state. Another case uses 12 h for increased the ME content in the product. Beyond this point, the ME decreased due to the long time of reaction support the side reaction between products with catalyst to become soap. The result showed that the reaction with 3%wt water respected to oil produced ME faster than the reaction without water. It because the alkaline catalyst required water to dissolve and to generates methoxide anion. Although this anion is weak basic, it still has activity in transesterification [3].

3.2. Effect of water content in methanol on purity of methyl ester

Figure 3 shows the effect of water content on purity of ME. The ratio of 0, 1, 2, 3 and 4%wt of oil were investigated. The ME content in the product increased from 50% to 82% as the ratio of water increased from 0 to 3%. After this point, the %wt of ME decreased by side reaction. The result shows that the optimum ratio in this study is 3%.

The anhydrous system of biodiesel process by transesterification in the presence of CaO as catalyst has low purity of ME as shown in Figure 3. This was a result from methanol can not be converted to methoxide. The active catalyst is generated from surface O^{2-} of CaO extracts H^+ from H_2O to form the surface of OH^- . Then, the OH^- extracts H^+ from methanol to generate the methoxide anion which is the active catalyst [3].

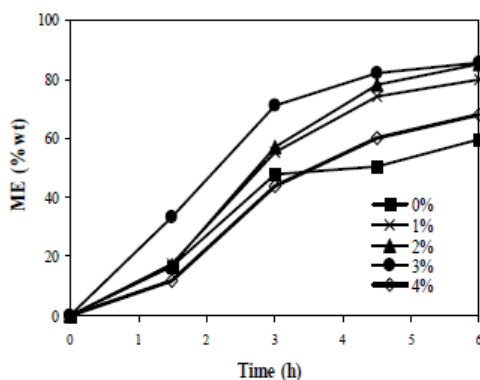


Fig. 3. The effect of water content in methanol on purity of methyl ester. Methanol to oil molar ratio: 12:1; reaction temperature: 65°C; CaO to oil mass ratio 4%.

3.3. Effect of molar ratio of methanol to oil on purity of methyl ester

Figure 4 shows the effect of methanol to oil ratio on purity of ME in the product. The ME content in the product increases from 35.00% to 88.00% as the methanol to oil molar ratio increases from 3.0:1 to 15.0:1. However the methanol to oil ratio a higher than 15.0:1 given the lower purity of ME because of the methanol-oil phase separation.

3.4. Effect of mass ratio of CaO to oil on purity of methyl ester and soap content.

Figure 5 shows the effect of the %wt of catalyst to oil on purity of ME in product. The result indicates that the purity of methyl ester was significantly improved with an increase of CaO. The purity of methyl ester reached 85.00% when the %wt of CaO was 2%. However, the higher catalyst has negative effect on the biodiesel production. This is result from the condition with a high concentration of alkaline base support the side reaction (saponification) as shown in figure 6.

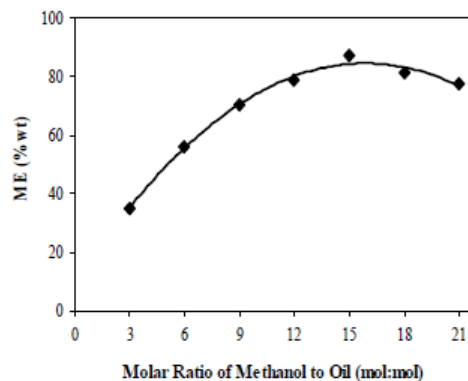


Fig. 4. The effect of molar ratio of methanol to oil on purity of methyl ester. CaO to oil mass ratio: 4%; reaction temperature: 65°C; water content: 3%; reaction time 6 h.

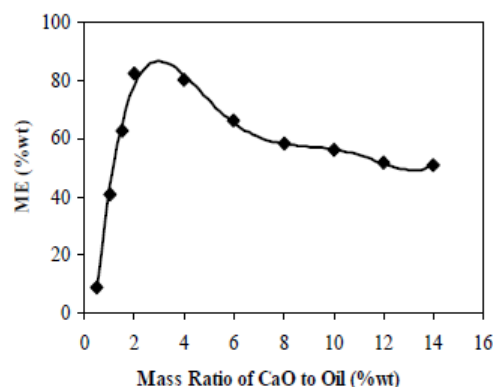


Fig. 5. The effect of mass ratio of CaO to oil on purity of methyl ester. Methanol to oil molar ratio: 15:1; reaction temperature: 65°C; water content: 3%; reaction time 6 h.

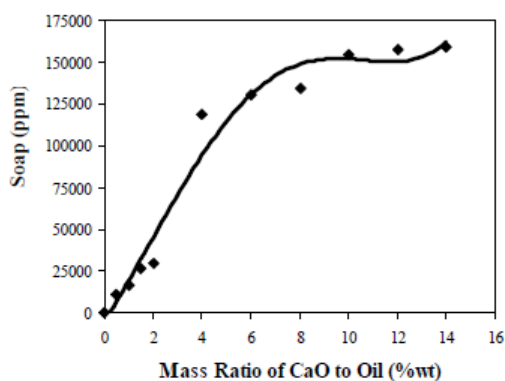


Fig. 6. The effect of mass ratio of CaO to oil to soap formation. Methanol to oil molar ratio: 15:1; reaction temperature: 65°C; water content: 3%; reaction time 6 h.

Figure 6 shows the effect of mass ratio of CaO to oil to soap formation. The result shows that the quantity of

soap increased while the ratio increased since higher catalyst support higher soap formation, corresponding to previous work

4. CONCLUSION

The preliminary results shows that CaO heterogeneous catalyst process has been found to be feasible for the production of biodiesel. Water has an important impact on purity of methyl ester in the transesterification of palm oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. Furthermore, it was observed that a small amount of water increased the reaction rates compared to the anhydrous condition. The optimum conditions of this process to produced 86.23% purity of methyl ester were 15:1 molar ratio of methanol to oil, addition of 2% CaO catalyst, 6 h. of retention time, 65°C reaction temperature, and 3% water content in methanol.

5. ACKNOWLEDGMENTS

The researchers would like to thank DoE (Discipline of Excellent chemical engineering) for the financial support and also thank Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering for their support.

6. REFERENCES

- [1] C. Mueanmas, K. Prasertsit, and C. Tongurai, "Feasibility Study of Reactive Distillation Column for Transesterification of Palm Oils", *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 2010, Vol. 1, No. 1, pp. 77-83.
- [2] B. Hai-xin, S. Xiao-zhen, L. Xiao-hua, and L. Sheng-yong, "Synthesis of Porous CaO Microsphere and Its Application in Catalyzing Transesterification Reaction for Biodiesel", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 2009, Vol. 19, pp. 674-677.
- [3] X. Liu, H. He, Y. Wang, S. Zhu, and X. Piao, "Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel Using CaO as a Solid Base Catalyst", *Fuel*, 2008, Vol. 87, pp. 216-221.
- [4] L. Bournay, D. Casanave, B. Delfort, G. Hillion, and J.A. Chodorge, "New heterogeneous process for biodiesel production: a way to improve the quality and the value of the crude glycerin produced by biodiesel plants", *Cat Today*, 2005, Vol.106, pp. 190-192.
- [5] Z. Huaping, W. Zongbin, C. Yuanxiong, Z. Ping, D. Shijie, L. Xiaohua, and M. Zongqiang, "Preparation of Biodiesel Catalyzed by Solid Super Base of Calcium Oxide and Its Refining Process", *Chin J Catal*, 2006, Vol. 27, No.5, pp. 91-396.
- [6] Hai-xin., S. Xiao-zhen, L. Xiao-hua., and L. Sheng-yong, "Synthesis of porous CaO microsphere and its application in catalyzing transesterification reaction for biodiesel", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 2009, Vol.19, pp. 74-677.

- [7] M. abeti, W. Daud, and M. Aroua, "Activity of solid catalysts for biodiesel production: A review", *Fuel Process Technol*, 2009, Vol. 90, pp. 770-777.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายพัทธนันท์ ภูสกุล

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5210120135

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2552

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนโครงการสู่ความเป็นเลิศสาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Patthanun Phoosakul, Kulchanat Prasertsit and Sutham Sukmanee . 2011. Feasibility Study of
Using CaO for Biodiesel Production by Transesterification of Palm Oil. Proceeding of
2011 International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011), Phuket,
Thailand, May 2-3, 2011, pp. 141.