



การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันทอดใช้แล้ว
โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์
**Continuous Biodiesel Production from Used Frying Oil
Using Sodium Methoxide as Catalyst**

รุ่งทิพย์ ชัยเดช
Rungthip Chaidet

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**

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้
 ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์

ผู้เขียน นางสาวรุ่งทิพย์ ชัยเดช

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

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

.....ประธานกรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

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

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์)

.....กรรมการ
 (ดร.สุรัสวดี กังสนันท์)

.....กรรมการ
 (ดร.ณัฐวรรณ กัดแก้ว)

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
 ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวรุ่งทิพย์ ชัยเดช)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวรุ่งทิพย์ ชัยเดช)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์
ผู้เขียน	นางสาวรุ่งทิพย์ ชัยเดช
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากสถานการณ์ราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องนอกจากนี้ไบโอดีเซลยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและผลิตจากน้ำมันพืชซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้แต่ในปัจจุบันน้ำมันพืชซึ่งเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีราคาที่สูงกว่าแก๊สหรือน้ำมันดิบอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตจึงได้นำน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้ทำการศึกษการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้ว ผ่านการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เมทานอลและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมเมทอกไซด์ ดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการโดยกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแบบต่อเนื่อง มีเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาขนาด 735 มิลลิลิตร ในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ คือ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ (0.5 – 1.5% โดยน้ำหนัก) เวลาในการทำปฏิกิริยา (5, 8, 12, 15 นาที) อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (5.5:1, 6:1, 6.5:1) ปริมาณกรดไขมันอิสระ (0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (50, 55, 60, 65 องศาเซลเซียส) และความเร็วรอบในการกวน 900 รอบต่อนาที โดยจะมีการศึกษาและวิเคราะห์ผลได้ของไบโอดีเซลและร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล จากการศึกษาพบว่าค่าที่มีอิทธิพลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมากที่สุดคือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา รองลงมาคืออัตราส่วน โมลเมทานอลต่อ น้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาตามลำดับส่วนผลได้ของไบโอดีเซลนั้นค่าที่มีอิทธิพลมากที่สุดคือปริมาณกรดไขมันอิสระและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา รองลงมาคืออัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมันเวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาตามลำดับ

Thesis Title	Continuous Biodiesel Production from Used Frying Oil Using Sodium Methoxide as Catalyst
Author	Miss Rungthip Chaidet
Major Program	Chemical Engineering
Academic Year	2013

Abstract

Biodiesel recently has become more attractive because of environmental benefits and the fact that it is made from renewable resources. Nowadays, the high cost of diesel-based petroleum is the main reason why biodiesel is attractive. The main problem in biodiesel production is high vegetable oil cost. One way of possibility is to reduce the raw material cost by using used frying oil. In this research study, used frying oil (UFO) from restaurants was used to produce biodiesel through transesterification with methanol, using sodium methoxide as a catalysts. A continuous transesterification was carried out by using a cylindrical column volume of 735 ml. A series of experiments was conducted in order to evaluate the effects of reaction variables such as catalyst concentration (0.5-1.5%wt), retention time (5, 8, 12, 15 minute), methanol/oil molar ratio (5.5:1, 6:1, 6.5:1), free fatty acid (FFA) content (0.5,1.0, 1.5%wt), temperature (50, 55, 60, 65°C) and stirring intensity 900 rpm to achieve the maximum yield and purity. The purity of biodiesel is strongly depended on the catalyst concentration and the molar ratio of methanol/oil while the temperature and retention time of reaction shows the small influence. The most effected factors to yield of biodiesel are free fatty acid (FFA) and catalyst concentration whereas the methanol/oil molar ratio, retention time and temperature are mild influence.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	5
2.1 น้ำมันทอดใช้แล้ว	6
2.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล	9
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสบู่	18
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	27
3.1 วัสดุ	27
3.2 อุปกรณ์	29
3.3 วิธีการดำเนินการ	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	32
4.1 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์-เอสเตอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล	33
4.2 ผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล	47
4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล	51
4.4 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล	57
4.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล	59

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	63
สรุปผลการทดลอง	63
5.1 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์-เอสเตอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล	63
5.2 ผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล	64
5.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล	64
5.4 ผลของกรดไขมันอิสระเริ่มต้นที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล	65
5.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล	66
ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก ข้อมูลเบื้องต้นของสารเคมี	76
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์	83
ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณ	95
ภาคผนวก ง ข้อมูลดิบ	102
ภาคผนวก จ บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ	113
ประวัติผู้เขียน	126

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	7
2-2	8
2-3	16
3-1	28
4-1	41
4-2	43
4-3	45
4-4	47

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า	
2-1	โครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ	7
2-2	สูตรโครงสร้างทั่วไปของสบู่	18
2-3	ส่วนที่ไม่มีขี้และส่วนที่มีขี้ของสบู่	19
2-4	ไมเซลล์ของสบู่	20
2-5	ขั้นตอนการเกิดไมเซลล์ของสบู่	20
2-6	สูตรโครงสร้างของฟอสเฟต	21
3-1	ลักษณะภายนอกของน้ำมันทอดใช้แล้ว	27
3-2	เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	29
3-3	ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ	31
4-1	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลกับเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1	33
4-2	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1	36
4-3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นกับเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1	39
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลกับเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) 1.0, (ข) 1.1, (ค) 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน	51
4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) 1.0, (ข) 1.1, (ค) 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน	53

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า	
4-6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) 1.0, (ข) 1.1, (ค) 1.3% โดยน้ำหนัก ของน้ำมัน	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันพบว่าพลังงานที่ใช้กันส่วนใหญ่ในโลกเป็นเชื้อเพลิงที่ได้มาจากฟอสซิล โดยเฉพาะเชื้อเพลิงดีเซลที่มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในภาคการขนส่ง เกษตรกรรม การค้า ชุมชน และ โรงงานอุตสาหกรรมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อภาคอุตสาหกรรมและการขนส่งในประเทศไทย ในภาวะราคาน้ำมันปิโตรเลียมสูงขึ้นอย่างมาก ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นและกระทบต่อการพัฒนาของประเทศ แหล่งปิโตรเลียมที่มีอยู่ก็มีอย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องสำรวจและขุดเจาะเพิ่มขึ้นด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยมากขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการสำรวจและขุดเจาะเพิ่มขึ้นส่งผลให้แนวโน้มราคาน้ำมันก็จะสูงขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้ในปัจจุบันปริมาณความต้องการในการใช้น้ำมันก็มีมากขึ้น ส่งผลเสียต่อสภาวะแวดล้อมทำให้สภาพแวดล้อมเป็นพิษเนื่องจากปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาโลกร้อน ทำให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรดและปัญหาสุขภาพของสิ่งมีชีวิต และเขม่าจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ทำลายระบบทางเดินหายใจ และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของราคาน้ำมันดิบที่มีค่าขึ้นลงไม่แน่นอน ประกอบกับปริมาณน้ำมันปิโตรเลียมในปัจจุบันซึ่งลดน้อยลงมากสวนทางกับปริมาณความต้องการใช้น้ำมันปิโตรเลียมที่กลับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน(ไบโอดีเซล) เพื่อใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียมที่เป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดสิ้นไป

วัตถุดิบอีกประเภทหนึ่งที่น่าสนใจและควรส่งเสริมให้นำไปผลิตไบโอดีเซล คือน้ำมันพืชใช้แล้วเนื่องจากการใช้น้ำมันพืชเก่ากลับมาประกอบอาหารซ้ำมีความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ เนื่องจากในน้ำมันพืชใช้แล้วที่นำกลับมาใช้ซ้ำมีสารพิษก่อมะเร็ง (carcinogen) ปะปนอยู่ 2 กลุ่ม คือ อนุมูลอิสระ (free radicals) และไดออกซิน จึงควรที่จะนำน้ำมันใช้แล้วเหล่านั้นมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์เป็นพลังงานแทนการนำกลับไปใช้บริโภค และจากปัญหาการราคาน้ำมันแพงในปัจจุบันทำให้ต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งการ

ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วนอกจากจะเป็นประโยชน์ด้านพลังงานแล้วยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นสารประกอบโมโนแอลคิลเอสเทอร์ (Mono-alkyl ester) ของกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว ได้มาจากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางเคมี ซึ่งกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้นสามารถผลิตได้หลายวิธี แต่กระบวนการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ กระบวนการผลิตโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน และการผลิตไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน เกิดเป็นสารที่เรียกว่าเมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่กลั่นจากปิโตรเลียม สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลในรูปแบบของไบโอดีเซลเกือบทั้งหมด หรือนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมได้โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังมีผลดีต่อสภาพแวดล้อม เช่น ไม่มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจก (แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์) การเผาไหม้จะสมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นการลดปริมาณเขม่าและควันดำ ที่เกิดจากการเผาไหม้ไฮโดรคาร์บอนไม่หมด การลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และการลดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นที่มาของการเกิดฝนกรด

การผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะดำเนินการโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดซัลโฟนิก กรดฟอสฟอริก และกรดไฮโดรคลอริก หรือตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เช่น โลหะไฮดรอกไซด์และโลหะแอลกอฮอล์ เป็นต้น แต่ในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์สายโซ่สั้น เช่น เมทานอล และเอทานอล โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการต่ำเมื่อเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด และในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่ต้องการขึ้นนั่นคือ ปฏิกิริยาการเกิดสบู่หรือสะพอนิฟิเคชัน ทำให้มีการใช้ไปของตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง และขั้นตอนการแยกและการทำให้บริสุทธิ์ของไบโอดีเซลซับซ้อนยิ่งขึ้น ซึ่งปฏิกิริยานี้อาจเกิดได้หลายรูปแบบ เช่น เกิดจากการที่ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมัน กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน ซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดและกระบวนการซึ่งให้ได้มาของน้ำมันชนิดนั้นๆ (Vicente และคณะ, 2004)

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันส่วนใหญ่จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โซเดียมเมทอกไซด์ (sodium methoxide :

CH₃ONa) ซึ่งโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีความว่องไวมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายในเมทานอลส่วนหนึ่งเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลทำให้มีน้ำ ($\text{CH}_3\text{OH} + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{O}^-\text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$) ซึ่งจะปลดความว่องไวของเมทอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นในการเข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย : <http://www.vcharkarn.com/varticle/37458>)

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้น้ำมันพืชใช้แล้วกับตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งน้ำมันพืชใช้แล้วจะมีราคาถูกเหมาะกับการนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในระดับเล็กหรือระดับกลาง งานวิจัยชิ้นนี้จะมีมุ่งศึกษาการผลิตไบโอดีเซลเพื่อที่จะนำไปผลิตในโรงงานขนาดเล็กและโรงงานขนาดกลาง ให้โรงงานขนาดเล็กและโรงงานขนาดกลางเหล่านั้นสามารถผลิตไบโอดีเซลเพื่อที่จะนำมาใช้งานเองได้ เป็นการช่วยลดการใช้พลังงานในยามขาดแคลนและเป็นการส่งเสริมพลังงานทดแทนที่ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ก็คือการศึกษาและทำการวิจัยการผลิตไบโอดีเซลเพื่อนำไปสู่การใช้งานจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- (1) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ในระบบต่อเนื่อง
- (2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ในการทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันร่วมกับน้ำมันทอดใช้แล้ว
- (3) เพื่อพัฒนากระบวนการและหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในมุมมองการพัฒนาเข้าสู่การผลิตเชิงอุตสาหกรรม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) ทราบปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน
- (2) ทราบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์และสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- (3) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ปัจจุบันทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงและสภาวะวิกฤตการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้จึงพยายามหาแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อนำมาใช้ทดแทน ซึ่งไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนทางเลือกหนึ่งที่ปัจจุบันได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีราคาถูกและยังมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับกับน้ำมันที่ผลิตได้จากปิโตรเลียม ไบโอดีเซลส่วนใหญ่จะผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบ แต่ในระหว่างที่ต้องรอการขยายพื้นที่เพาะปลูกปาล์มให้เพียงพอวัตถุดิบอีกประเภทหนึ่ง ที่ควรส่งเสริมให้นำไปผลิตไบโอดีเซล คือ น้ำมันพืชใช้แล้วซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ด้านพลังงานแล้วยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข โดยในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาทั่วโลกมีอัตราเฉลี่ยในการบริโภคน้ำมันพืชเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 4 ต่อปีส่งผลให้ปัจจุบันมีการบริโภคน้ำมันพืชสูงกว่า 100 ล้านตันต่อปี เพราะวิถีการบริโภคที่หันมานิยมอาหารประเภทจานด่วน (Fast Food) ที่ปรุงด้วยการทอดมากขึ้น ผลที่ตามมา คือมีน้ำมันพืชใช้แล้วจำนวนมากที่เหลือจากการปรุงอาหารซึ่งจำเป็นต้องหาวิธีการไม่ว่าเป็นการกำจัด บำบัด หรือนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขสำหรับประเทศไทยมีการบริโภคน้ำมันพืชกว่า 800,000 ตันต่อปี ประเมินกันว่าน่าจะมีน้ำมันพืชใช้แล้วเหลือมากกว่า 100 ล้านลิตรต่อปี ในจำนวนนี้ ส่วนหนึ่งนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในการผลิตสบู่หรือใช้ผสมเป็นอาหารสัตว์ขณะที่บางส่วนถูกทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมบ้างก็ถูกลักลอบนำไปขายในราคาถูกเพื่อใช้ทอดซ้ำซึ่งน้ำมันพืชที่นำกลับมาใช้ซ้ำจะมีลักษณะที่เสื่อมสภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมี (<http://www.energy.go.th>)

2.1 น้ำมันทอดใช้แล้ว

น้ำมันทอดใช้แล้วเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งน้ำมันใช้แล้วจะประกอบด้วยกรดไขมันอิสระและน้ำในปริมาณที่สูงกว่าน้ำมันพืชใหม่สด น้ำมันทอดใช้แล้วจะได้อาจมาจากน้ำมันพืชหลายชนิดแต่ส่วนมากจะเป็นน้ำมันปาล์ม น้ำมันที่ได้มาจากร้านอาหารส่วนมากจะเป็นร้านที่ขายของประเภททอดซึ่งร้านอาหารเหล่านี้จะใช้น้ำมันปาล์มในการทำอาหารมากกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นเพราะน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่มีราคาถูกกว่าน้ำมันชนิดอื่น ดังนั้นน้ำมันที่นำมาผลิตไบโอดีเซลในวิทยานิพนธ์นี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มที่นำมาปรุงอาหารก็จะเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอิน

2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของน้ำมันปาล์มโอเลอิน (Palm olein)

น้ำมันปาล์มโอเลอิน ได้จากน้ำมันปาล์มที่นำมาแยกส่วนภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิเพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็ง (Palm stearin) ออกจากส่วนที่เป็นของเหลวหรือปาล์มโอเลอิน ดังนั้นองค์ประกอบของปาล์มโอเลอินจึงแตกต่างกันตามภูมิภาคและกระบวนการผลิตและมีผลทางอ้อมไปยังสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ได้ด้วย

1) กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมัน

กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มมี 2 วิธี คือ วิธีทางกายภาพ และวิธีทางเคมี

แต่โดยทั่วไปในการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม มักจะนิยมใช้วิธีการทางกายภาพเนื่องจากข้อได้เปรียบ คือ ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำเพราะใช้สารเคมีน้อยกว่ากระบวนการทางเคมี และยังได้ปริมาณน้ำมันที่มากกว่า ซึ่งผลผลิตที่กลั่นบริสุทธิ์ได้จะมีปริมาณกรดไขมันต่างออกไปจากน้ำมันปาล์มดิบ

2) องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

น้ำมันปาล์มโอเลอินมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณใกล้เคียงกันจะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว 51-58% ที่เหลือเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งในกรดไขมันอิ่มตัวจะมีกรดปาล์มมิติก (Palmitic, C16:0) เป็นองค์ประกอบประมาณ 38-42% ส่วนไขมันไม่อิ่มตัวจะมีกรดโอเลอิก (Oleic, C18:1) ประมาณ 41-44% และกรดลิโนเลอิก (Linoleic, C18:2) ประมาณ 10-13%

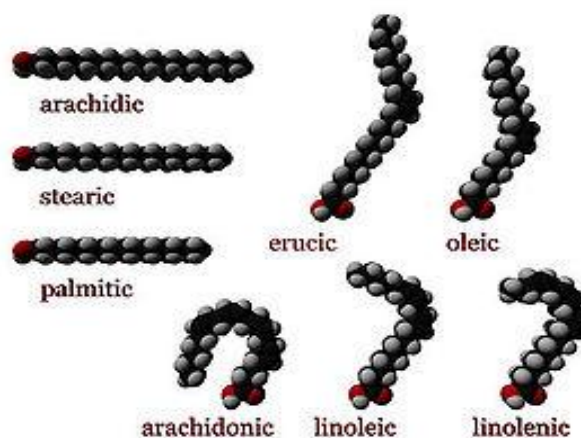
ตารางที่ 2-1 สูตรโครงสร้างของกรดไขมัน

ชนิดของกรดไขมัน	ชื่อทางเคมีของกรดไขมัน	โครงสร้าง (x:y)	สูตรโมเลกุล
Capric	Decanoic	10:0	$C_{10}H_{20}O_2$
Lauric	Dodecanoic	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Myristic	Tetradecanoic	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Palmitic	Hexadecanoic	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Stearic	Octadecanoic	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Arachidic	Eicosanoic	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$
Behenic	Docosanoic	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$
Lignoceric	Tetracosanoic	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$
Oleic	cis-9-Octadecenoic	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Linoleic	cis-9,cis-12-Octadecadienoic	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolenic	cis-9,cis-12,cis-15-Octadecatrienoic	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$
Erucic	cis-13-Docosenoic	22:1	$C_{22}H_{42}O_2$

หมายเหตุ : (x:y) x แทนจำนวนอะตอมของคาร์บอนในกรดไขมัน

y แทนจำนวนพันธะคู่ในกรดไขมัน

(Barnwal และ Sharma, 2005)



ภาพประกอบที่ 2-1 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ

(http://en.wikipedia.org/wiki/Fatty_acid)

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน

ชนิดของ กรดไขมัน	ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน							
	กรด คาปริก	กรด คลอริก	กรด ไมริ สติก	กรด ปาล์ม มิติก	กรด สเตียริก	กรด โอเลอิก	กรด ลิโนเลอิก	กรด แอลฟา โนเลอิก
น้ำมันพืช	10:0	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
อัลมอนต์	-	-	-	7	2	69	17	-
คาโนลา	-	-	-	4	2	62	22	10
มะพร้าว	6	47	18	9	3	6	2	-
ข้าวโพด	-	-	-	11	2	28	58	1
เมล็ดฝ้าย	-	-	1	22	3	19	54	1
เมล็ดงุ่น	-	-	-	8	4	15	73	-
มะกอก	-	-	-	13	3	71	10	1
ปาล์ม	-	-	1	45	4	40	10	-
ปาล์มโอเล อื่น	-	-	1	37	4	46	11	-
เมล็ดใน ปาล์ม	4	48	16	8	3	15	2	-
ถั่วลิสง	-	-	-	11	2	48	32	-
ดอก คำฝอย	-	-	-	7	2	13	78	-
งา	-	-	-	9	4	41	45	-
ถั่วเหลือง	-	-	-	11	4	24	54	7
ดอก ทานตะวัน	-	-	-	7	5	19	68	1

(<http://www.scientificpsychic.com/fitness/fattyacids1.html>)

3) ลักษณะและสมบัติทางกายภาพและเสถียรภาพของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

น้ำมันปาล์มโอเลอินมีสีเข้มกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นจากการที่มีแคโรทีนอยด์ในปริมาณสูงกว่า มีอุณหภูมิที่เกิดความขุ่นที่ประมาณ 6-14 องศาเซลเซียส มีเสถียรภาพสูงที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจากการที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงและมีโทโคฟีรอลกับโทโคไตรอีนอลส์ซึ่งเป็นสารกันหืนตามธรรมชาติในปริมาณค่อนข้างสูง (http://www.tipoil.com/admin/html/chula1_t.doc)

2.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล

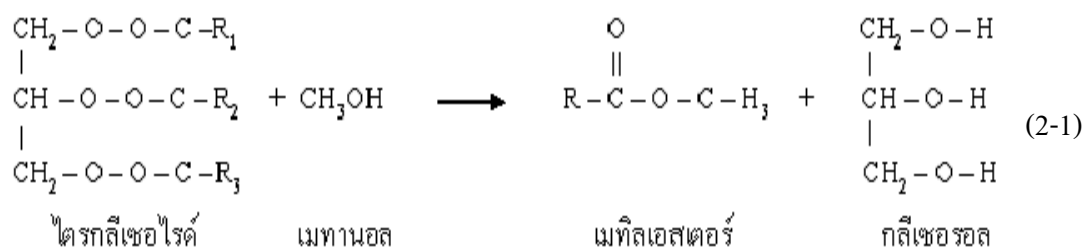
ไบโอดีเซล หมายถึง สารประกอบโมโนแอลคิลเอสเทอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) ของน้ำมันพืช หรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Alcohol) และมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือเบส จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ (Ester) และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้กลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเราจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์นี้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลชนิด เอสเทอร์นี้มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เพราะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์

2.2.1 วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลของไทย

วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันสัตว์ ซึ่งในการพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้ต้องคำนึงถึง ราคา ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชชนิดนั้น และความเหมาะสมของปริมาณการปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้นด้วยสำหรับประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชน้ำมันหลัก 6 ชนิด คือ ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วลิสง งา และละหุ่ง ในจำนวนพืชน้ำมันทั้ง 6 ชนิดนี้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด รองลงมาคือ มะพร้าวนอกจากน้ำมันทั้ง 6 ชนิดนี้แล้ว ยังมีแหล่งน้ำมันอื่นๆ เช่น สนุ่นดำ น้ำมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งวัตถุดิบพืชน้ำมันที่มีความเหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันมีจำนวน 3 ชนิด คือ ปาล์ม น้ำมันสนุ่นดำและน้ำมันใช้แล้ว

2.2.2 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification)

กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอลโดยมีตัวเร่งในปฏิกิริยาดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (2-1) ตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้นซึ่งกระบวนการ ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน



ปฏิกิริยาที่ 2-1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

(<http://www.skoolbuz.com/library/content/146>)

ก) ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีขึ้น โดยชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่ใช้กัน ในปัจจุบันคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH₃) และโพแทสเซียมเมทอกไซด์ (KOCH₃) ซึ่งควรใช้ทำปฏิกิริยากับเมทานอลหรือเอทานอลโดยน้ำมันที่ใช้จะเป็นชนิดใดก็ได้ เช่น น้ำมันพืชดิบ (Crude oil) น้ำมันที่ใช้แล้วเป็นต้น

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสนี้ทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) ในปริมาณที่สูงด้วย ส่วนข้อจำกัดตัวเร่ง

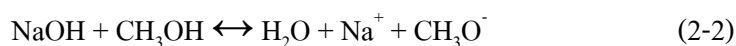
ปฏิกิริยาชนิดเบสคือน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบ (Free fatty acid) ถ้ามีน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในระบบของการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมากจะทำให้มีสบู่เกิดขึ้นแทนที่จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นเบส คือ โซเดียมเมทอกไซด์ (sodium methoxide : NaOCH_3)

โซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH_3) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดหนึ่งซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส โดยเมทอกไซด์ได้รับการยอมรับว่าเป็นเบสที่แรงมาก และว่องไวในการทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งเมทอกไซด์คือตัวเร่งปฏิกิริยาที่แท้จริงไม่ใช่ไฮดรอกไซด์ ส่วนน้ำที่มีอยู่ในระบบทั้งหมดจะช่วยเร่งปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันให้เกิดเร็วขึ้นสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งต้องใช้ไตรกลีเซอไรด์ และแอลกอฮอล์ที่ปราศจากน้ำเพราะน้ำจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (saponification) ได้ดี ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดสบู่ สบู่ที่เกิดขึ้นจะทำให้ผลได้ (yield) ของเอสเตอร์ต่ำลง การแยกเอสเตอร์และกลีเซอรอลยากขึ้น รวมไปถึงการล้างน้ำซึ่งจะล้างได้ยากมากขึ้นอีก ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้ได้ดีกับไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิสระปนอยู่ในจำนวนน้อยๆ (เทคโนโลยีไบโอดีเซล ฉบับปฏิบัติการจริง, 2554)

Caldin และ Long, 1954 เสนอไว้ว่าหากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (หรือโซดาไฟ, NaOH) ละลายในแอลกอฮอล์จะเกิดเป็นสารละลายที่ประกอบด้วยไฮดรอกไซด์ไอออน (hydroxide) และ แอลกอฮอล์ไอออนในสถานะที่สมดุลกันตามสมการ

สมการเคมีในการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล คือ



และสมดุลที่เกิดขึ้นระหว่าง CH_3O^- และ OH^- คือ



โดยสรุปว่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ไอออนที่เกิดขึ้นนั้นแปรตามความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ค่า pK_a ตามแอลกอฮอล์ที่ใช้และปริมาณของน้ำที่มีอยู่ ดังตัวอย่างของสารละลาย 0.1 โมลาร์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอลความบริสุทธิ์ 99% ปริมาณ 96% ของเบสทั้งหมดจะ

อยู่ในรูปของเอทอกไซด์ไอออน (ethoxide ion) และจะเป็นเช่นเดียวกันสำหรับในเมทานอลบริสุทธิ์ ดังนั้นการไฮโดรไลซิสโดยใช้ด่างเป็นสารเข้าทำปฏิกิริยาและเกิดเป็นสบู่จะเป็นปฏิกิริยาส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในแอลกอฮอล์ที่ปราศจากน้ำ

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid catalyst)

กรดที่ใช้กันโดยทั่วไปได้แก่ กรดซัลฟิวริก, กรดฟอสฟอริก, กรดซัลโฟนิก แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คือน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมากแต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้ากว่าการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้

3. เอนไซม์ไลเปส (Lipase)

เอนไซม์ไลเปสถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆเช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอลแอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) และแอซิดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปส คือ สามารถแยกกลีเซอรอลออกมาได้ง่าย มีการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกโดยไม่มีของเสียออกจากระบวนการ แต่ในทางกลับกันค่าใช้จ่ายในการใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะค่อนข้างสูง

4. ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst)

เป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวในระบบเช่น ZrO_2 , ZnO , KNO_3/ZrO_2 , KNO_3/KL , Zeolite เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบที่มีน้ำในปฏิกิริยาโดยทั่วไปต้องใช้อุณหภูมิและอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันสูง จุดเด่นของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ คือ สามารถนำกลับมาใช้ได้หลายครั้ง

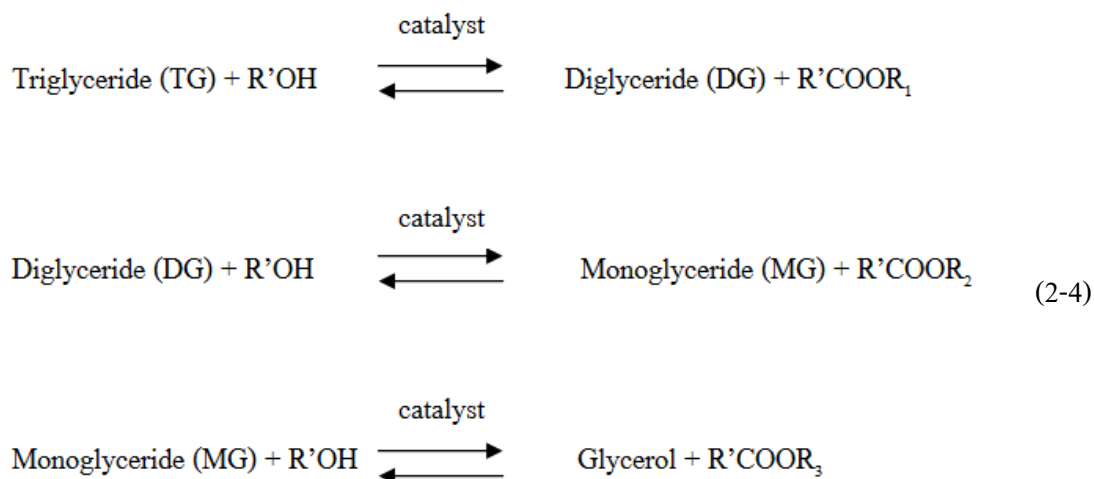
ข) แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันคือเมทานอล, เอทานอล, โพรพานอลและบิวทานอล แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือเมทานอลเพราะมีราคาถูกและมีกัมมันตภาพการเกิดปฏิกิริยาที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับแอลกอฮอล์โซ่ยาวตัวอื่นๆ อีกทั้งยังมีข้อดีในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและด้านเคมีคือเป็นโมเลกุลขนาดเล็กมีขั้วซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของเมทานอลสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็ว ที่สำคัญคือเมทานอลสามารถผลิตให้มีความ

บริสุทธิ์สูงได้ง่ายกว่าเอทานอล อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมระหว่างเมทานอลกับน้ำมันขึ้นอยู่กับชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลือกใช้ โดยจากปริมาณสัมพันธ์ (stoichiometry) ของการเกิดปฏิกิริยาที่ปริบูรณ์จะต้องใช้เมทานอล 3 โมลต่อไตรกลีเซอไรด์ 1 โมลแต่ในทางปฏิบัติต้องใช้อัตราส่วนที่มากกว่านั้นเพื่อต้องการเลื่อนสมดุลของปฏิกิริยาให้ไปทางขวา(เกิดผลผลิตมากขึ้น) จำเป็นต้องเติมแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นให้มากเกินไป

ค) กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ 3 ขั้นตอน คือ โดยไตรกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ก่อน ไดกลีเซอไรด์ก็จะเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ตามและสุดท้ายได้เป็นเอสเตอริกกับกลีเซอรอลดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (2-4) จากกลไกข้างล่างพบว่าในแต่ละขั้นตอนย่อยจะมีเอสเตอริกเกิดขึ้นหนึ่งโมล



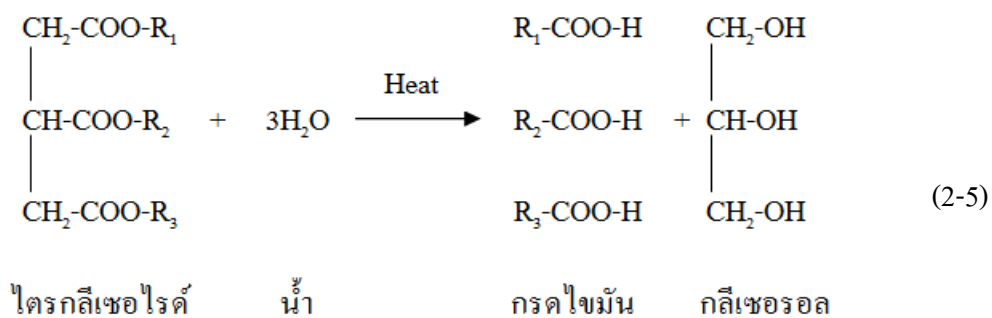
ปฏิกิริยาที่ 2-4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ง) ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

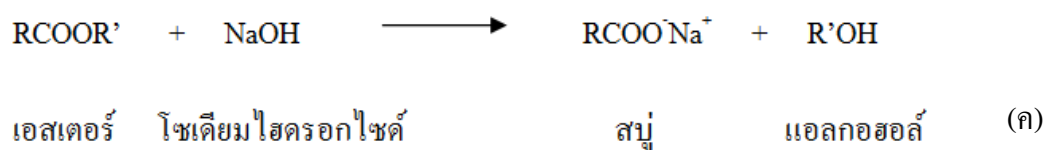
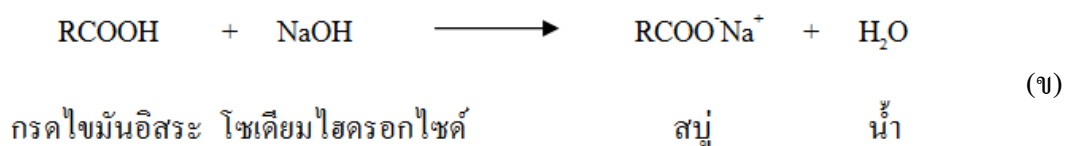
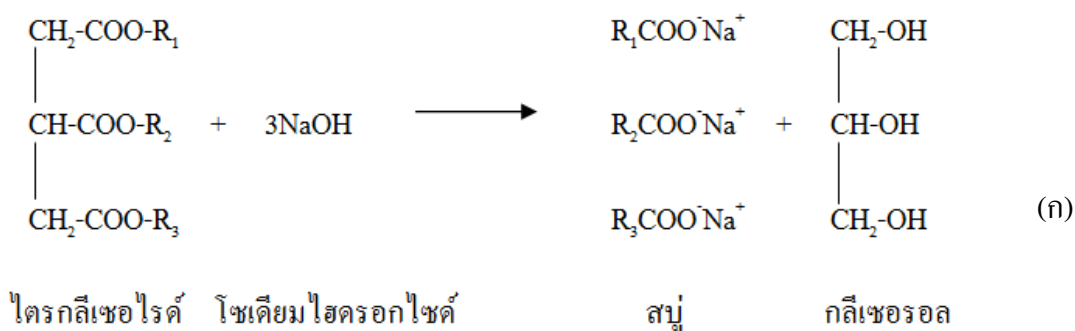
1. อิทธิพลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (NaOH, KOH เป็นต้น) กลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องมีน้ำเป็นส่วนผสมที่น้อยที่สุด เพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา นอกจากน้ำแล้วไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่มีอยู่ในสารป้อนก็ยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดสบู่เช่นกัน หากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาแรกทำปฏิกิริยาไม่หมดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่จะทำปฏิกิริยากับเมทิล

เอสเทอร์ซึ่งจะส่งผลให้เกิดสบู่ด้วยเช่นกัน ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (2-5) และ (2-6) ตามลำดับ โดยสบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจนนอกจากนั้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลคือทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้นทำและยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย



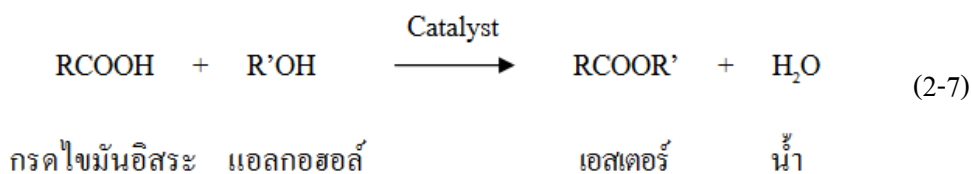
ปฏิกิริยาที่ (2-6) แสดงปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)



(เทคโนโลยีไบโอดีเซล ฉบับปฏิบัติการจริง, 2554)

ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำมันควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง

สำหรับน้ำมันที่มีค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันนั้นมาทำการลดค่าความเป็นกรดก่อน โดยการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันซึ่งจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด (Acid esterification) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (2-7) แล้วจากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ



ปฏิกิริยาที่ 2-7 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

2. อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน โดยจากค่าปริมาณสัมพันธศาสตร์ส่วนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 3 โมล ของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นยังใช้อัตราส่วนที่สูงขึ้นก็จะทำให้ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นเช่นกันและสามารถลดเวลาในการทำปฏิกิริยาให้สั้นลงได้ด้วยอัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ถูกใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมมากที่สุด เพราะพบว่าอัตราส่วนดังกล่าวทำให้ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์

3. อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยทั่วไปแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่ถูกใช้จนหมดไป และจะมีปริมาณอยู่เท่าเดิม ซึ่งเมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงปฏิกิริยาที่จะเกิดได้เร็วขึ้น ตัวเร่งสามารถแบ่งได้เป็น

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด และเอนไซม์ ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบสจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ในน้ำมัน ด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดจะเหมาะสมกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส โดยในตารางที่ 2-3 คือตารางเปรียบเทียบข้อแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรดและเอนไซม์

ตารางที่ 2-3 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสกรดและเอนไซม์

ตัวแปร	ตัวเร่งชนิดเบส	ตัวเร่งชนิดกรด	เอนไซม์ไลเปส
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60-70	55-80	30-40
กรดไขมันอิสระในน้ำมัน	เกิดสบู่	เกิดเอสเตอร์	เกิดเอสเตอร์
น้ำในน้ำมัน	มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา	มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา	ไม่มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา
ปริมาณเมทิลเอสเตอร์	ปกติ	ปกติ	สูง
การ Recovery กลีเซอรอล	ยาก	ยาก	ง่าย
การทำให้เมทิลเอสเตอร์บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้องล้าง
ราคา	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง

4. อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลานั้นคือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเอสเตอร์มากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอปฏิกิริยาก็จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าสามารถทำปฏิกิริยาได้โดยใช้

เวลาในการทำปฏิกิริยาแต่ละขั้นๆ แต่จะต้องใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากกว่า
การทำปฏิกิริยาที่เวลานานกว่า โดยที่ร้อยละความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์สูงเช่นกัน

5. อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิ-
เคชัน ซึ่งในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน
ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา แต่โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
จะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าเป็นเมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ
60–70 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)

6. อิทธิพลของอัตราการกวนผสม

การกวนผสมนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเค
ชันเนื่องจากแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (เมทานอลหรือเอทานอล) จะไม่สามารถละลายเป็น
เนื้อเดียวกันกับน้ำมันและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ดังนั้นการกวนผสมจึงมีความจำเป็นอย่างมากเพื่อเพิ่ม
การถ่ายโอนมวลของสารและให้เนื้อสารสัมผัสกันมากขึ้นเมื่อสารสัมผัสกันก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยา
ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันขึ้น

2.2.3 ข้อดีและข้อด้อยของไบโอดีเซล

1) ข้อดีของไบโอดีเซล

ก. ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษในอากาศอันเนื่องมาจากการเผาไหม้ของ
เครื่องยนต์สมบูรณ์ กรมอุทกหารเรือได้ทำการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่า
รถที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 50 และสามารถลดแก๊ส
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ร้อยละ 20 ลดฝุ่นละอองได้ร้อยละ 39 ลดแก๊สซัลเฟอร์ได
ออกไซด์ได้ร้อยละ 99 นอกจากนี้การใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นสามารถลดวงจรชีวิต
(life-cycle) ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ได้ร้อยละ 78 ซึ่งเป็นผลให้ลดภาวะโลกร้อน

ข. ประโยชน์การใช้ไบโอดีเซลด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

การใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ เนื่องจาก
ไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการ
กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดีจึง

ทำให้เผาไหม้ในกระบอกสูบเป็นไปอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ ค่าแรงบิดเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 7.5 และให้กำลังเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

ค. ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลด้านเศรษฐศาสตร์

การใช้ไบโอดีเซลจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยต้องสูญเสียเงินในการนำเข้าน้ำมันดิบหลายล้านบาท และการผลิตไบโอดีเซลสามารถช่วยสร้างงานและสร้างรายได้ให้แก่คนในชนบทคือเป็นการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค

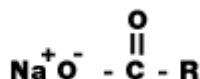
2) ข้อเสียของไบโอดีเซล

1. เป็นของแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันดีเซล
2. ปลดปล่อยแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ สูงกว่าน้ำมันดีเซล
3. ชิ้นส่วนจากยางของปั้มน้ำมันจะเสื่อมคุณภาพเร็ว
4. ค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

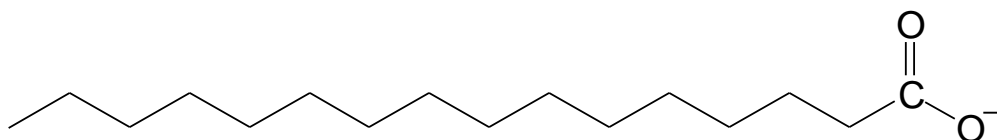
การแก้ไขข้อด้อยเหล่านี้อาจกระทำด้วยการผสมกับน้ำมันดีเซล เช่น ผสมน้ำมันดีเซล 80% กับเมทิลเอสเตอร์ 20% (โครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ รุ่นที่ 4, 2548 , เทคโนโลยีไบโอดีเซล ฉบับปฏิบัติการจริง, 2554)

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสบู่

2.3.1 สบู่ คือเกลือของกรดไขมัน สูตรทั่วไปคือ



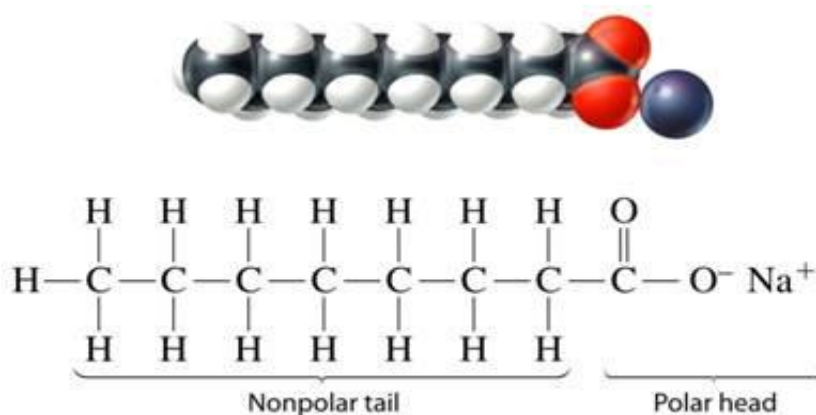
หรือ



ภาพประกอบที่ 2-2 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสบู่

2.3.2 โครงสร้างของสบู่

โมเลกุลของสบู่จะประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) “ส่วนหัว” ซึ่งอาจเป็นคาร์บอกซิลเลทแอนไอออน (carboxylate anion) ที่มีปฏิสัมพันธ์ที่ดีกับน้ำที่มีขั้ว (polar) และส่วนไขมันยาวที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เป็น “ส่วนหาง” ซึ่งมีปฏิสัมพันธ์ที่ดีกับไขมันที่ไร้ขั้ว (non-polar)

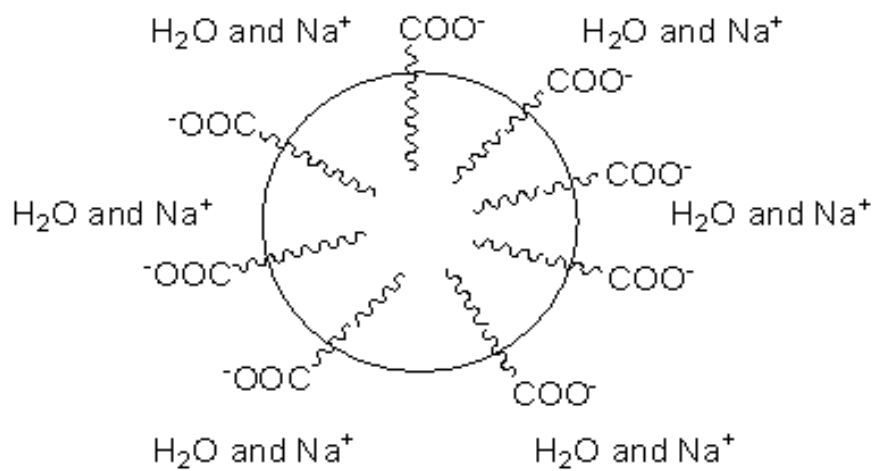


ภาพประกอบที่ 2-3 แสดงส่วนที่ไม่มีขั้วและส่วนที่มีขั้วของสบู่

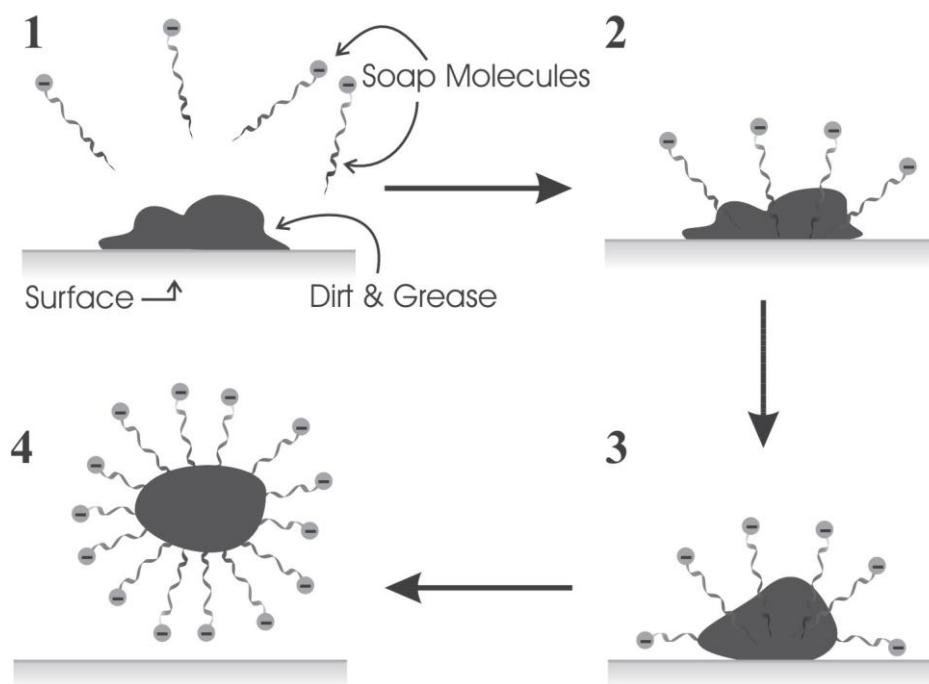
(<http://writer.dek-d.com/rfd-princess/story/viewlongc.php?id=996363&chapter=4>)

2.3.3 การทำงานของสบู่

เนื่องจากโมเลกุลของสบู่ประกอบด้วยโซ่ของไฮโดรคาร์บอนและปลายไอออนิก ส่วนของไฮโดรคาร์บอนจะไม่ละลายในน้ำ (Hydrophobic) แต่ละลายได้ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว สำหรับปลายไอออนิกจะละลายน้ำได้ (Hydrophilic) เนื่องจากมีส่วนของโซ่ไฮโดรคาร์บอนอยู่ ทำให้โมเลกุลของสบู่ไม่ละลายอย่างแท้จริง อย่างไรก็ตามสบู่จะเป็นคอลลอยด์ในน้ำ เพราะสบู่สามารถเกิดไมเซลล์ (Micells) แสดงดังภาพประกอบที่ 2-4 และขั้นตอนการเกิดไมเซลล์ของสบู่ แสดงดังภาพประกอบที่ 2-5 โดยด้านโซ่ไฮโดรคาร์บอนจะจับกลุ่มกัน แล้วหันปลายไอออนิกเข้าหาน้ำ ดังนั้น จึงมีสมบัติในการซักล้างได้อย่างดี นั่นคือการกำจัดคราบสกปรกต่างๆ สบู่จะหันด้านโซ่ไฮโดรคาร์บอนเข้าหาคราบสกปรก และปลายด้านไอออนิกจะจับกับน้ำ จึงทำให้สบู่ซักคราบสกปรกได้



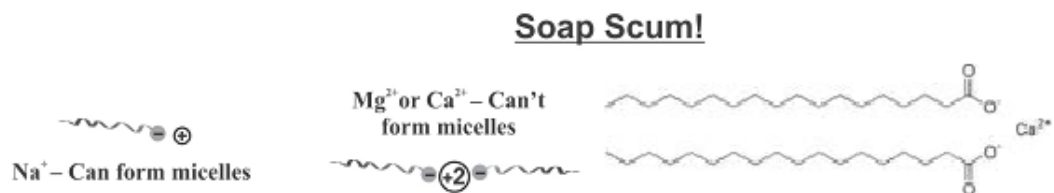
ภาพประกอบที่ 2-4 แสดงไมเซลล์ของสบู่



ภาพประกอบที่ 2-5 แสดงขั้นตอนการเกิดไมเซลล์ของสบู่

(www.chem.wisc.edu/courses/342/Fall2006/Experiment_11.pdf)

ฝ้าสบู่ (soap scum) ฝ้าสบู่จะเกิดขึ้นเมื่อสบู่สามารถละลายในน้ำได้น้อยลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นเมื่อแคลเซียมไอออน ไควาเลนซ์จากน้ำจำนวนหนึ่ง ไอออนรวมตัวเข้ากับสบู่สองโมเลกุล สบู่จะสูญเสียความสามารถที่จะสร้างเป็นไมเซลล์ เนื่องจากส่วนหัวที่เป็น โพลาร์รวมกลุ่มเข้าสู่ศูนย์กลาง และเหลือสองหางซึ่งออกด้านนอก คู่ของโมเลกุลสบู่นี้จะ เกาะติดที่กระเบื้องหรือพื้นที่อาบน้ำและก็ไม่ถูกล้างออกไป น้ำอ่อนจะมีปริมาณแคลเซียมไอออน ไควาเลนซ์น้อยกว่าน้ำกระด้าง เครื่องทำน้ำอ่อนมีหลักการในการแลกเปลี่ยนแคลเซียมไอออนของโซเดียมกับไอออนแคลเซียมหรือแมกนีเซียม



ภาพประกอบที่ 2-6 แสดงสูตร โครงสร้างของฝ้าสบู่

สบู่ที่เกิดในไบโอดีเซลมีความสำคัญมาก เพราะเป็นสารที่ช่วยในการสร้างไมเซลล์ ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลจะมีไบโอดีเซลหรือน้ำมันอยู่ภายใน ทำให้เกิดการสูญเสียผลได้ (yield) ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา และการแยกชั้นของเฟสโพลาร์ออกจากเฟสนอนโพลาร์อีกด้วย ที่สำคัญคือสบู่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลน์ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาหมดไปจากระบบการทำปฏิกิริยา (เทคนิโกลีไบโอดีเซล ฉบับปฏิบัติการจริง, 2554)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cheng และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์มากกว่า 99% สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองมีดั่งนี้ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 10:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.125 molkg⁻¹ ของน้ำมันอย่างไรก็ตามในส่วนของการปฏิกิริยาที่ใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มสามารถลดลงได้ถึง 6:1 โดยไม่กระทบต่อปริมาณของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ สำหรับแอลกอฮอล์ชนิดอื่นๆ เช่น เอทานอลและบิวทานอล การผลิตไบโอดีเซลให้ได้มากที่สุดต้องใช้อุณหภูมิ 75°C และ 104°C ตามลำดับ

Vicente และคณะ (2004) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลแบบบูรณาการโดยการเปรียบเทียบจากความแตกต่างของระบบตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่พบบ่อยที่สุดสำหรับการผลิตไบโอดีเซลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน ซึ่งในบทความปัจจุบันจะทำการเปรียบเทียบจากความแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยาพื้นฐาน (โซเดียมเมทอกไซด์ โพลีเอทิลีนเมทอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) สำหรับการเมทาโนไลซิสจากน้ำมันดอกทานตะวัน ปฏิกิริยาทั้งหมดที่ถูกดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่เหมือนกันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะการแยกและการทำให้บริสุทธิ์ภายในขวด ซึ่งประกอบด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบแก๊สโครมาโตกราฟีและการสรุปผลจากพารามิเตอร์ทั่วไปของไขมันและน้ำมัน ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดจะเข้าใกล้ 100% wt อย่างไรก็ตาม ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเมทอกไซด์เท่านั้นที่เปอร์เซ็นต์ผลได้จะเข้าใกล้ 100% ดังนั้นเมื่อทำการควบคุมของกระบวนการ ทำให้เกิดการสูญเสียผลได้จากไตรกลีเซอไรด์ สะพอนิฟิเคชัน และเมทิลเอสเตอร์ที่ละลายในกลีเซอรอล พบไบโอดีเซลในสภาวะที่ควบคุมได้ ยกเว้นค่าไอโอดีนิตามมาตรฐานของเยอรมันและยุโรป แม้ว่าทั้งหมดจะเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันได้อย่างรวดเร็วและไบโอดีเซลในขั้นนี้ได้ผลของความเข้มข้นของเมทิลเอสเตอร์เกือบ 100%

Encinar และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการให้ผลผลิตและคุณลักษณะของไบโอดีเซลที่เกิดจากน้ำมันทอดอาหารที่ใช้แล้ว ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (เป็นการทำปฏิกิริยาน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์โดยมีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) ของน้ำมันทอดอาหารที่ใช้แล้วด้วยการทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่หลากหลาย ได้แก่โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ โพลีเอทิลีนเมทอก

ไซควัลตูลประสงค้งองงานซึ้นนี้เพื่อจ้แนกคุณลักษณะของเมทิลเอสเทอร์ซึ้งใช้เป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลสำหรับมอเตอร์ที่จุดระเบิดด้วยการอัด ตัวแปรที่ศึกษาคืออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันทอดอาหาร (3:1-9:1) ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (0.1-1.5% โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ (25-65°C) และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาการทดลองได้ดำเนินการกับปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนขั้นตอนแรกเป็นการทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ด้วยการแยกกลีเซอรอลออก (กลีเซอรอลเป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันและใช้เป็นองค์ประกอบในอาหารสัตว์หรือเครื่องสำอาง) ขั้นตอนที่สองเป็นการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ที่เวลาต่างๆ โดยการใช้กระบวนการของแก๊สโครมาโทกราฟีซึ่งจากการใช้กระบวนการนี้ทำให้คุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยการตรวจคุณสมบัติของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ISO (International Organization for Standardization)

Felizardo และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตไบโอดีเซล ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันดำเนินการที่เวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว เมทานอล และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทดลองจะดำเนินการโดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 3.6 - 5.4, อัตราส่วนน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันพืชใช้แล้วระหว่าง 0.2 - 1.0% จากผลการทดลองจะได้ค่าที่เหมาะสมคือ โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 4.8 และตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 0.6% จะได้เปอร์เซ็นต์ผลได้ที่สูง และพบว่าเมื่อค่าความหนืดลดลงทำให้ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นสูงกว่า 98%

Refaat และคณะ (2007) ได้ศึกษาไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพและหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล มีการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ผลได้และคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลอง โดยจากการศึกษาพบว่าผลได้ที่ดีที่สุดของไบโอดีเซลจากการทดลองนี้คือ อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) 1% โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 65°C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง โดยผลได้ของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชทั่วไปจะมีค่าผลได้ 96.14% ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม จากผลการทดลองจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วหรือน้ำมันพืชทั่วไปจะมีค่าผลได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่แนะนำของไบโอดีเซล

Dias และคณะ (2008) ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้ว น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลืองรีไฟน์ โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาคุณภาพของผลผลิตที่ได้ว่าเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตไบโอดีเซลของยุโรป EN 14214 หรือไม่ จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันบริสุทธิ์จะให้ผลได้สูง (97%) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันทอดใช้แล้ว (92%) โดยรวมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพต่ำกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์ เนื่องจากความบริสุทธิ์ที่ได้เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะต่ำกว่ามาตรฐาน EN 14214 ทุกตัวอย่าง การพิจารณาวัตถุดิบที่ศึกษาและสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมั่นใจได้ว่าผลผลิตที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานการผลิตไบโอดีเซลของยุโรป คือ สำหรับน้ำมันบริสุทธิ์ความเข้มข้นของโซเดียมเมทอกไซด์ 0.6% โดยน้ำหนัก สำหรับน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6% โดยน้ำหนัก และสำหรับน้ำมันถั่วเหลืองความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.8% โดยน้ำหนัก และสำหรับน้ำมันทอดใช้แล้วความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์ 0.8% โดยน้ำหนัก ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมนี้จะให้ความบริสุทธิ์ 99.4% โดยน้ำหนัก

Kraai และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาพื้นฐานการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันและเมทานอล ในเครื่องหมุนเหวี่ยงแยกแบบต่อเนื่อง (CCS : Continuous Centrifugal Contactor Separator) โดยทำการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใส่เข้าไป คือ โซเดียมเมทอกไซด์อุณหภูมิ และความถี่ในการหมุน ซึ่งค่าเหมาะสมที่สามารถทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในการผลิตได้ 96% คือใส่น้ำมันดอกทานตะวันในอัตรา 12.6 mLmin^{-1} และกว่า 6 เท่าของโมลเมทานอล (3.15 mLmin^{-1}) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนักที่สัมพันธ์กับน้ำมัน ในการทดลองนั้นจะทำที่อุณหภูมิ 75°C และความถี่ในการหมุน 30 Hz ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดภายใต้สภาวะจะเกิดค่อนข้างสูงกว่าสภาวะในกระบวนการแบบเบทช์ ข้อดีหลักๆ คือ เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวหรือการแยกตัวในเครื่องหมุนเหวี่ยงแยกแบบต่อเนื่อง

Rashid และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาการประเมินผลไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันเมล็ดฝ้ายโดยจะศึกษาไบโอดีเซลที่ได้จากเมล็ดฝ้ายโดยทรานส์เอสเตอริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์และโพแทสเซียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดำเนินการทดลองเพื่อประเมินผลกระทบของตัวแปรในการเกิดปฏิกิริยา เช่น อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน (3:1-15:1) ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (0.25-1.50%) อุณหภูมิ ($25-65^{\circ}\text{C}$) และความเร็วรอบของการกวน (180-600 rpm) เพื่อหาผลได้และคุณภาพที่ดีที่สุด การทดลองที่ได้ผลดีที่สุดคือ อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ความเข้มข้นของ

โซเดียมเมทอกไซด์ 0.75% โดยน้ำหนักอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 65 °C ความเร็วรอบของการกวน 600 rpm และเวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที ได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์สูงสุด (96.9%) เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAME : Fatty Acid Methyl Ester) วิเคราะห์โดยการใช้อีกส์โครมาโตกราฟีและ H-1 NMR spectroscopy

พจนีย์ (2009) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยใช้ไมโครเวฟเป็นแหล่งให้ความร้อนเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยมีปัจจัยที่ศึกษาค้างนี้ ความเข้มข้นของโซเดียมเมทอกไซด์จาก 0.5-1.5% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1-9:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 1-5 นาที และอัตราการให้ความร้อนของไมโครเวฟจาก 90-360 วัตต์ จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับ 99.97% ความเข้มข้นของโซเดียมเมทอกไซด์ 1.5% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 7.5:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 4 นาที และอัตราการให้ความร้อนของไมโครเวฟ 90 วัตต์

Keera และคณะ (2011) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันและใช้ค้างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันพืชที่ใช้คือ น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดฝ้าย ค้างที่ใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยจะศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อผลได้และลักษณะของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชเหล่านี้ การทดลองทำการศึกษาที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1-3 ชั่วโมง, ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5-1.5% โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1-9:1 ผลจากการศึกษาพบว่าผลได้ที่ดีที่สุดคือ ที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1% อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ซึ่งจากผลการทดลองไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

Chen และคณะ (2012) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ไมโครเวฟ ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองที่ใช้คือ 0.75% โดยน้ำหนัก ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าผลได้ของไบโอดีเซลที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์จะสูงกว่า ซึ่งสามารถลดเวลาในการทำปฏิกิริยาลงไปถึง 6 นาที ใช้อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 เมื่อปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้นทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นแต่การใช้ไมโครเวฟในการทำปฏิกิริยาก็ไม่ควรใช้ความร้อนที่สูงเกินไปเพราะอาจทำให้สูญเสียโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้ จากการทดลองจะได้

สภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของโซเดียมเมทอกไซด์ 0.75% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนเชิงโมล เมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 เวลาในการปฏิกิริยา 3 นาที และกำลังงานของไมโครเวฟ 700 วัตต์

Atapour และคณะ 2013 ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้วผ่านปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลได้ของไบโอดีเซล ร้อยละความบริสุทธิ์ และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล ตัวแปรที่ศึกษา คือ เวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) จากการศึกษาจะได้สภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 65 °C อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.72% โดยน้ำหนักและเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที จะได้ผลได้ของไบโอดีเซลจากการทำนายและจากการทำปฏิกิริยา คือ 93.56% และ 92.05% ตามลำดับ มีการตรวจสอบมาตรฐาน ASTM และพบว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานไบโอดีเซล EN 14214 และ ASTM 6751

จากการศึกษาข้อมูล พบว่า โดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้บ่อยคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ และโพแทสเซียมเมทอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 0.5-1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลสูงขึ้นด้วย แต่เมื่อเราเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นด้วยทำให้ปริมาณสบู่ที่เกิดจะเพิ่มขึ้นตามตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50, 55, 60, 65 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 5.5:1, 6:1, 6.5:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5-1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เป็นการศึกษาวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันผ่านกระบวนการแบบต่อเนื่อง เพื่อศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์และน้ำมันทอดใช้แล้วในการทำปฏิกิริยาปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันให้เกิดเป็นไบโอดีเซลและเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์เพื่อการพัฒนากระบวนการที่เหมาะสมสู่อุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุ

3.1.1 วัตถุดิบ

(1) น้ำมันทอดใช้แล้ว ได้จากร้านอาหารที่อยู่บริเวณรอบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ลักษณะภายนอกของน้ำมันทอดใช้แล้วมีสีน้ำตาลเข้ม เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (อาจจะเป็นตกตะกอนเป็นไขบ้างเล็กน้อย) แสดงดังภาพประกอบที่ 3-1 มีปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 0.5-1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และมีความหนาแน่นที่อุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 3-1 วัดวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในน้ำมันทอดใช้แล้วที่ใช้เป็นวัตถุดิบโดยวัดวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Karl-Fischer (ปริมาณน้ำในน้ำมันทอดใช้แล้ว 0.085% โดยน้ำหนักน้ำมัน)



ภาพประกอบที่ 3-1 ลักษณะภายนอกของน้ำมันทอดใช้แล้ว

ตารางที่ 3-1 ความหนาแน่นของน้ำมันทอดใช้แล้วที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลิตร)
30	0.900
50	0.885
55	0.880
60	0.878
65	0.875

3.2.2 สารเคมี

(1) โซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH_3 , Commercial grade) ละลายในเมทานอล ความเข้มข้น 30% โดยน้ำหนักผลิตโดยบริษัทเจ็บบีแซน แอนด์ เจ็สแซน เคมีคอล (ที) จำกัด

(2) ฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ ผลิตโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด บอส ออฟติคอล

(3) โบรโมฟีนอลบลู อินดิเคเตอร์, Fisher Scientific UK Ltd.

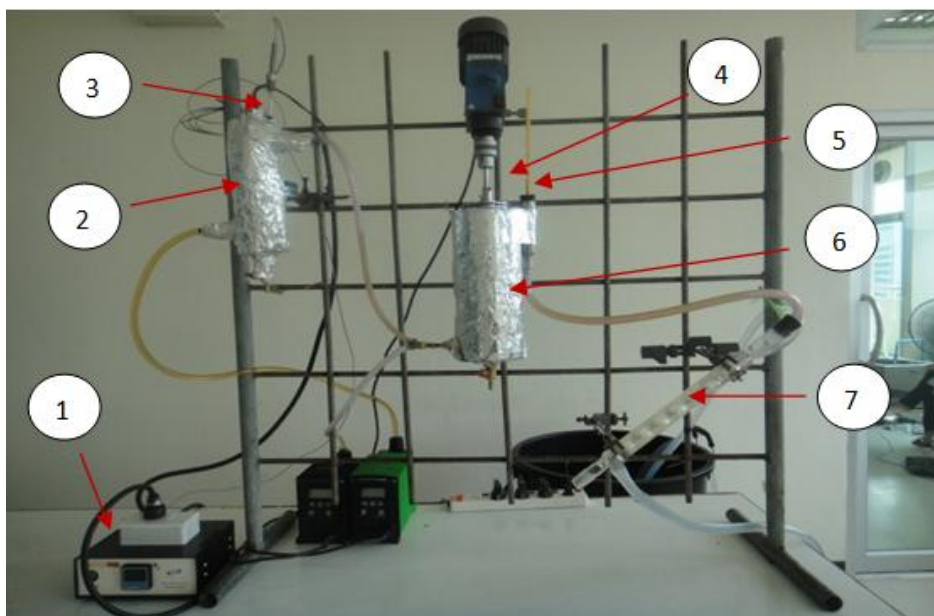
(4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl, Analytical grade) ความเข้มข้น 37% โดยน้ำหนัก, Lab-Scan Ltd (Ireland)

(5) เมทานอล (CH_3OH , Commercial grade) ความเข้มข้น 99.8% โดยน้ำหนักผลิตโดยบริษัท พี. เจนเนอรัลกรุ๊ปจำกัด

(6) ไอโซโพรพานอล (Isopropanol, Commercial grade) ความเข้มข้น 99.8% โดยน้ำหนักผลิตโดยบริษัท ทีอ็อป โซลเว้นท์ จำกัด

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา แสดงดังภาพ



ภาพประกอบที่ 3-2 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

โดยอุปกรณ์ต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

- หมายเลข 1 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันก่อนเข้าทำปฏิกิริยา
- หมายเลข 2 ฮีตเตอร์ใช้สำหรับให้ความร้อนกับน้ำมันก่อนเข้าทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์
- หมายเลข 3 เทอโมคอปเปอร์ ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำมันที่จะเข้าทำปฏิกิริยา
- หมายเลข 4 ไบพัดคววน ใช้สำหรับกวนให้สารผสมกันได้ดี
- หมายเลข 5 เทอร์โมมิเตอร์ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของ ไบโอดีเซลที่ทางออกเครื่องปฏิกรณ์
- หมายเลข 6 ถังปฏิกรณ์ ใช้สำหรับทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ขนาด 750 มิลลิลิตร
- หมายเลข 7 รีฟลักซ์คอนเดนเซอร์ ใช้สำหรับหล่อเย็นไบโอดีเซลที่ทางออกของเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อหยุดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

- หมายเลข 8 นาฬิกาจับเวลา ใช้สำหรับควบคุมเวลาในการเก็บสารตัวอย่าง

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

(1) กรวยแยก ใช้สำหรับใส่ไบโอดีเซลที่ทำปฏิกิริยาแล้วเพื่อแยกเฟสไบโอดีเซลกับเฟสกลีเซอรินออกจากกัน

(2) ขวดรูปชมพู่ ใช้สำหรับใส่สารตัวอย่างและตัวทำละลาย

(3) บิวเรตต์ ใช้สำหรับใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต

(4) ขาดัง บิวเรตต์เคลมบี้ ใช้สำหรับยึดจับบิวเรตต์และขาดังกรวยแยก ใช้สำหรับยึดจับกรวยแยก

(4) บีกเกอร์ ใช้สำหรับใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก

(5) หลอดหยด ใช้สำหรับหยดอินดิเคเตอร์

(6) เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใช้สำหรับชั่งสารตัวอย่าง

3.3 วิธีการดำเนินการ

3.3.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา กรดไขมันอิสระเริ่มต้นของน้ำมัน อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน เปอร์เซ็นต์ผลได้ของไบโอดีเซลและเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

3.3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน คือ 50, 55, 60 และ 65°C

2. เวลาในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน คือ 5, 8, 12, 15 นาที

3. ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOCH_3) คือ 0.5-1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

4. อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่แตกต่างกัน คือ 5.5:1, 6:1, 6.5:1

5. เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระเริ่มต้น คือ 0.5%, 1.0%, 1.5% โดยน้ำหนักของ

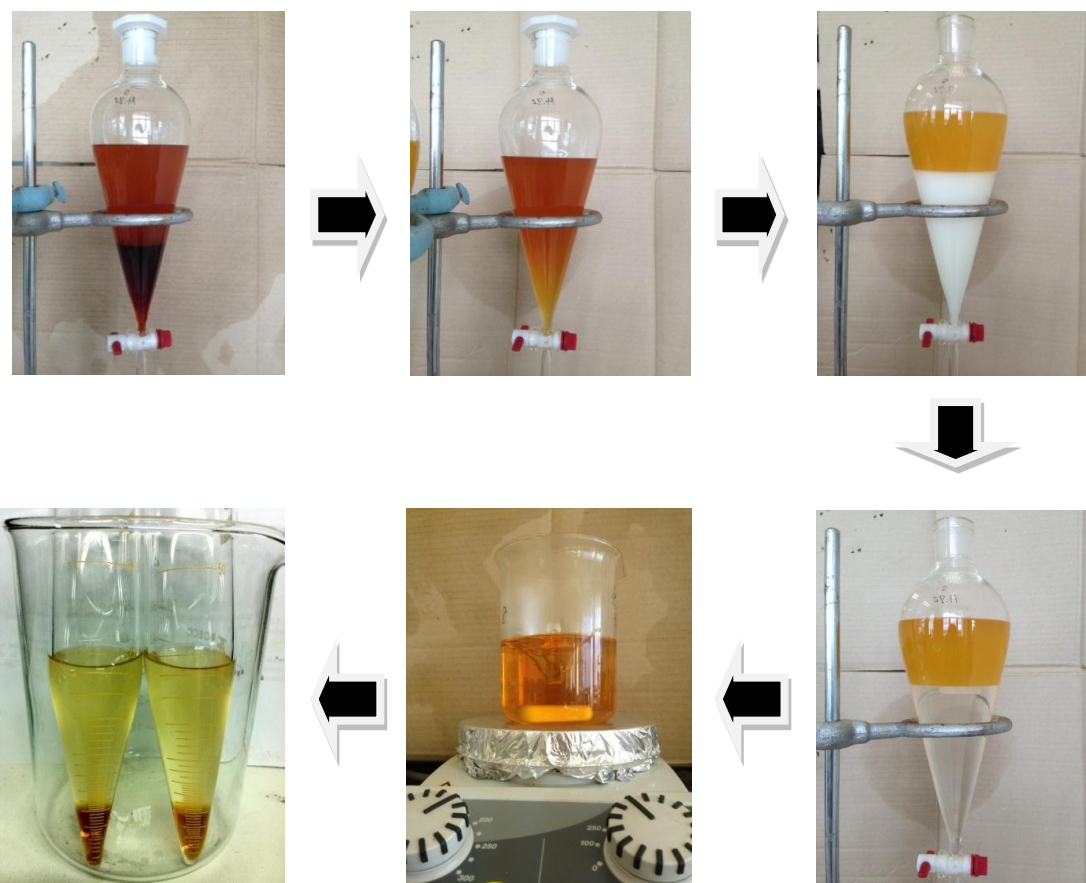
น้ำมัน

3.3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ทดลองโดยทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันทอดใช้แล้วที่มีเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระเริ่มต้น คือ 0.5%, 1.0%, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน กับเบส (NaOCH_3) ความเข้มข้น 0.5-1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลต่างๆของเมทานอลต่อ น้ำมัน คือ 5.5:1, 6:1, 6.5:1 ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50, 55, 60 และ 65°C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที

2. เก็บตัวอย่างเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) คือเมื่อทำปฏิกิริยาไปแล้วประมาณ 4 เท่าของเวลาในการทำปฏิกิริยานั้นๆ ซึ่งขั้นตอนการเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบที่ 3-3

3. วิเคราะห์หาผลได้ของไบโอดีเซล (yield) และวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล โดยวิธีตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณ (Proximate analysis) โดยใช้ไมโครเวฟ



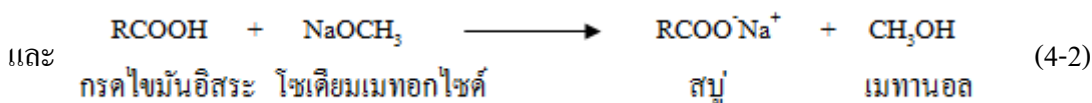
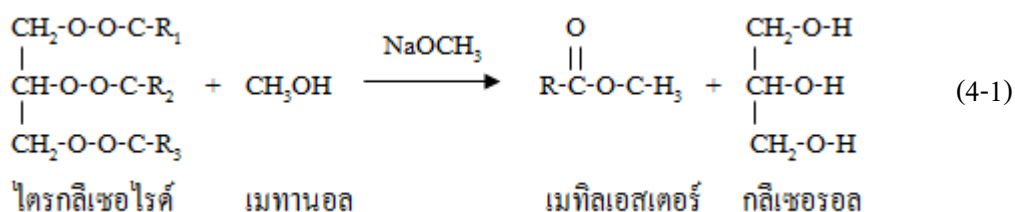
ภาพประกอบที่ 3-3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลไบโอดีเซล

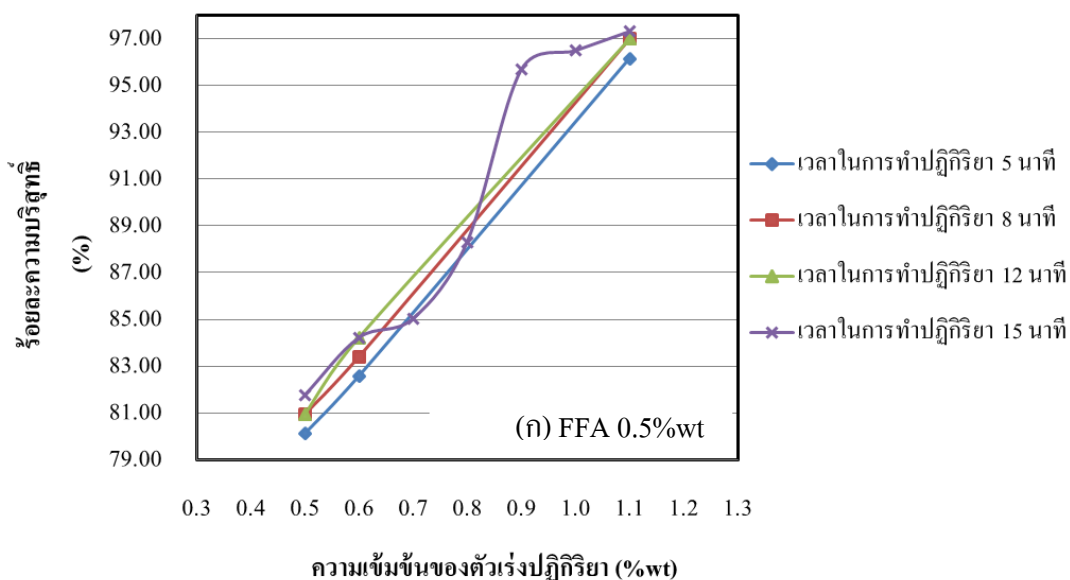
ในการทดลองศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา เวลาในการเกิดปฏิกิริยา ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล(Thailand petty patent No.5060) ผลได้ของไบโอดีเซล จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (ด้วยวิธีการไทเทรต) ในปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลดังปฏิกิริยาที่ (4-1) และ (4-2) ตามลำดับ

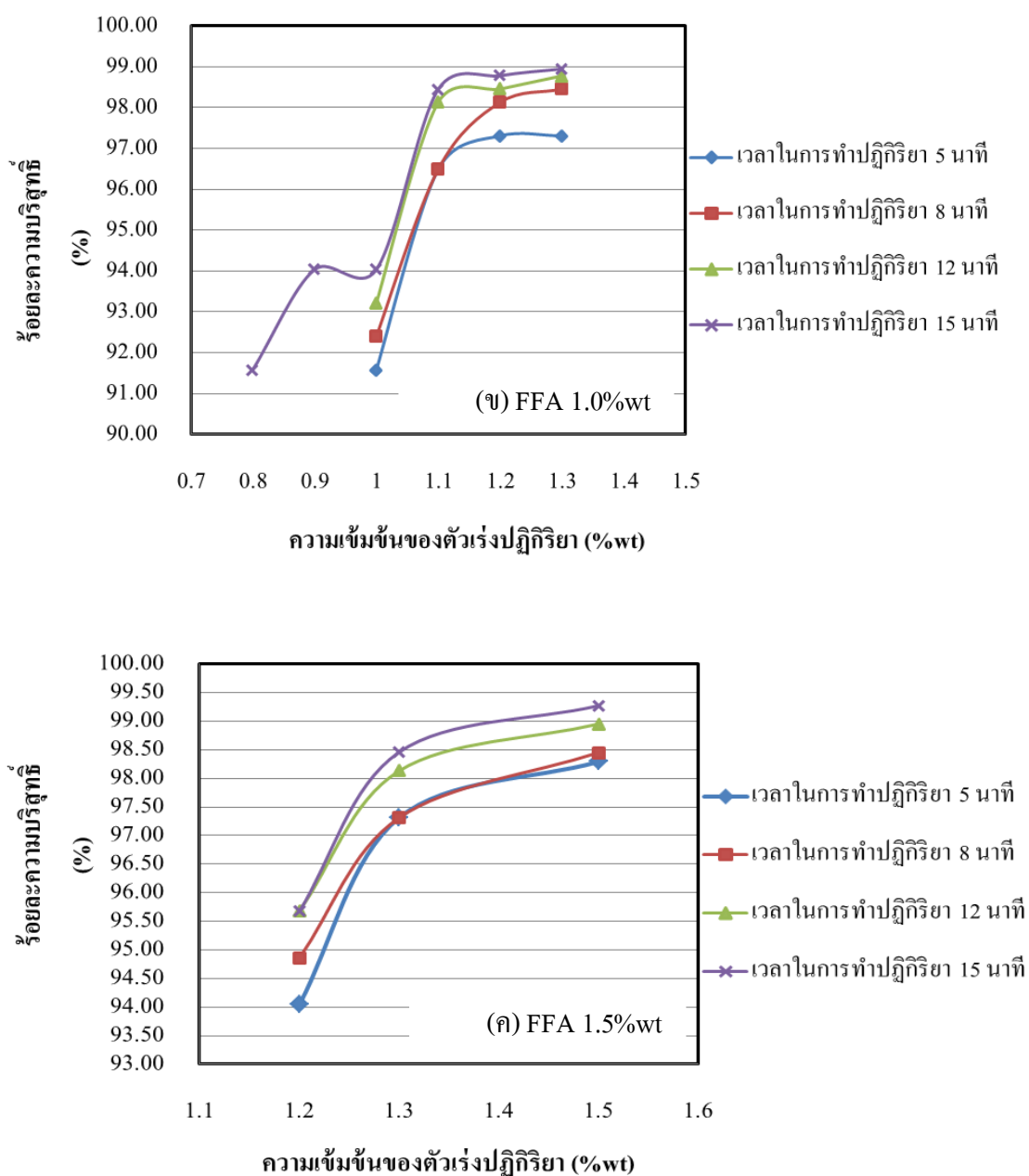


4.1 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซล

ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซลทำการทดลองที่เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระเริ่มต้น 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันซึ่งทำให้ได้ผลได้สูงสุด (Alkabbashi และคณะ, 2009 , Leung และคณะ, 2006 , Darnoko และคณะ, 2000) ความเร็วรอบในการกวน 900 รอบต่อนาทีโดยทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 0.5–1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

4.1.1 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล





ภาพประกอบที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลกับเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1

ภาพ (ก) สังเกตได้ว่าที่กรดไขมันอิสระ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เมื่อทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5–1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกๆเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นความเข้มข้นของตัวเร่ง

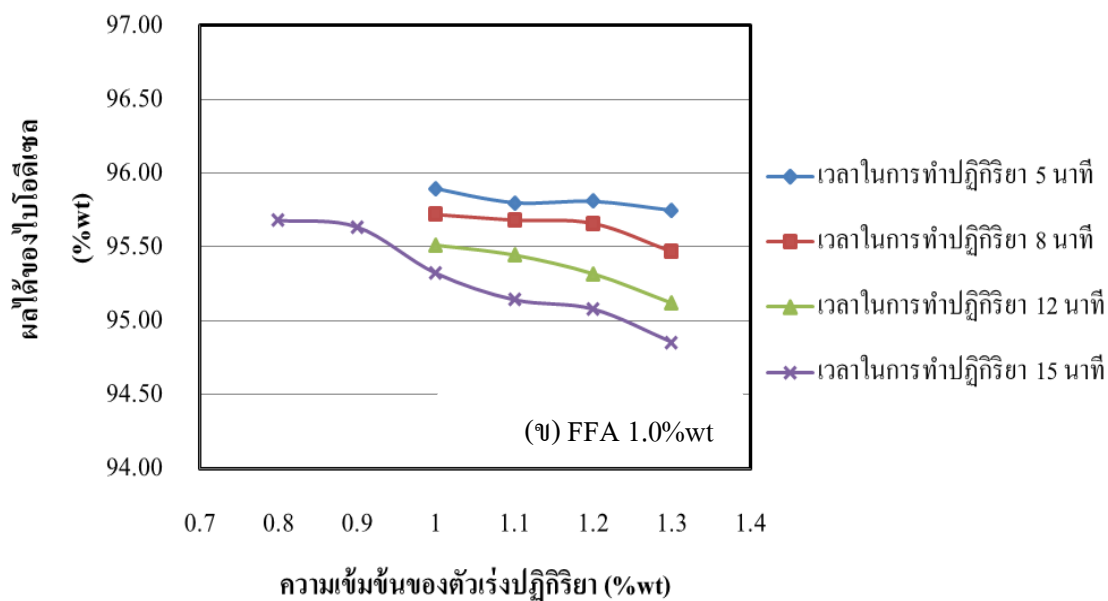
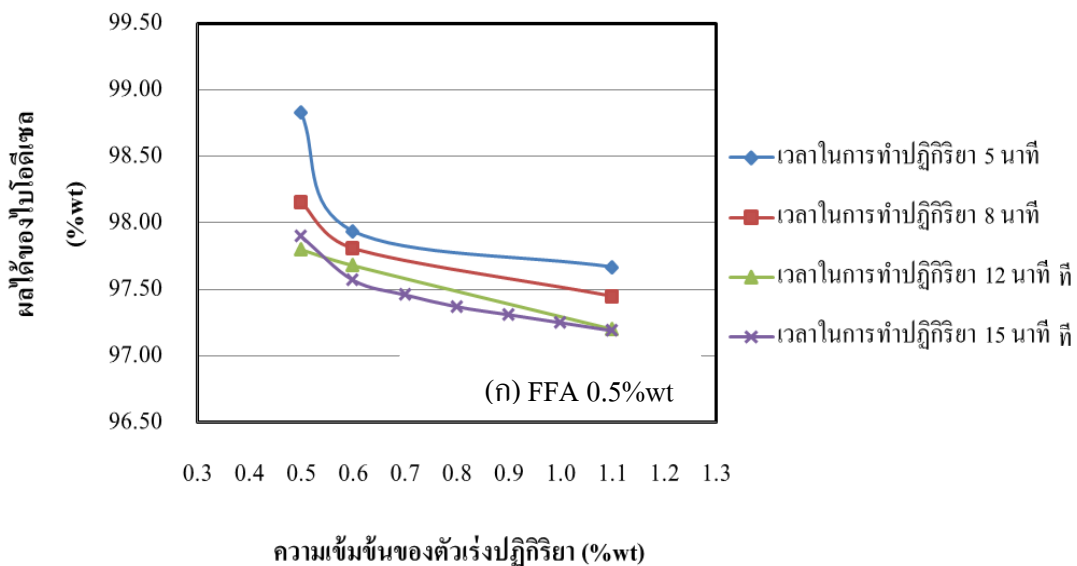
ปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และเวลาในการทำปฏิกิริยา 8, 12, 15 นาทีตามลำดับ ไบโอดีเซลที่ได้สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานที่ 96.5%

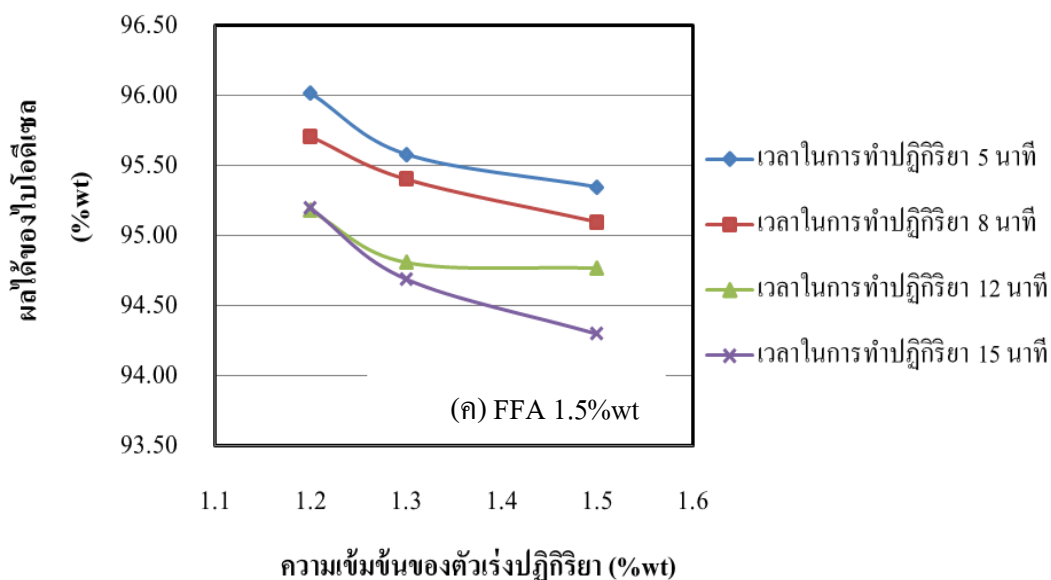
ภาพ (ข) สังเกตได้ว่าที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เมื่อทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8–1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกๆเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 12 และ 15 นาที สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน และที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.2 และ 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานทุกๆ เวลาในการทำปฏิกิริยา

ภาพ (ค) สังเกตได้ว่าที่กรดไขมันอิสระ 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เมื่อทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.2–1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกๆ เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าร้อยละความบริสุทธิ์ที่ผ่านมาตรฐานได้แก่ ที่ที่กรดไขมันอิสระ 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ซึ่งที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.3 และ 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานทุกๆเวลาในการทำปฏิกิริยา

จากภาพประกอบที่ 4-1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาจะแปรตามปริมาณกรดไขมันอิสระ และจะต้องมีปริมาณเพียงพอ ซึ่งอยู่ในช่วงมากกว่า 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมันพอดีแล้ว

4.1.2 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อผลได้ของไบโอดีเซล





ภาพประกอบที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1

ภาพ (ก) สังเกตได้ว่าที่กรดไขมันอิสระ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน พบว่าผลได้ของไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น พบว่าค่าผลได้ของไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะมีค่าที่สูงกว่าที่เข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาค่าอื่นๆที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลได้ของไบโอดีเซลจะอ้างอิงโดยปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น คือผลได้ของไบโอดีเซลกับปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นจะแปรผกผันกัน

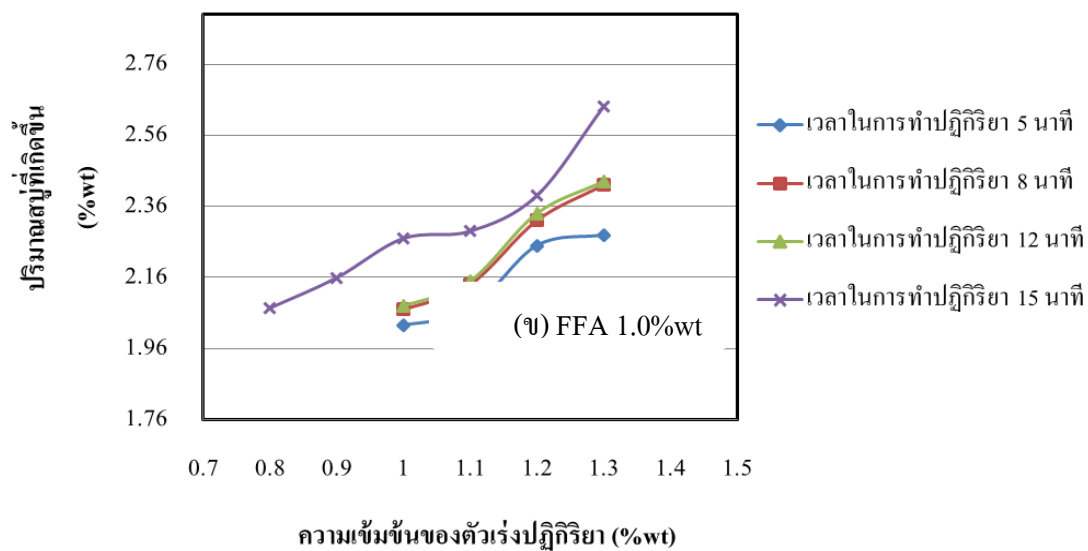
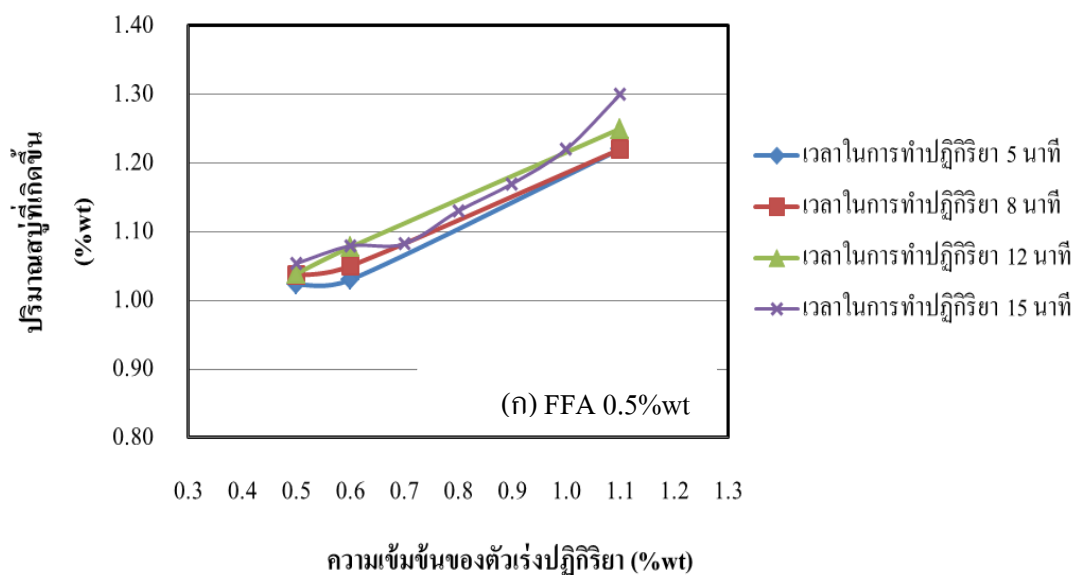
ภาพ (ข) สังเกตได้ว่าที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เมื่อทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8–1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมันซึ่งที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะมีผลได้ของไบโอดีเซลที่มากที่สุดและผลได้ของไบโอดีเซลมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ซึ่งผลได้ของไบโอดีเซลจะแปรผกผันกับปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น

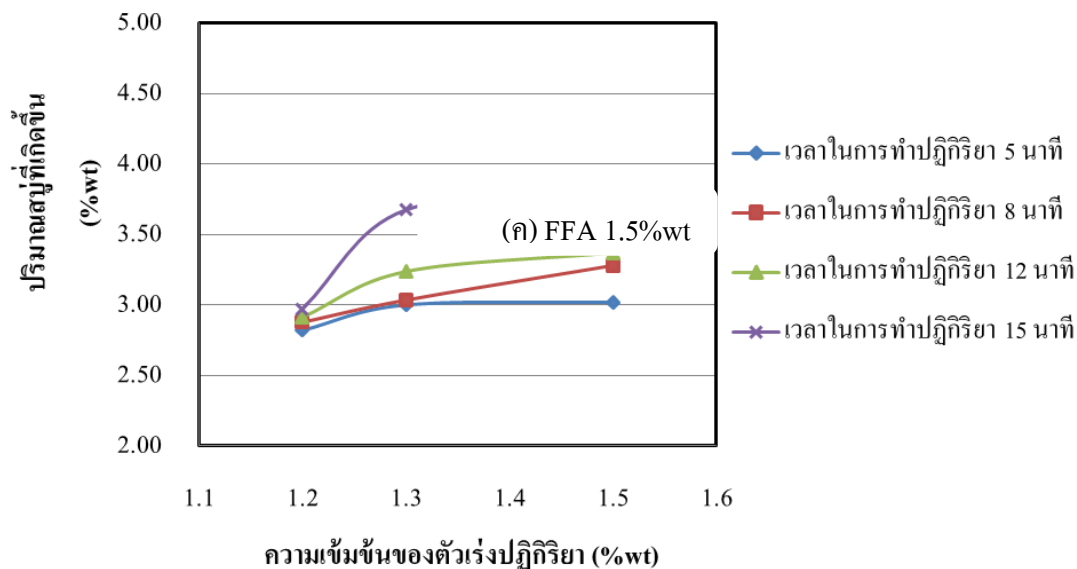
ภาพ (ค) สังเกตได้ว่าที่กรดไขมันอิสระ 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เมื่อทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.2–1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมันซึ่งที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.2% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะมีผลได้ของไบโอดีเซลที่มากที่สุดและผลได้ของไบ

โอดีเซลมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ซึ่งผลได้ของไบโอดีเซลจะแปรผกผันกับปริมาณสบู่ที่เกิด

จากภาพประกอบที่ 4-2 จะสังเกตเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลอย่างมากต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน คือเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าผลได้ของไบโอดีเซลลดลงเนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเกิดได้ดีขึ้นแต่ปริมาณสบู่ที่เกิดก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ตัวเร่งปฏิกิริยาเมทอกไซด์จะเป็นตัวเร่งที่มีประสิทธิภาพสูงการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเมทอกไซด์จะทำให้ได้ค่าผลได้ที่สูงเพราะเมื่อทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เมทอกไซด์จะไม่เกิดน้ำเพิ่มขึ้น (Leung และคณะ, 2006) ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื้อเดียวที่มีประสิทธิภาพสูงและเมทอกไซด์จะให้ผลได้ของไบโอดีเซลที่สูง เนื่องจากเมื่อใช้เมทอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยาจะไม่ทำให้เกิดน้ำขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา (Singh และคณะ, 2008) ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาข้างเคียงคือสะพอนิฟิเคชันจะไม่เกิดจากน้ำในส่วนนี้ ในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเมทอกไซด์จะมีข้อแนะนำว่าสารป้อนควรปราศจากน้ำ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วการใช้เมทอกไซด์ก็จะเกิดสบู่เช่นกันแต่จะเกิดช้ากว่า เพราะเมทอกไซด์เป็นเบสแก่ (Singh และคณะ, 2006) ความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เมทอกไซด์จะแปรตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันถ้าปริมาณกรดไขมันอิสระสูงขึ้นจะต้องใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้นด้วยเพื่อให้เพียงพอต่อปฏิกิริยาการทำสะเทินระหว่างกรดไขมันอิสระกับเบสแล้วยังมีปริมาณเหลืออยู่อีกจำนวนมากพอที่จะเร่งปฏิกิริยาต่อไป แต่การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้นนั้นจะส่งผลถึงปริมาณสบู่ที่จะเกิดขึ้นก็สูงตามไปด้วย โดยมีผลทำให้ปริมาณเอสเทอร์และกลีเซอไรด์จะไปอยู่เฟสกลีเซอรอลมากขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียผลได้ ซึ่งการใช้เมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจำนวนน้ำเพียงเล็กน้อยที่อยู่ในระบบจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับเอสเทอร์ที่เป็นผลผลิตหรือกลีเซอไรด์ที่เป็นสารตั้งต้นเกิดเป็นกรดไขมันอิสระและเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันทำให้เกิดสบู่ขึ้น (Vicente และคณะ, 2004) ดังนั้นในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม จึงควรเลือกเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เหมาะกับคุณสมบัติของสารป้อน โดยต้องพิจารณาจากความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ที่ต้องผ่านมาตรฐานเชื้อเพลิง และได้ผลได้สูงสุดด้วย

4.1.3 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณสบู่ที่เกิด





ภาพประกอบที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นกับเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1

จากภาพประกอบที่ 4-3 สังเกตได้ว่าในแต่ละความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระเมื่อทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้นปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน การเกิดสบู่จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (Singh และคณะ, 2006) ซึ่งเป็นการอธิบายผลได้ของไบโอดีเซล (ภาพประกอบที่ 4-2) คือ เมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นและส่งผลกระทบต่อผลได้ของไบโอดีเซลลดลงและจากการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงมาก จะเพิ่มการเกิดปริมาณสบู่ ซึ่งจะส่งผลให้ผลได้ลดลง

4.1.4 คุณมวลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 4-1 คุณมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กรดไขมันอิสระ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5-1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมันและอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1

(1) เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ทางเข้า (mol/mol)	น้ำและ กรดไขมัน อิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ ตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือจากการ ไคเตรต (mol/mol)	ร้อยละ ความบริสุทธิ์ ของไบโอดีเซล (%)
0.5	0.0784	0.0632	0.0152	0.0514	80.12
0.6	0.0941	0.0633	0.0308	0.0647	82.58
1.1	0.1725	0.0633	0.1092	0.1447	96.16

(2) เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ทางเข้า (mol/mol)	น้ำและ กรดไขมัน อิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ ตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ จากการไคเตรต (mol/mol)	ร้อยละ ความบริสุทธิ์ ของไบโอดีเซล (%)
0.5	0.0784	0.0632	0.0152	0.0510	80.94
0.6	0.0941	0.0633	0.0308	0.0647	83.40
1.1	0.1725	0.0633	0.1092	0.1444	96.98

ตารางที่ 4-1 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กรดไขมันอิสระ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5-1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมันและอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1

(3) เวลาในการทำปฏิกิริยา 12 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ทางเข้า (mol/mol)	น้ำและ กรดไขมัน อิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ ตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ จากการไคเตรต (mol/mol)	ร้อยละ ความบริสุทธิ์ ของไบโอดีเซล (%)
0.5	0.0784	0.0632	0.0152	0.0502	80.94
0.6	0.0941	0.0633	0.0308	0.0645	84.22
1.1	0.1725	0.0633	0.1092	0.1438	96.98

(4) เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ทางเข้า (mol/mol)	น้ำและ กรดไขมัน อิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ ตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ จากการไคเตรต (mol/mol)	ร้อยละ ความบริสุทธิ์ ของไบโอดีเซล (%)
0.5	0.0784	0.0632	0.0152	0.0497	81.76
0.6	0.0941	0.0633	0.0308	0.0638	84.22
0.7	0.1098	0.0633	0.0465	0.0783	85.03
0.8	0.1255	0.0633	0.0622	0.0941	88.31
0.9	0.1412	0.0633	0.0779	0.1096	95.67
1.0	0.1569	0.0633	0.0935	0.1234	96.49
1.1	0.1725	0.0633	0.1092	0.1428	97.31

ตารางที่ 4-2 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8-1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมันและอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1

(1) เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ทางเข้า (mol/mol)	น้ำและ กรดไขมัน อิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ ตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ จากการไตเตรต (mol/mol)	ร้อยละ ความบริสุทธิ์ ของไบโอดีเซล (%)
1.0	0.1569	0.0790	0.0779	0.1050	91.58
1.1	0.1725	0.0790	0.0935	0.1298	96.49
1.2	0.1945	0.0790	0.1155	0.1365	97.31
1.3	0.2039	0.0790	0.1249	0.1479	97.31

(2) เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ทางเข้า (mol/mol)	น้ำและ กรดไขมัน อิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ ตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ จากการไตเตรต (mol/mol)	ร้อยละ ความบริสุทธิ์ ของไบโอดีเซล (%)
1.0	0.1569	0.0790	0.0779	0.1042	92.40
1.1	0.1725	0.0790	0.0935	0.1286	96.49
1.2	0.1945	0.0790	0.1155	0.1356	98.13
1.3	0.2039	0.0790	0.1249	0.1442	98.45

ตารางที่ 4-2 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8-1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมันและอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1

(3) เวลาในการทำปฏิกิริยา 12 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ทางเข้า (mol/mol)	น้ำและ กรดไขมัน อิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ ตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ จากการไต่เตรต (mol/mol)	ร้อยละ ความบริสุทธิ์ ของไบโอดีเซล (%)
1.0	0.1569	0.0790	0.0779	0.0949	93.22
1.1	0.1725	0.0790	0.0935	0.1271	98.13
1.2	0.1945	0.0790	0.1155	0.1336	98.45
1.3	0.2039	0.0790	0.1249	0.1397	98.78

(4) เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ทางเข้า (mol/mol)	น้ำและ กรดไขมัน อิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ ตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหลือ จากการไต่เตรต (mol/mol)	ร้อยละ ความบริสุทธิ์ ของไบโอดีเซล (%)
0.8	0.1255	0.0790	0.0465	0.0717	91.58
0.9	0.1412	0.0790	0.0622	0.0862	94.04
1.0	0.1569	0.0790	0.0779	0.0940	94.04
1.1	0.1725	0.0790	0.0935	0.1269	98.45
1.2	0.1945	0.0790	0.1155	0.1317	98.78
1.3	0.2039	0.0790	0.1249	0.1368	98.95

ตารางที่ 4-3 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กรดไขมันอิสระ 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.2-1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมันและอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1

(1) เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเข้า (mol/mol)	น้ำและกรดไขมันอิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากการไคเตรต (mol/mol)	ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)
1.2	0.1882	0.0947	0.0935	0.1242	94.04
1.3	0.2039	0.0947	0.1092	0.1360	97.31
1.5	0.2353	0.0948	0.1405	0.1676	98.29

(2) เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 นาที

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเข้า (mol/mol)	น้ำและกรดไขมันอิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากการไคเตรต (mol/mol)	ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)
1.2	0.1882	0.0947	0.0935	0.1227	94.85
1.3	0.2039	0.0947	0.1092	0.1345	97.31
1.5	0.2353	0.0948	0.1405	0.1623	98.45

(3) เวลาในการทำปฏิกิริยา 12 นาที

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเข้า (mol/mol)	น้ำและกรดไขมันอิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากการไคเตรต (mol/mol)	ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)
1.2	0.1882	0.1002	0.0880	0.1190	95.67
1.3	0.2039	0.1000	0.1039	0.1286	98.13
1.5	0.2353	0.0997	0.1355	0.1570	98.95

ตารางที่ 4-3 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กรดไขมันอิสระ 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.2-1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมันและอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1

(4) เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (%)	ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเข้า (mol/mol)	น้ำและกรดไขมันอิสระทางเข้า (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือตามทฤษฎี (mol/mol)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากการไคเตรด (mol/mol)	ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)
1.2	0.1882	0.0947	0.0935	0.1166	95.67
1.3	0.2039	0.0947	0.1092	0.1277	98.45
1.5	0.2353	0.0948	0.1405	0.1449	99.27

**หมายเหตุ - ปริมาณน้ำในสารตั้งต้นวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Karl-Fisher

- ปริมาณน้ำในน้ำมัน 0.085%
- ปริมาณน้ำในเมทานอล 0.125%
- ปริมาณน้ำในตัวเร่งปฏิกิริยา 0.173%

จากตารางที่ 4-1 ถึง 4-3 ซึ่งแสดงคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณกรดไขมันอิสระ 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60°C อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5-1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ปรากฏว่าเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือตามทฤษฎีมีค่าตั้งแต่ 0.0935 โมลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อโมลของน้ำมันทางเข้า และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากการไคเตรดมีค่าตั้งแต่ 0.1269 โมลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อโมลของน้ำมันทางเข้าเป็นต้นไป จึงจะมีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาก็ต้องเพียงพอที่จะทำให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลผ่านมาตรฐาน 96.5%

4.2 ผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซล

ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไบโอดีเซลทำการทดลองที่ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOCH_3) 1.1, 1.2, 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C ความเร็วรอบในการกวน 900 รอบต่อนาที โดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 5.5:1, 6:1, 6.5:1 ตามลำดับ

4.2.1 ผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ผลได้ของไบโอดีเซล และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ ผลได้ของไบโอดีเซลและปริมาณสบู่ ที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1-1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน โดยทำการศึกษาอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 5.5:1, 6:1, 6.5:1

(1) เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนัก)	ร้อยละความบริสุทธิ์			ผลได้ของไบโอดีเซล			ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น		
	(%)			(%โดยน้ำหนัก)			(%โดยน้ำหนัก)		
	5.5:1	6:1	6.5:1	5.5:1	6:1	6.5:1	5.5:1	6:1	6.5:1
1.1	95.67	96.49	96.49	95.47	96.10	96.20	2.03	1.84	1.63
1.2	97.31	97.31	98.13	95.41	95.80	95.99	2.17	1.99	1.90
1.3	97.80	97.80	98.45	95.30	95.75	95.75	2.28	2.09	1.95

ตารางที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1-1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน โดยทำการศึกษาอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 5.5:1, 6:1, 6.5:1

(2) เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนัก)	ร้อยละความบริสุทธิ์ (%)			ผลได้ของไบโอดีเซล (%โดยน้ำหนัก)			ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (%โดยน้ำหนัก)		
	5.5:1	6:1	6.5:1	5.5:1	6:1	6.5:1	5.5:1	6:1	6.5:1
1.1	96.49	96.49	96.49	95.46	95.84	96.04	2.08	1.92	1.92
1.2	97.64	98.13	98.29	95.35	95.58	95.57	2.45	2.09	1.99
1.3	97.80	98.45	98.78	95.28	95.57	95.56	2.49	2.16	2.02

(3) เวลาในการทำปฏิกิริยา 12 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนัก)	ร้อยละความบริสุทธิ์ (%)			ผลได้ของไบโอดีเซล (%โดยน้ำหนัก)			ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (%โดยน้ำหนัก)		
	5.5:1	6:1	6.5:1	5.5:1	6:1	6.5:1	5.5:1	6:1	6.5:1
1.1	96.49	97.31	97.64	95.28	95.45	95.44	2.22	2.12	1.97
1.2	98.13	98.45	98.62	95.23	95.32	95.39	2.55	2.13	2.00
1.3	98.13	98.45	98.95	95.22	95.28	95.37	2.75	2.19	2.05

ตารางที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1-1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน โดยทำการศึกษาอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 5.5:1, 6:1, 6.5:1

(4) เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

ความเข้มข้น ของตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนัก)	ร้อยละความบริสุทธิ์			ผลได้ของไบโอดีเซล			ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น		
	(%)			(%โดยน้ำหนัก)			(%โดยน้ำหนัก)		
	5.5:1	6:1	6.5:1	5.5:1	6:1	6.5:1	5.5:1	6:1	6.5:1
1.1	97.31	98.13	98.13	94.74	95.22	95.49	2.34	2.14	2.02
1.2	98.45	98.78	98.78	94.75	95.17	95.18	2.76	2.18	2.04
1.3	98.45	98.78	98.95	93.12	94.90	95.02	2.89	2.40	2.08

จากตารางที่ 4-4 สังเกตได้ว่า ที่อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 5.5:1, 6:1, 6.5:1 ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และ 6.5:1 พบว่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าที่อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 5.5:1 แต่ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และ 6.5:1 มีค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกๆเวลาในการทำปฏิกิริยา การเพิ่มอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันมากกว่า 6:1 ไม่ได้ช่วยให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นมากนัก (Leung และคณะ, 2006)

ผลได้ของไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันและพบว่าค่าผลได้ของไบโอดีเซลที่อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และ 6.5:1 มีค่าที่สูงกว่าที่อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 5.5:1 ซึ่งผลได้ของไบโอดีเซลจะอ้างอิงโดยปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น คือผลได้ของไบโอดีเซลกับปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นจะแปรผกผันกัน จะสังเกตได้ว่าผลได้ของไบโอดีเซลที่อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และ 6.5:1 จะมีค่าผลได้ที่สูง

และใกล้เคียงกันมาก การเพิ่มอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันมากกว่า 6:1 ไม่ได้ช่วยให้ผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นมากนัก จึงเป็นการสิ้นเปลืองเมทานอลและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการคืนสภาพ (Leung และคณะ, 2006) ซึ่งผลได้ของไบโอดีเซลจะมาจาก 2 ด้านคือ chemical loss ระหว่างแอลคาลีนกับเอสเทอร์ และ physical loss อันเนื่องมาจากการล้าง

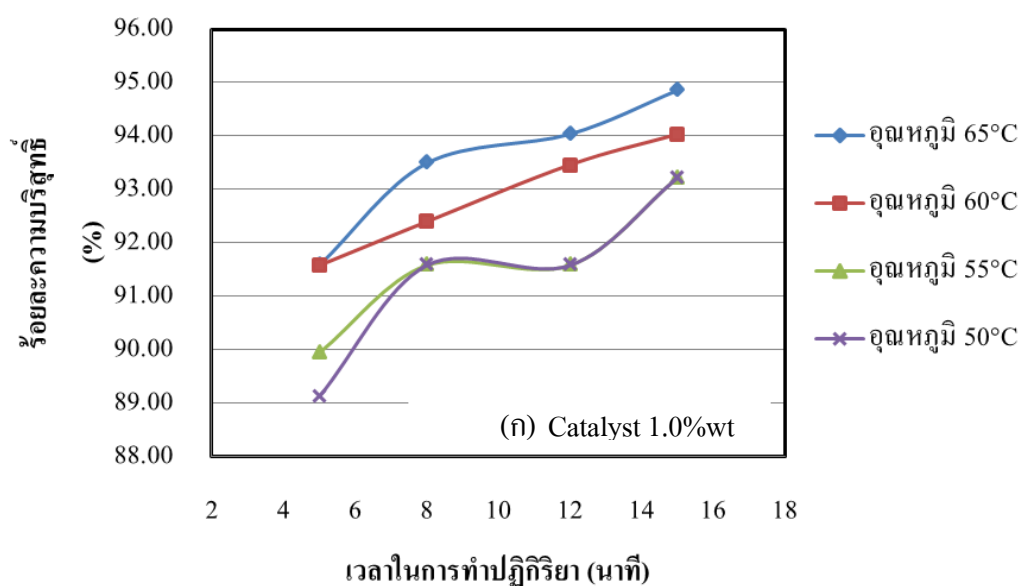
ปริมาณสบู่ที่เกิดมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นการอธิบายผลได้ของไบโอดีเซลคือ เมื่ออัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณเมทานอลที่เพิ่มขึ้นความสามารถในการละลายตัวเร่งปฏิกิริยาก็มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงซึ่งเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงทำให้ปริมาณสบู่ที่เกิดลดลงไปด้วย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกัน เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสบู่ที่เกิดเพิ่มขึ้นจึงทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง

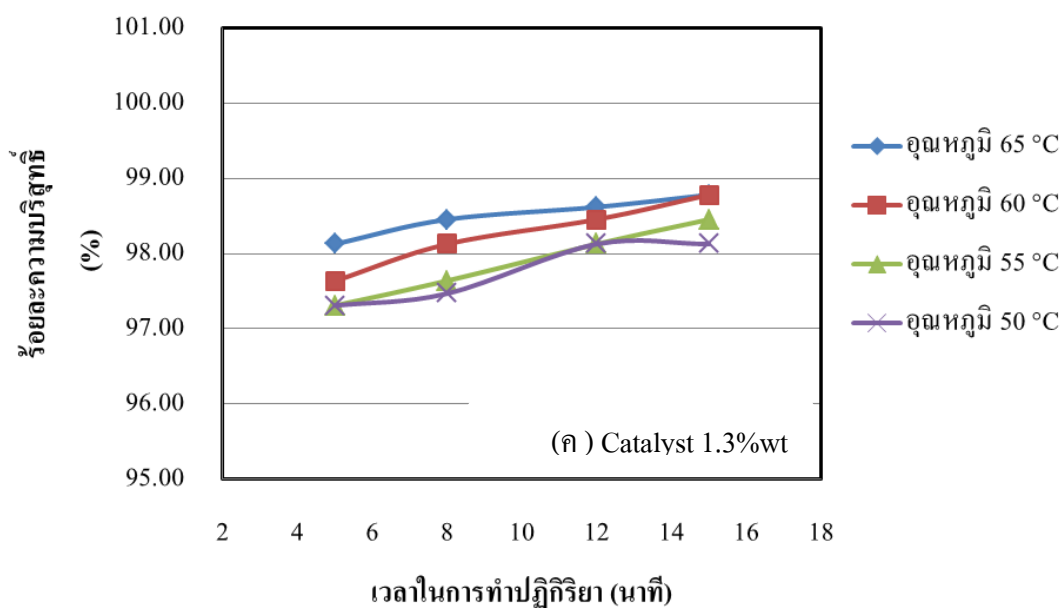
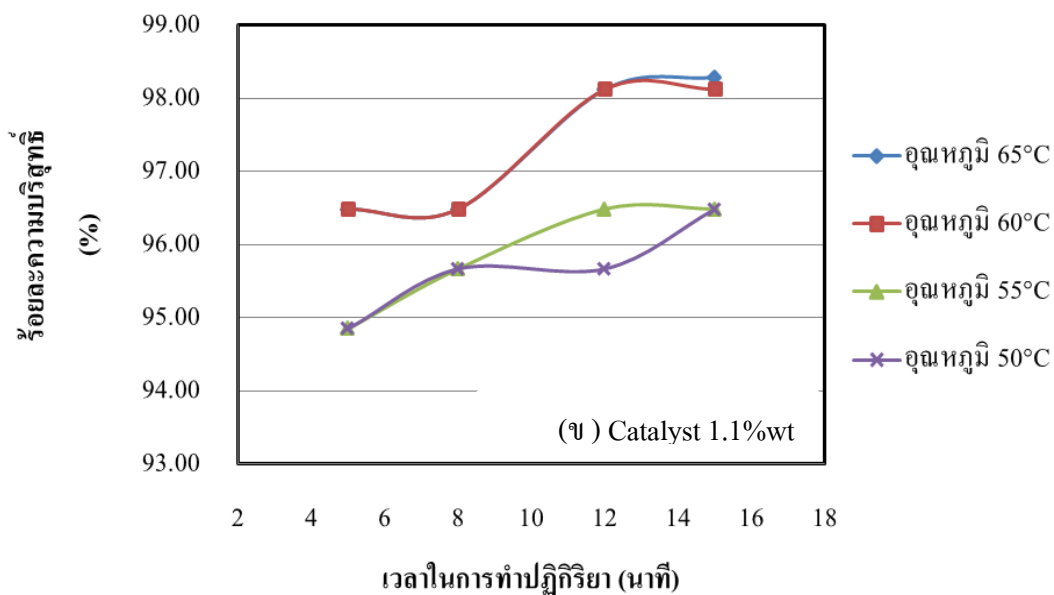
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อลดเมทานอลลงค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลก็จะลดลงเช่นกัน จึงจำเป็นต้องเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาให้สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้น แต่ค่าผลได้ของไบโอดีเซลจะลดลง ดังนั้นจึงควรเลือกที่จะเพิ่มเมทานอลมากกว่าเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะการเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงแต่การเพิ่มเมทานอลนั้นค่าใช้จ่ายจะต่ำกว่าและทำให้ได้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์และค่าผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และอัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 5.5:1 มีค่าร้อยละความบริสุทธิ์ค่าเดียวที่ผ่านมาตรฐาน คือ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที แต่เมื่อเราเพิ่มอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 และ 6.5:1 จะได้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ที่ผ่านมาตรฐาน คือ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 12 และ 15 นาที ซึ่งเมื่อเราเพิ่มอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมันนั้นทำให้เราสามารถลดเวลาในการทำปฏิกิริยาลงได้และค่าผลได้ของไบโอดีเซลก็เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเราจึงควรเลือกทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 เพราะถึงแม้ว่าเราจะเพิ่มอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมันต่อน้ำมันเป็น 6.5:1 ค่าร้อยละความบริสุทธิ์และค่าผลได้ของไบโอดีเซลก็ไม่ได้แตกต่างกันมากนักจึงเป็นการสิ้นเปลืองที่จะใช้อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6.5:1

4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซล

ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซลทำการทดลองที่เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระเริ่มต้น 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOCH_3) 1.0-1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ความเร็วรอบในการกวน 900 รอบต่อนาที โดยทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 50, 55, 60, 65°C ตามลำดับ

4.3.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

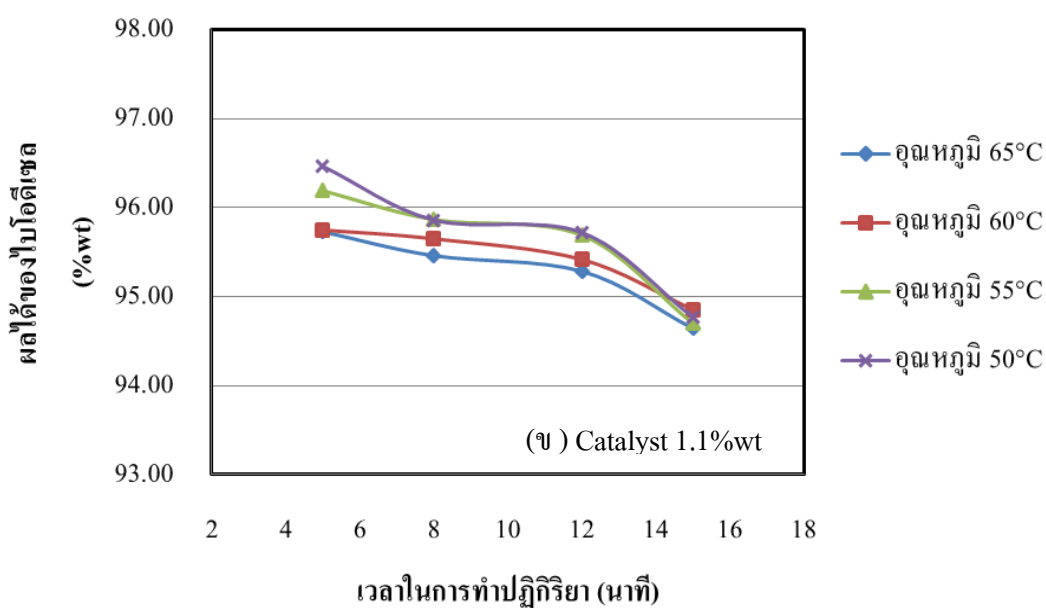
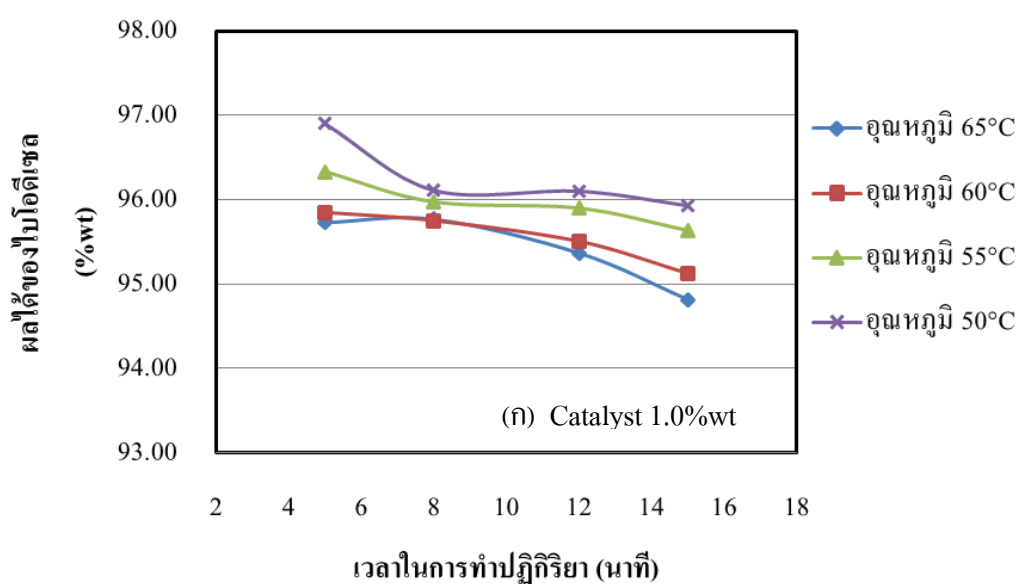


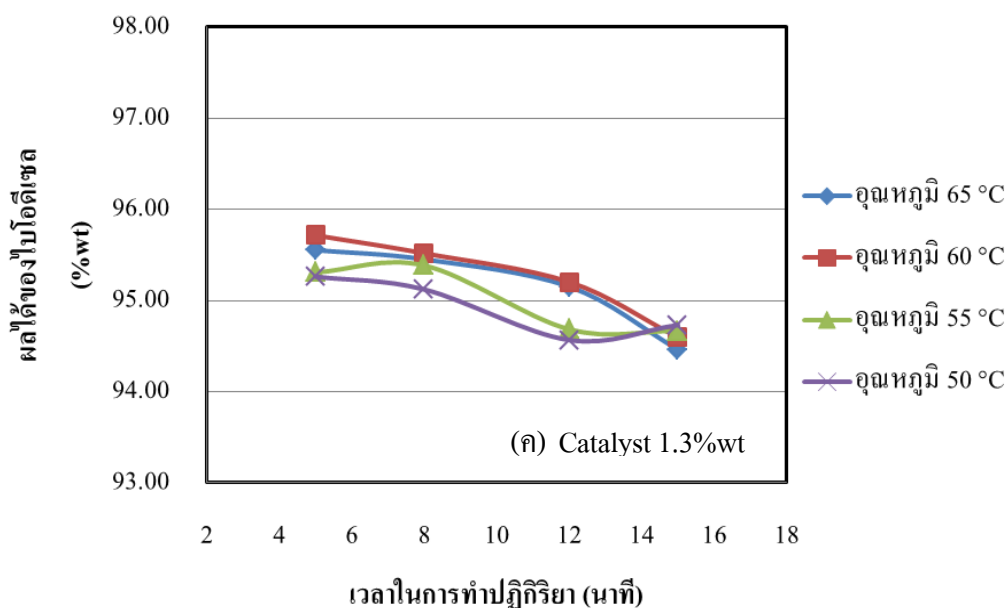


ภาพประกอบที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลกับเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโมเลทานอลต่อน้ำมัน 6:1 โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) 1.0, (ข) 1.1, (ค) 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

จากภาพประกอบที่ 4-4 สังเกตได้ว่า ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่สูงขึ้น ซึ่งที่อุณหภูมิ 60°C และ 65°C พบว่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 50°C และ 55°C แต่ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 60°C และ 65°C มีค่าที่ใกล้เคียงกันทุกๆเวลาในการทำปฏิกิริยา

4.3.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อผลได้ของไบโอดีเซล

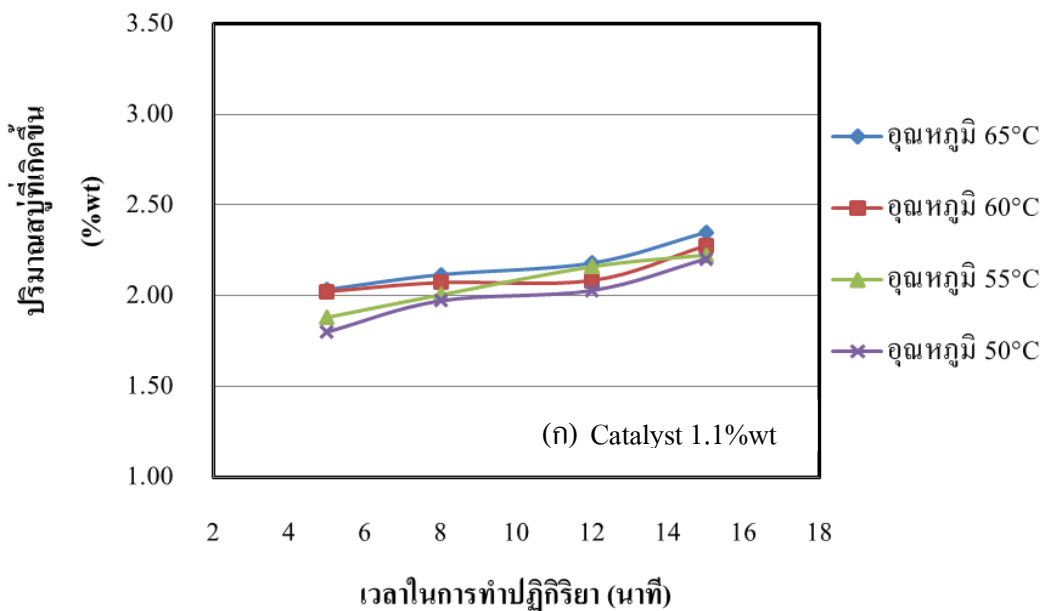
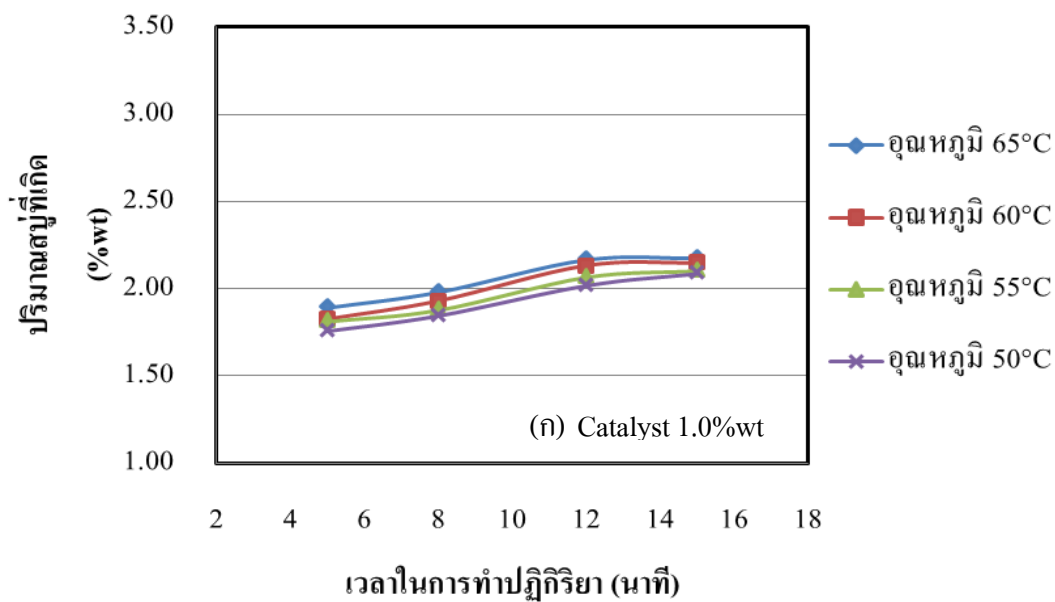


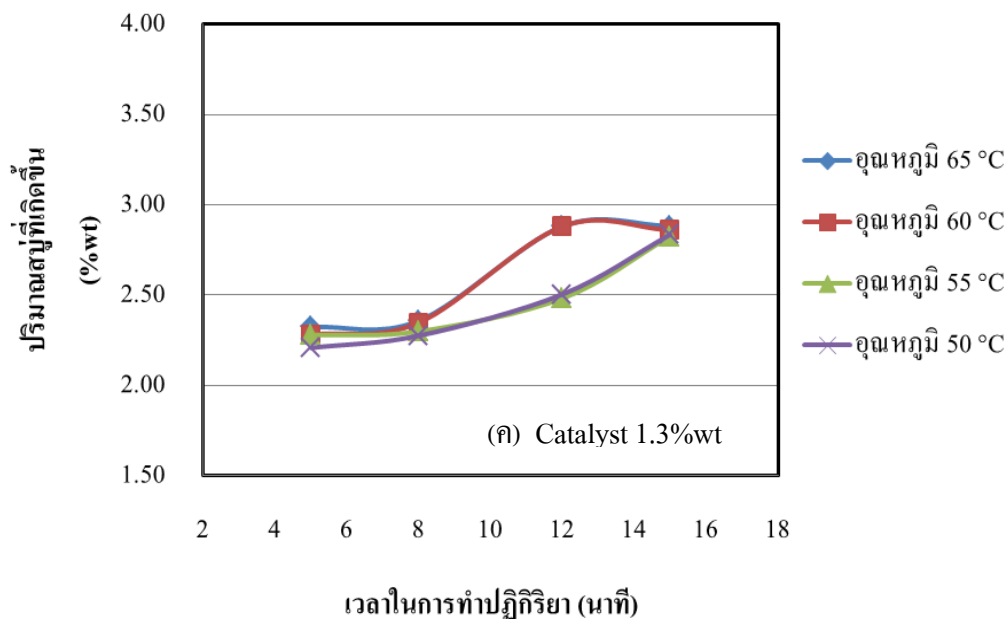


ภาพประกอบที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) 1.0, (ข) 1.1, (ค) 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

จากภาพประกอบที่ 4-5 สังเกตได้ว่า ที่อุณหภูมิ 50, 55, 60 และ 65°C ผลได้ของไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่ลดลงและพบว่าค่าผลได้ของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ทำการทดลองมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งผลได้ของไบโอดีเซลจะแปรผกผันกับปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (ปริมาณสบู่ที่เกิด ดังภาพประกอบที่ 4-6) ที่อุณหภูมิ 60°C และ 65°C พบว่าผลได้ของไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 50°C และ 55°C แต่ค่าผลได้ของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 60°C และ 65°C มีค่าที่ใกล้เคียงกันมากในทุกๆเวลาในการทำปฏิกิริยา สำหรับน้ำมันทอดใช้แล้วควรใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C เพราะจะทำให้ได้ค่าผลได้ของไบโอดีเซลที่สูง (Leung และคณะ, 2006)

4.3.3 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสบู่ที่เกิด





ภาพประกอบที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสบูที่เกิดขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดย-น้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) 1.0, (ข) 1.1, (ค) 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

จากภาพประกอบที่ 4-6 สังเกตได้ว่า เมื่อมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C, 55°C, 60°C และ 65°C ปริมาณสบูที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจึงมีผลต่อการเกิดขึ้นของปริมาณสบู ซึ่งเป็นการอธิบายผลได้ของไบโอดีเซล (ภาพประกอบที่ 4-5) คือ เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสบูที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณผลได้ของไบโอดีเซลลดลงนั่นเอง และในทางเดียวกัน เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสบูที่เกิดขึ้นจึงทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลลดลงเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิไม่ค่อยมีผลในการทำปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันและสะพอนิฟิเคชันมากนักมากนัก ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ไม่แตกต่างกันมากนัก การเพิ่มอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาจะเพิ่มทั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและสะพอนิฟิเคชัน (Singh และคณะ, 2006) นั่นคือเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ค่าผลได้ของไบโอดีเซลลดลง เนื่องจากเมื่อมีเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยานั้นทำให้ปริมาณสบูที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงทำให้ค่าผลได้ของไบโอดีเซลลดลงนั่นเองและการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0% โดย-น้ำหนักของน้ำมัน ที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆในการทำปฏิกิริยาปรากฏว่าค่าร้อยละความบริสุทธิ์

ของไบโอดีเซลไม่ผ่านมาตรฐานในทุกๆ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ปรากฏว่าค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลผ่านมาตรฐานที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 12 และ 15 นาที และที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 และ 65°C และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ปรากฏว่าค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลผ่านมาตรฐานในทุกๆ เวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาให้สูงขึ้น จะสามารถลดเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาได้ โดยที่ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลสามารถผ่านมาตรฐานได้ แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันไม่ควรต่ำกว่าอุณหภูมิห้องและไม่ควรเกินอุณหภูมิ 65°C เพราะจุดเดือดของเมทานอลอยู่ที่ 64.7°C ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เมทานอลระเหยได้ (Singh และคณะ, 2008) นั่นหมายถึงการทำปฏิกิริยาที่จะเกิดได้ไม่ดี ซึ่งจากการทดลองพบว่าถ้าต้องการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำต้องเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาให้สูงขึ้น แต่จะเป็นการสิ้นเปลืองตัวเร่งปฏิกิริยาและมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า ดังนั้นจึงควรเลือกทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เพราะที่อุณหภูมิ 60°C ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลก็สามารถผ่านมาตรฐานได้และแม้ว่าจะเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 65°C ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ก็ไม่ได้ต่างกันมากนักและเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นจะทำให้ค่าผลได้ของไบโอดีเซลลดลงอีกด้วย

4.4 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซล

ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของกรดไขมันอิสระเริ่มต้นที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซลทำการทดลองที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOCH_3) 0.5-1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 5.5:1, 6:1, 6.5:1 ความเร็วรอบในการกวน 900 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 50, 55, 60, 65 °C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที และเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระเริ่มต้น 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

จากภาพประกอบที่ 4-1 ถึง 4-3 แสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน คือเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นมีค่าที่สูงกว่าปฏิกิริยาที่จะเกิดได้ไม่ดี ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันนั้น ยิ่งปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นยิ่งต่ำปฏิกิริยาที่จะยิ่งเกิดได้ดีและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ก็จะลดลงด้วย ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในวัตถุดิบตั้งต้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดสบู่ เมื่อวัตถุดิบตั้งต้น

มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากเมื่อทำปฏิกิริยาแล้วจะทำให้ปริมาณสบู่ที่เกิดเพิ่มขึ้นเช่นกันซึ่งมีอิสระผลทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง สำหรับปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่างนั้นกรดไขมันอิสระควรมีค่าระหว่าง 0.5-3.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันควรอยู่ในขีดจำกัดที่เพียงพอกับตัวเร่งปฏิกิริยาด่าง ถ้าปริมาณกรดไขมันอิสระสูงเกินไปปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันก็จะเกิดไม่ดีและทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลลดลงด้วย (Singh และคณะ, 2008)

และจากภาพประกอบที่ 4-1 ถึง 4-3 สามารถสรุปได้เป็นสามช่วงของปริมาณกรดไขมันอิสระดังนี้

ปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน พบว่าถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน น่าจะเกิดปฏิกิริยาได้ไม่ดีและต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน จึงจะมีค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่สามารถผ่านมาตรฐานได้

ปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 0.5 แต่ไม่เกิน 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน พบว่าต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอย่างน้อย 12 นาที แต่เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นจาก 1.2% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เป็นต้นไป จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที ดังนั้นที่ปริมาณกรดไขมันอิสระช่วงนี้ถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นน้อยจะต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานแต่ถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นสูงเวลาในการทำปฏิกิริยาก็จะลดลง ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่สามารถผ่านมาตรฐานได้

ปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 1.0 แต่ไม่เกิน 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน พบว่าช่วงของปริมาณกรดไขมันอิสระช่วงนี้ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลก็สามารถผ่านมาตรฐานได้ เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีความเข้มข้นที่สูงอยู่แล้ว

4.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซล

ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซลทำการทดลองที่เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระเริ่มต้น 0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOCH_3) 0.5-1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 5.5:1, 6:1, 6.5:1 ความเร็วรอบในการกวน 900 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 50, 55, 60, 65 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 8, 12, 15 นาที

จากกราฟทั้งหมดข้างต้นที่ได้แสดงจะเห็นได้ว่า ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันนั้นเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันและปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันเป็นอย่างมาก ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าจากการทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์นั้น เพียงเวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นๆแค่ 5 นาที ผลปรากฏว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันก็เกิดได้ดี การทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเมทอกไซด์จะใช้เวลาสั้นกว่าไฮดรอกไซด์ เมื่อทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันทอดใช้แล้วกับตัวเร่งปฏิกิริยาเมทอกไซด์ พบว่าแค่เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นๆ ก็สามารถเกิดเป็นเอสเตอร์ได้ดี เพียงเวลาในการทำปฏิกิริยาแค่ 5 นาที ก็สามารถได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมากกว่า 90% และเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นด้วย (Leung และคณะ, 2006) แต่จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นๆ จะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นสูง และเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาก็สามารถลดความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาลงได้ และเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาปริมาณสบู่ที่เกิดก็จะมีค่าสูงขึ้นจึงส่งผลให้ค่าผลได้ของไบโอดีเซลลดลงเช่นกัน

จากผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ ที่ทำการศึกษาไปนั้นสามารถนำมาสร้างสมการเบื้องต้นเพื่อใช้ สำหรับทำนาย ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ ที่สภาวะอื่นๆ ได้ โดยใช้โปรแกรม Respond surface methodology (RSM) และทำนายปริมาณสบู่ที่เกิดและค่าผลได้ของไบโอดีเซลโดยใช้ฟังก์ชัน Solver ของโปรแกรม Microsoft Office Excel 2010 จะได้สมการดังนี้

สมการสำหรับทำนายค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลโดยใช้โปรแกรม Respond surface methodology (RSM) ซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่ใช้คือ

X_1 : ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้, โมล (ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา
ทางเข้า – ปริมาณของกรดไขมันอิสระทางเข้า)

X_2 : เวลาในการทำปฏิกิริยา, นาที

X_3 : อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน, โมลต่อโมล

X_4 : อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา, องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล} = & 21.9812 + 18.3153X_1 + 0.8988X_2 - 17.7112X_3 + 1.8309X_4 \\ & - 0.7380X_1^2 + 2.2467X_3^2 - 0.0118X_4^2 + 0.0737X_1X_2 \\ & - 0.7281X_1X_3 - 0.0734X_1X_4 - 0.1620X_2X_3 \end{aligned}$$

จากสมการสำหรับทำนายค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจะเห็นได้ว่าค่าที่มีอิทธิพลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมากที่สุดคือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา รองลงมาคืออัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาตามลำดับซึ่งค่าความเชื่อมั่นระหว่างผลการทดลองกับค่าจากสมการ มีค่า 97.08% (ค่าความคลาดเคลื่อน 2.92%)

สมการสำหรับทำนายปริมาณสบู่ที่เกิดโดยใช้ฟังก์ชัน Solver ของโปรแกรม Microsoft Office Excel 2010 ซึ่งตัวแปรต่างๆที่ใช้คือ

X_1 : ปริมาณกรดไขมันอิสระทางเข้า, เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน

X_2 : ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา, เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน

X_3 : เวลาในการทำปฏิกิริยา, นาที

X_4 : อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน, โมลต่อโมล

X_5 : อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา, องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสบู่ที่เกิด} = & 0.9545 + 0.9562X_1 + 0.9522X_2 + 0.6332X_3 + 0.8323X_4 - 0.2440X_5 \\ & + 0.9631X_1^2 + 0.9458X_2^2 + 0.0040X_3^2 + 0.6315X_4^2 + 0.0115X_5^2 + 0.9535X_1X_2 \\ & + 0.0725X_1X_3 + 0.8427X_1X_4 - 0.1397X_1X_5 + 0.1247X_2X_3 + 0.8396X_2X_4 \\ & - 0.1469X_2X_5 - 0.2269X_3X_4 + 0.0079X_3X_5 - 0.1424X_4X_5 \end{aligned}$$

จากสมการสำหรับทำนายปริมาณสบู่ที่เกิดจะเห็นได้ว่าค่าที่มีอิทธิพลต่อปริมาณสบู่ที่เกิดที่สุดคือคือปริมาณกรดไขมันอิสระ รองลงมาคือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาตามลำดับ ซึ่งค่าความเชื่อมั่นระหว่างผลการทดลองกับค่าจากสมการมีค่า 86.30% (ค่าความคลาดเคลื่อน 13.70%)

และจากปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นสามารถนำมาทำนายค่าผลได้ของไบโอดีเซลได้ดังนี้
สมการสำหรับทำนายผลได้ของไบโอดีเซลโดยใช้ฟังก์ชัน Solver ของโปรแกรม Microsoft Office Excel 2010 ซึ่งตัวแปรต่างๆที่ใช้คือ

X_1 : ปริมาณสบู่ที่เกิด, เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำมัน

$$\text{ผลได้ของไบโอดีเซล} = 98.5821 - 1.3466X_1$$

จากสมการสำหรับทำนายผลได้ของไบโอดีเซลค่าที่มีอิทธิพลต่อผลได้ของไบโอดีเซลคือปริมาณสบู่ที่เกิด เนื่องจากผลได้ของไบโอดีเซลจะมาจาก 2 ด้านคือ chemical loss ระหว่างแอลคาลีนกับเอสเทอร์ และ physical loss อันเนื่องมาจากการล้าง ดังนั้นการทำนายผลได้ของไบโอดีเซลให้มีความแม่นยำมากที่สุดจึงควรใช้ปริมาณสบู่ที่เกิด ซึ่งค่าความเชื่อมั่นระหว่างผลการทดลองกับค่าจากสมการ มีค่า 99.58% (ค่าความคลาดเคลื่อน 0.42%)

จากสมการที่ได้ข้างต้น สามารถนำมาทำนายค่าสภาวะที่ทำให้การทดลองได้ดังนี้

ที่สภาวะการทดลอง กรดไขมันอิสระเริ่มต้น 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8 และ 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C โดยหาเวลาที่สามารถทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์สามารถผ่านมาตรฐาน (96.5%) ได้ (ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ที่ 0.8 และ 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน คือ 3.3379 และ 6.1646 mol/hr)

จากสมการทำนายร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลพบว่าถ้าใช้ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 5 นาที จะได้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล 96.91% ซึ่งสามารถผ่านมาตรฐานได้ แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.8% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาถึง 50 นาที จะได้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล 96.57% จึงจะสามารถผ่านมาตรฐานได้

จากสมการทำนายปริมาณสบู่พบว่าถ้าใช้ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที จะได้ปริมาณสบู่ 1.94% โดยน้ำหนักของน้ำมัน แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.8% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา 50 นาที จะได้ปริมาณสบู่ 7.78% โดยน้ำหนักของน้ำมัน สังเกตได้ว่าถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นๆ ปริมาณสบู่อาจเกิดขึ้นไม่ต่างกันมาก แต่เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานๆ จะทำให้มีผลต่อปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นสูงเช่นกันแม้ว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะน้อยกว่าก็ตาม

จากสมการทำนายผลได้ของไบโอดีเซลพบว่าถ้าใช้ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที จะได้ผลได้ของไบโอดีเซล 95.97% โดยน้ำหนักของน้ำมัน แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.8% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา 50 นาที จะได้ผลได้ของไบโอดีเซล 88.10% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เนื่องจากปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นนั่นเอง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซล

จากผลการทดลองพบว่าในการการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ค่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจะแตกต่างกันเมื่อค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้นแตกต่างกันคือ ที่กรดไขมันอิสระ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะต้องใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 นาที จึงจะได้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ผ่านมาตรฐาน คือ 96.98% ที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะต้องใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมันที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 12 นาที จึงจะได้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ผ่านมาตรฐาน คือ 98.13% และที่กรดไขมันอิสระ 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะต้องใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที จึงจะได้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ผ่านมาตรฐานคือ 97.31%

5.2 ผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซล

จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นทำให้ได้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นและอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันคือ 6:1 เนื่องจากผลการทดลองที่โมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 เป็นค่าที่สามารถละลายตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีทำให้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ทำให้ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นลดลง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งที่โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6.5:1 ความสามารถในการละลายตัวเร่งปฏิกิริยาก็ดีเหมือนกันแต่ต้องใช้ปริมาณของเมทานอลที่เพิ่มขึ้นซึ่งค่าผลได้ของไบโอดีเซลที่ได้นั้นไม่แตกต่างกันมากนัก จึงเป็นการสิ้นเปลืองที่จะใช้โมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6.5:1 และเมื่อเราเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปรากฏว่าค่าผลได้และร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลไม่แตกต่างกันมากนักจึงเป็นการสิ้นเปลืองเมทานอลและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการคืนสภาพ ดังนั้นที่โมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลโดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

5.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซล

จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันคือที่อุณหภูมิ 60°C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเพราะค่าร้อยละความบริสุทธิ์และค่าผลได้ของไบโอดีเซลไม่แตกต่างจากอุณหภูมิ 65°C และถ้าต้องการลดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาลงนั้นจะต้องเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาให้สูงขึ้น ดังนั้นเพื่อความคุ้มค่าจึงเลือกทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C จากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณกรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน, ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ทุกๆเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาไม่มีค่าใดที่ผ่านมาตรฐาน (96.5%), ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะมีค่าที่ผ่านมาตรฐานคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 และ 65 องศาเซลเซียสเวลาใน

การทำปฏิกิริยา 12 และ 15 นาที และที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน
 ทุกๆเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะผ่านมาตรฐาน

5.4 ผลของกรดไขมันอิสระเริ่มต้นที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ของไบโอดีเซล

จากผลการทดลองพบว่าในการการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันค่ากรด
 ไขมันอิสระที่แตกต่างกันทำให้ค่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แตกต่างกันด้วย คือเมื่อค่า
 กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นก็ทำให้ค่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เพิ่มขึ้นด้วย ที่กรดไขมัน
 อิสระ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะต้องใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนัก
 ของน้ำมัน, ที่กรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะต้องใช้ความเข้มข้นของตัวเร่ง
 ปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมันและที่กรดไขมันอิสระ 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะต้อง
 ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นได้
 ว่าเมื่อเราใช้น้ำมันทอดใช้แล้วเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลโดยทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอ
 ริฟิเคชันเราควรใช้น้ำมันทอดใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงได้เลย (แต่ไม่ควรเกิน 2%)
 เนื่องจากเมื่อเราลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงค่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำ
 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันก็ลดลงได้ไม่มากนัก จะเห็นได้จากที่กรดไขมันอิสระ 0.5% และ
 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์
 เอสเตอริฟิเคชันที่ไม่ต่างกันเลย คือ ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน
 ซึ่งมันจะเป็นการสิ้นเปลืองตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ที่ใช้มีราคาแพง

5.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของไบโอดีเซล

จากผลการทดลองพบว่าในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันนั้น เวลาเพียงสั้นๆก็สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 5, 8, 12, 15 นาที ซึ่งก็ถือว่าเป็นเวลาที่ไม่นานนักหากเทียบกับเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในงามวิจัยอื่นๆ ผลจากการทดลองพบว่าผลได้และร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจะแบ่งเป็นสองช่วงคือที่เวลา 5 กับ 8 นาที จะมีค่าใกล้เคียงกัน และที่เวลา 12 กับ 15 นาที ก็จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าที่มีผลมากที่สุดเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนก็คือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ ถ้าต้องการทำปฏิกิริยาที่เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นๆ ก็จะต้องใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงกว่าการทำปฏิกิริยาที่เวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่า ดังนั้นถ้าทำปฏิกิริยาที่เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นๆ จะต้องใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ก็มีราคาแพง ดังนั้นเราควรเลือกที่จะทำปฏิกิริยาที่เวลานานกว่าดีกว่าเพราะเมื่อคิดในทางเศรษฐศาสตร์แล้วจะคุ้มค่ากว่า

อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ต่อร้อยละความบริสุทธิ์และผลได้ของไบโอดีเซลสามารถสรุปได้ดังนี้

- อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา : เมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นแต่ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง

- อิทธิพลของอัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน : เมื่ออัตราส่วน โมลเมทานอลต่อ น้ำมันเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์และผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น

- อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา : เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นแต่ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง

- อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา : เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นแต่ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง

ดังนั้นตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมากที่สุดคือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราส่วนโมลเมทานอลต่อ น้ำมัน ส่วนอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาจะมีผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลน้อย

ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อผลได้ของไบโอดีเซลมากที่สุดคือปริมาณกรดไขมันอิสระ และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนอัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาจะมีผลต่อผลได้ของไบโอดีเซลไม่มากนัก

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์นั้นจะมีปริมาณร้อยละความบริสุทธิ์และผลได้ของไบโอดีเซลที่สูงกว่าการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทไฮดรอกไซด์ ซึ่งจากการงานวิจัยนี้ค่าผลได้ของไบโอดีเซลเฉลี่ยโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์อยู่ที่ 95.68% แต่จากการทดลองของสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นค่าผลได้ของไบโอดีเซลจะอยู่ที่ 90% ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้วเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเมทอกไซด์จะดีกว่าไฮดรอกไซด์

ข้อเสนอแนะ

1) เบสประเภทเมทอกไซด์จะมีราคาที่สูงกว่าพวกไฮดรอกไซด์มากและที่สำคัญเบสประเภทนี้จะเป็นของเหลวในรูปแบบของเหลวผสมคือเป็นเมทอกไซด์ผสมกับเมทานอล (มีเมทอกไซด์อยู่เพียง 30%) ซึ่งเมื่อเรานำมาทำปฏิกิริยานั้นเราจะคิดเฉพาะเมทอกไซด์บริสุทธิ์

2) จากผลการทดลองที่นำมาสร้างสมการเบื้องต้นที่ใช้ในการทำนายค่าร้อยละความบริสุทธิ์ ผลได้ของไบโอดีเซล และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการทำนายเบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าบางสมการยังมีค่าความเชื่อมั่นต่ำ (ค่าความคลาดเคลื่อนสูง) ถ้าต้องการความแม่นยำมากกว่านี้ควรที่จะทำการทดลองเพิ่มเติม

บรรณานุกรม

- พจนีย์ แซ่อึ้ง., (2552). “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซล ด้วยคลัตินไมโครเวฟ”
- Agarwal, M., Chauhan, G., Chaurasia, S.P. and Singh, K., (2012). “heterogeneous catalyst for biodiesel production”, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43: 89–94.
- Akhavan Moghaddam N., Tahvildari K. and Taghvaie S.. 2010. “Transesterification for Production of Biodiesel from Waste Frying Oil (WFO)”, *International Journal of Chemical and Biological Engineering* 3:3
- Allawzi, M. and Kandah, M.I., (2008). “Parametric study of biodiesel production from used soybean oil”, *Eur J Lipid Sci Technol*, 110(8): 760–767.
- Arquiza, A.C., Bayungan, M.C. and Tan, R., (2000). “Production of biodiesel and oleo chemicals from used frying oil”, *University of Philippines, Los Ba nos.*
- Atapour M., Kariminia, H.R. and Moslehabadi, P. M., 2013. “Optimization of biodiesel production by alkalicatalyzed transesterification of used frying oil”, *Process Safety and Environmental Protection*.
- Barnwal, B.K. and Sharma, M.P., (2005). “Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9: 363–378.
- Behzadi, S. and Farid, M.M., (2009). “ Production of biodiesel Using a continuous gas-liquid reactor ”, *Bioresource Technology* 100(2009).
- Berchmans, H.J., Morishita, K., and Takarada, T., (2010). “Kinetic study of hydroxide catalyzed methanolysis of *Jatropha curcas* waste food oil mixture for biodiesel production”.
- Berrios, M., Marin, M.A., Chica, A.F., Martin, A., (2011). “Purification of biodiesel from used cooking oils”, *Applied Energy*, 88: 3625–3631.
- Cayh, G., and Kusefoglul, S., (2008). “Increased yields in biodiesel production from used cooking oils by a two step process: comparison with one step process by TGA”, *Fuel Process Technol*, 89: 118–122.
- Chen, K.S., Lin, Y.C., Hsu, K.H. and Wang, H.K., (2012). “Improving biodiesel yields from waste cooking oil by using sodium methoxide and a microwave heating system”, *Energy*, 38: 151- 156.

- Cheng, S.F., (2004). "Kinetics Study on Transesterification of Palm Oil", *Q Journal of Oil Palm Research*, 16(2): 19-29.
- Chalin, E.F. and Long, G. (1954). "The Equilibrium between Ethoxide and Hydroxide Ions in Ethanol and in Ethanol-Water Mixtures", *Received, March 20th: 3737-3742*
- Charpe, T.W., Rathod, V.K., (2011). "Biodiesel production using waste frying oil", *Waste Management*, 31: 85-90.
- Chetri, A.B., Watts, K.C., Islam, M.R., (2008). "Waste cooking oil as an alternative feedstock for biodiesel production", *Energies*, 1: 3–18.
- Demirbas, A. (2002). "Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol". *J. Energy Conversion and Management.*, 43: 2349–2356.
- Dennis, B., Ponclano, J.M., and Taper, M.L. (2010). "Replicated sampling increases efficiency in monitoring biological populations," *Ecology*, 91: 610–620.
- Dias, J.M., Alvim-Ferraz, M.C.M. and Almeida, M.F. (2008). "Comparison of the performance of different homogeneous alkali catalysts during transesterification of waste and virgin oils and evaluation of biodiesel quality", *Fuel* 87: 3572-3578.
- Dorado, M.P., Ballesteros, E., Almeida, J.A., Schellet, C., Lohrlein, H.P., Krause, R. (2002). "An Alkali catalyzed transesterification process for high free fatty acid oils", *Trans ASAE*, 45(3): 525–529.
- Dorado, M.P., Ballesteros, E., Mittelbach, M., Lopez, F.J. (2004). "Kinetic parameters affecting the alkali catalyzed transesterification process of used olive oil", *Energy Fuels*, 18: 1457–1462.
- Encinar, J.M., Gonzalez, Juan F. and Rodriguez-Reinares, Antonio. "Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel ", *Industrial & Engineering Chemistry Research.*, 2005: 5491-5499.
- Fangrui, M. and Hanna, M.A., (1999). "Biodiesel production. *Bioresource Technology*".
- Felizardo, P., Correia, M. J. N., Raposo, I., Mendes, J. F., Berkemeier, R. and Bordado, J. M. (2006). "Production of biodiesel from waste frying oils", *Waste Management*, 26: 487–494.

- Georgogianni, K.G., Kontominas, M.G., Tegou, E., Avlonitis, D., Vergis, V., (2007). "Biodiesel production : reaction and process parameters of alkali catalyzed transesterification of waste frying-oils", *Energy Fuels*, 21: 3023–3027.
- Gerpen, J.V., (2005). "Biodiesel processing and production", *Fuel Processing Technology*, 86: 1097– 1107.
- Guo, Y., Leung, Y.C., Koo, C.P., (2002). "A clean biodiesel fuel produced from recycled oils and grease trap oils", *Better air quality in Asian and Pacific rim cities, BAQ.*, Hong Kong Polytechnic University. PS-55: 1–6.
- Iftikhar, A., (1984). "Significance of palm oil and palm stearin as fatty raw materials for soap". Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur.
- Jordanov, D.I., Petkov, P.S., Dimitrov, Y.K., Ivanov, S.K., (2007). "Methanol transesterification of different vegetable oils", *Pet Coal*, 49(2): 21–23.
- Keera, S.T., Sabagh, S.M.E. and Taman, A.R., (2011). "Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst", *Fuel* 90: 42–47.
- Kheang, L.S., May, C.Y., Foon, C.S. and Ngan, M.A., (2006). "Recovery and Conversion of Palm Olein Derived Used Frying Oil to Methyl Esters for Biodiesel", *Journal of Oil Palm Research*, 18: 247-252.
- Kiakalaieh, A.T., Amin, N.A.S., Mazaheri, H., (2013). "A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil," *Applied Energy*, 104: 683–710.
- Kim, H.J., Kang, B.S., Kim, M.J., Park, Y.M., Kim, D.K., Lee, J.S., Lee, K.Y., (2004), "Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst," *Catalysis Today*, 95: 315-320.
- Kraai, G.N., Schuur, B., van zwol, F. and van de Bovenkamp, H.H., Heeres, H.J., (2009) " Novel highly integrated biodiesel production technology in a centrifugal contactor separator device ", *Chemical Engineering Journal* 154 (2009).
- Lee, D.W., Park, Y.M., Lee, K.Y., (2009). "Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis," *Catal Surv Asia*, 13: 63–77.
- Leung, D.Y.C., Guo, Y., (2006). "Transesterification of neat and used frying oil : optimization for biodiesel production", *Fuel Process Technol*, 87: 883–890.

- Leung, D.Y.C., Wu, X. and Leung, M.K.H., (2010). "A review on biodiesel production using catalyzed transesterification". *Applied Energy* 87: 1083–1095.
- Mahajan and Sonam., (2006). "Standard biodiesel from soybean oil by a single chemical reaction", *Journal of the America Oil Chemists' Society*: 641-644.
- Marin, B.M., Chica, M.A., Martin, A.F., (2010). "Purification of biodiesel from used cooking oils," *Apply Energy*, 88: 3625– 3631.
- Meng, X., Chen, G., Wang, Y., (2008). "Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test", *Fuel Process Technol*, 89: 851–857.
- Nye, M.J., Williamson, T.W., Deshpande, J.H., Schrader, W.H., Snively, W.H., Yurkewich, T.P., French, C.L., (1983). "Conversion of used frying oil to diesel fuel by transesterification : preliminary tests", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 60: 1598–1601.
- Peterson, G.R., Scarrah, W.P., (1984). "Rapeseed oil transesterification by heterogeneous catalysis", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 61 (8): 1593–1597.
- Phan, A.N., Phan, T.M., (2008). "Biodiesel production from waste cooking oils," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 87: 3490-3496.
- Predojevic, Z.J., (2008). "The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps", *Fuel*, 87: 3522–3528.
- Predojevic, Z.J. and Skrbic, B.D., (2009). "Alkali catalyzed production of biodiesel from waste frying oils", *J. Serb. Chem. Soc.*, 74 (8–9): 993–1007.
- Rashid, U., Anwar, F. and Knothe, G., (2009). " Evaluation of biodiesel obtained from cottonseed oil", *Fuel Processing Technology*, 90 : 1157–1163.
- Refaat, A.A., Attia, N.K., Sibak, H.A., Sheltawy, S.T.E. and Diwani, G.I.E., 2007. "Production optimization and quality assessment of biodiesel fromwaste vegetable oil", *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 5(1): 75-82.
- Refaat, A.A., (2010). "Different techniques for the production of biodiesel from waste vegetable oil", *Int.J. Environ. Sci. Tech.*, 7 (1): 183-213.
- Suehara, K., Kawamoto, Y., Fujii, E., Kohda, J., Nakano, Y. and Yano, T., 2005. "Biological treatment of wastewater discharged from biodiesel fuel production plant with alkali-catalyzed transesterification", *J Biosci Bioeng*, 100: 437–442.

- Ulusoy, Y., Tekin, Y., Cetinkaya, M., Karaosmanoglu, F., (2004). "The engine tests of biodiesel from used frying oil", *Energy Sources*, 26: 927–932.
- Vicente, G., Martinez, M. and Aracil, J., (2004). "Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems", *Bioresource Technology*, 92: 297–305.
- Wang, Y., Ou, S., Liu, P., Zhang, Z., (2007). "Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two step catalyzed process", *Energy Convers Manage*, 48:184–188.
- Yaakob, Z., Mohammada, M., Alherbawi, M., Alam, Z., Sopian, K., (2013). "Overview of the production of biodiesel from Waste cooking oil", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18: 184-193.
- Yin, X., Ma, H., You, Q., Wang, Z., Chang, J., (2012). "Comparison of four different enhancing methods for preparing biodiesel through transesterification of sunflower oil", *Apply Energy*, 91: 320–325.
- Yusup, S. and Khan, M.A. (2010). "Base catalyzed transesterification of acid treated vegetable oil blend for biodiesel production. *Biomass Bioenergy*, 34(10): 1500–1504.
- Zhang, Y., Dube, M.A., McLean, D.D., Kates, M., (2003). "Biodiesel production from waste cooking oil," *BioresourceTechnol*, 90: 229–240.
- สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2005. "เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการไบโอดีเซล". เข้าถึงได้จาก : <http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th> (สืบค้นเมื่อ 12 สิงหาคม 2556).
- ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. "รายงานการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล โครงการการศึกษาข้อมูลด้านสมบัติทางกายภาพเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันบริโภค". เข้าถึงได้จาก : http://www.tipoil.com/admin/html/chula1_t.doc (สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2556).
- ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย "เทคโนโลยีและการพัฒนาการผลิตไบโอดีเซล". เข้าถึงได้จาก: <http://www.vcharkarn.com/varticle/37458> (สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2556).
- กระทรวงพลังงาน. "รู้เพื่อเรื่องพลังงาน ". เข้าถึงได้จาก: <http://www.energy.go.th> (สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2556).
- "ไบโอดีเซล". Available online : <http://msds.pcd.go.th> (สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2556).

“Chemical Book”, Sodium methoxide. Available online :

http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB6390309.htm

<http://www.manasu.safety-stou.com> (accessed August 15, 2013).

อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

“ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน”. เข้าถึงได้จาก : <http://www.vcharkarn.com/varticle/409>
(สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2556).

“ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสบู่”. Available online :

<http://writer.dek-d.com/rfd-princess/story/viewlongc.php?id=996363&chapter=4>

(สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2556).

ศูนย์ข้อมูลอันตรายและเคมีภัณฑ์.2009 “เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์”. เข้าถึงได้จาก :

<http://msds.pcd.go.th> (สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2556).

“ค่ามาตรฐานไบโอดีเซล” กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. เข้าถึงได้จาก :

http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bers/biodiesel/biodiesel_2007.pdf

(สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2556)

“Saponification and Transesterification : Making Soap and Biodiesel”. Available online:

www.chem.wisc.edu/courses/342/Fall2006/Experiment_11.pdf

(accessed August 25, 2013)

“Fatty acid” Available online : http://en.wikipedia.org/wiki/Fatty_acid

(accessed August 16, 2013)

Scientific Psychic. “Fatty acid composition of some common edible fats and oils”. Available

online: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/fattyacids1.html>

(accessed August 16, 2013).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลเบื้องต้นของสารเคมี

1. โซเดียมเมทอกไซด์

ชื่อเคมี : Sodium methoxide ; Sodium methanolate

สูตรโมเลกุล : CH_3NaO

มวลต่อโมล : 54.02

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย : ไวไฟสูงทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ ทำให้เกิดแผลไหม้

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

ลักษณะ:ผงละเอียด ผลึก

สี: ออกเหลือง

กลิ่น: ไม่มีกลิ่น

จุดเดือด : 65°C

จุดหลอมเหลว : -98°C

ความหนาแน่น : 0.97 g/mL at 20°C

ความหนาแน่นไอ : 1.1(vs air)

ความดันไอ : 50 mm Hg (20°C)

ความเสถียรและความไวต่อปฏิกิริยา

สารที่ต้องหลีกเลี่ยง : น้ำ

ข้อมูลเพิ่มเติม : ดูดความชื้น , ไวต่ออากาศ , ไวต่อความร้อน

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย: R 11-14-34 ไวไฟสูงทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ ทำให้เกิดแผลไหม้

ข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัย : S 8-16-26-43.6-45 เก็บภาชนะให้แห้งเก็บห่างจากแหล่งติดไฟ ห้ามสูบบุหรี่ เมื่อเข้าตา ล้างทันทีด้วยน้ำปริมาณมากพบแพทย์ เมื่อไฟไหม้ ใช้ทราย ห้ามใช้น้ำในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุหรือรู้สึกไม่สบายควรปรึกษาแพทย์ทันที พร้อมทั้งแสดงฉลากของสารเคมี

เลขชี้ชี้ : 603-040-00-2EC label

2. เมทานอล

ข้อมูลทั่วไป

เมทานอล หรือเมทิลแอลกอฮอล์ เป็นผลิตภัณฑ์ ได้จากการสังเคราะห์ระหว่าง คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง หรือได้จากกระบวนการหมัก โดยจุลินทรีย์ ซึ่งเมทานอลจะระเหยออกสู่อากาศภายนอก แล้วสลายตัวได้คาร์บอนไดออกไซด์และ น้ำหากเราเผาเมทานอลกับอากาศ จะได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ซึ่งเปลวไฟที่ได้จากการเผา เกือบจะมองไม่เห็นเลย จึงควรระมัดระวังหากมีการใช้ เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง มักนิยมใช้เป็นตัวทำ ละลายในอุตสาหกรรม เช่น สีทาไม้และน้ำมันเคลือบเงา หมึกพิมพ์ เป็นต้น แต่ในปัจจุบันมีผู้ผลิต บางรายฝ่าฝืนข้อห้ามของทางราชการที่ไม่ให้ใช้เมทานอลเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เพื่อการ บริโภค และการสัมผัสโดยตรงกับร่างกาย โดยมีการนำเมทานอลไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ สำเร็จรูป เช่น ผ้าเช็ด สเปรย์ฉีดผม แอลกอฮอล์แข็ง สำหรับอุ่นอาหาร เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เมื่อร่างกายรับเอา เมทานอลเข้าไป จะออกฤทธิ์ทำลายเนื้อเยื่อของร่างกาย โดยเฉพาะในส่วนของจอ ตา (Retina) ทำให้ตาบอด นอกจากนี้ผู้ที่ทำงานสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ที่มี เมทานอลเป็นตัวทำ ละลาย เช่น สีทาไม้ หากได้รับการสูดดมไอของเมทานอลนานๆ อย่างต่อเนื่อง อาจเป็นสาเหตุหนึ่ง ของเส้นเลือดอุดตันในสมอง และเชื้อหุ้มปอดอักเสบได้

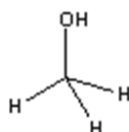
ชื่อเคมี IUPAC : Methanol

ชื่อเคมีทั่วไป : Methyl alcohol

ชื่อพ้องอื่นๆ : Wood alcohol; Carbinol; Methylol; Wood; Columbian spirits; Colonial spirit; Columbian spirit; Methyl hydroxide; Monohydroxymethane; Pyroxylic spirit; Wood naphtha; Wood spirit; Methyl Alcohol (Methanol);

สูตรโมเลกุล: CH_4O

สูตรโครงสร้าง :





รหัส IMO :

การใช้ประโยชน์: สารนี้ใช้เป็นตัวทำละลาย (SOLVENT)

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ : ของเหลว

สี : ใสไม่มีสี

น้ำหนักโมเลกุล : 32

จุดเดือด($^{\circ}\text{C}$) : 64.6

จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง($^{\circ}\text{C}$) : -97.8

ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1) : 0.79

ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1) : 1.1

ความดันไอ(มม.ปรอท) : 96

ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.) : ละลายน้ำได้ที่ 20°C

ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียร

สารที่เข้ากันไม่ได้ : สารออกซิไดซ์อย่างแรง โลหะอัลคาไลต์ กรดซัลฟูริกและกรดไนตริกเข้มข้น แอลดีไฮด์ และแอซัลคลอไรด์

สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความร้อน ประกายไฟ และแหล่งจุดติดไฟอื่นๆ

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts)

สารนี้สามารถเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย

สารนี้คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดการสะสมทางชีวภาพ

เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เป็นพิษต่อปลา และแพลงก์ตอนเมื่อรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดสารผสมที่มีพิษ ไม่สามารถเจือจางได้ และอาจเกิดการผสมกับอากาศเหนือผิวน้ำ

ให้ไอของสารที่ระเหยได้ ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำทิ้ง หากมีการใช้และจัดการสารเคมีอย่างเหมาะสม

การเก็บและวิเคราะห์ (Sampling and Analytical)

NMAM NO. : 2016, 2541, 3500, 3800

OSHA NO.:ID 205 , 52

วิธีการเก็บตัวอย่าง : หลอดเก็บตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์ : แก๊สโครมาโตกราฟี

2. ไอโซโพรพานอล

ข้อมูลทั่วไป

ไอโซโพรพานอลเป็นสารในตระกูลแอลกอฮอล์ ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว ระเหยได้ง่าย ใช้ผสมในน้ำยาล้างเล็บ กาว น้ำมันชักเงา สี และใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรค เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตอะซีโตน เข้าสู่ร่างกายโดยการสูดดมและซึมเข้าผิวหนัง แล้วเปลี่ยนรูปเป็นอะซีโตน จากนั้นจะถูกขับออกทางไตและลมหายใจ ส่วนที่ไม่เปลี่ยนเป็นอะซีโตน ก็ถูกขับออกทางลมหายใจ ไอของมันทำให้แสบตาแสบจมูก ระคายเคืองทางเกิดของลมหายใจ ถ้าร่างกายได้รับเข้าไปมาก จะมีอาการคล้ายเมาน้ำเมา เหล้า ซึม อาจหมดสติได้ พิษเรื้อรังในระยะยาว จะมีอาการทางประสาท

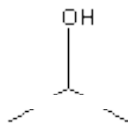
ชื่อเคมี IUPAC: 2 - Propanol ; Isopropanol

ชื่อเคมีทั่วไป : Isopropyl alcohol ; 2 - Propyl alcohol ; Sec - propyl alcohol

ชื่อพ้องอื่นๆ: IPA; Sec-propanol; Rubbing Alcohol; Dimethylcarbinol; Sec-Propyl alcohol; Alcohol; Propan-2-ol; I-Propanol; 2-Hydroxypropane; Alcojel; Alcosolve; Avantin; Chromar; Combi-schutz; Hartosol; Imsol a; Isohol; Lutosol; Petrohol; N-propan-2-ol; Propol; Spectrar; Sterisol hand disinfectant; Takineocol; Alcosolve 2; DuPont Zonyl FSP Fluorinated Surfactants; DuPont Zonyl FSJ Fluorinated Surfactants; DuPont Zonyl FSA Fluorinated Surfactants; DuPont Zonyl FSN Fluorinated Surfactants; Isopropyl Alcohol (Manufacturing, strong-acid process);

สูตรโมเลกุล: C_3H_8O

สูตรโครงสร้าง:



รหัสIMO:



การใช้ประโยชน์: สารนี้ใช้เป็นตัวทำละลาย (SOLVENT) ใช้ในการผลิตเครื่องสำอางค์ และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ : ของเหลว

สี : ไม่มีสี

น้ำหนักโมเลกุล : 60.09

จุดเดือด($^{\circ}C$) : 82.3

จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง($^{\circ}C$) : -88.5

ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1) : 0.8044

ความหนืด (mPa.sec) = 2.4

ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1) : 2.1

ความดันไอ(มม.ปรอท) : 33 ที่ $20^{\circ}C$

ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.): ละลายน้ำได้ที่ $20^{\circ}C$

ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

ความคงตัวทางเคมี : สารนี้เสถียร เกิดรูปเปอร์ออกไซด์ในความมืด และไวต่อแสงแดด ทำให้อยู่ในรูปของคีโตนเมื่อเกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชัน

สารที่เข้ากันไม่ได้ : สารออกซิไดส์อย่างแรง (โครเมียมไดออกไซด์ , เปอร์คลอเรต , เปอร์ออกไซด์) ซึ่งเสี่ยงต่อการติดไฟ, ระเบิด กรดเข้มข้น (กรดไนตริก , กรดซัลฟูริก,

โอดีน) ปฏิกริยาที่รุนแรงและอันตราย โลหะอัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอิร์ท (ไม่เกิดการติดไฟได้ก๊าซไฮโดรเจน) อลูมิเนียม เกิดปฏิกิริยารุนแรง และไม่ให้ความร้อนโครโทนาดีไฮนหรือฟอสจีน, โพลีเอทิลีนบิวทิลออกไซด์, ไตรไนโตรมีเทน

สภาพที่ควรหลีกเลี่ยง : เปลวไฟ, ประกายไฟ, ประจุไฟฟ้า, ความร้อน และสารติดไฟ, แสง

อันตรายของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : ไม่เกิดขึ้น

การกักครองของโลหะ : แอนไฮดริส โพรพานอลไม่กักครองเหล็ก, สแตนเลส, เหล็กกล้า, ทองแดงและบรอนซ์ และอัลลอยด์ที่อุณหภูมิปกติ

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts)

ห้ามทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ น้ำเสีย หรือดิน

สารนี้สามารถเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้

ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ หากมีการใช้และจัดการกับผลิตภัณฑ์

อย่างเหมาะสม

การเก็บและวิเคราะห์ (Sampling and Analytical)

NMAM NO. : 1400

OSHA NO. : 109

วิธีการเก็บตัวอย่าง : หลอดเก็บตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์ : แก๊สโครมาโตกราฟี

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้วิธีตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซล

แบบกะประมาณ (Proximate Analysis) โดยใช้ไมโครเวฟ

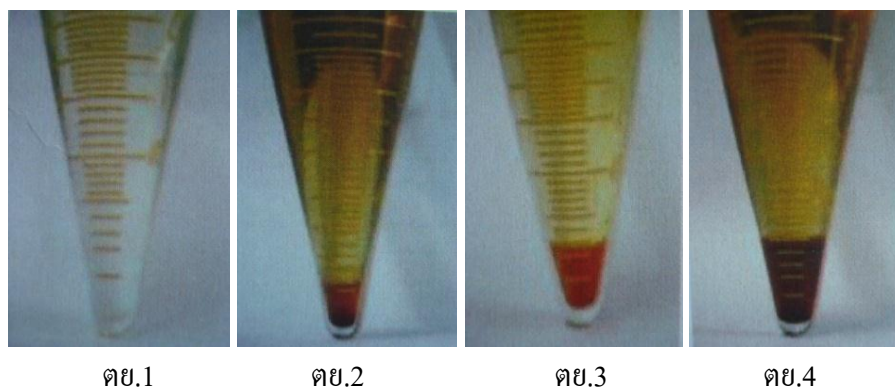
การตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณ (Proximate analysis) โดยใช้ไมโครเวฟเป็นการตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซลโดยการนำไบโอดีเซลโดยการนำไบโอดีเซลทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันอีกครั้งในไมโครเวฟโดยอาศัยหลักการที่ว่าหากในไบโอดีเซลยังมีกลีเซอไรด์ (ไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์) เหลืออยู่เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนที่เหมาะสมย่อมเกิดกลีเซอรอลขึ้นซึ่งปริมาณกลีเซอรอลนี้สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของไบโอดีเซลได้

อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้

- (1) หลอดเหยียงรูปกรวย ซึ่งมีสเกลละเอียด 0.05 มิลลิลิตร
- (2) เตาไมโครเวฟ
- (3) สารละลายเมทานอล + โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เตรียมได้โดยละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3 กรัม หรือประมาณ 4 มิลลิลิตรในเมทานอล 100 กรัม ใส่ขวดปิดฝาให้สนิท

วิธีทดสอบ

- (1) ชั่งไบโอดีเซลใส่หลอดเหยียงรูปกรวย 20 กรัมหรือประมาณ 24 มิลลิลิตร
- (2) เติมสารละลายเมทานอล + โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3 กรัมเข้าไปให้เข้ากัน
- (3) นำเข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในไมโครเวฟโดยใช้ความร้อนต่ำที่สุด(90วัตต์) เวลา 1.5 นาที
- (4) ทิ้งรอให้เกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอริน
- (5) อ่านค่ากลีเซอรอลในหลอดเหยียงรูปกรวย
- (6) เมื่อได้ค่ากลีเซอรอลแล้วก็นำมาเทียบตารางตัวอย่างของมอ. เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของกลีเซอไรด์ที่เหลือ



ภาพประกอบที่ 1 แสดงปริมาณกลีเซอรอลที่เกิด

ตารางที่ 1 แสดงผลการตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณ โดยใช้ไมโครเวฟที่

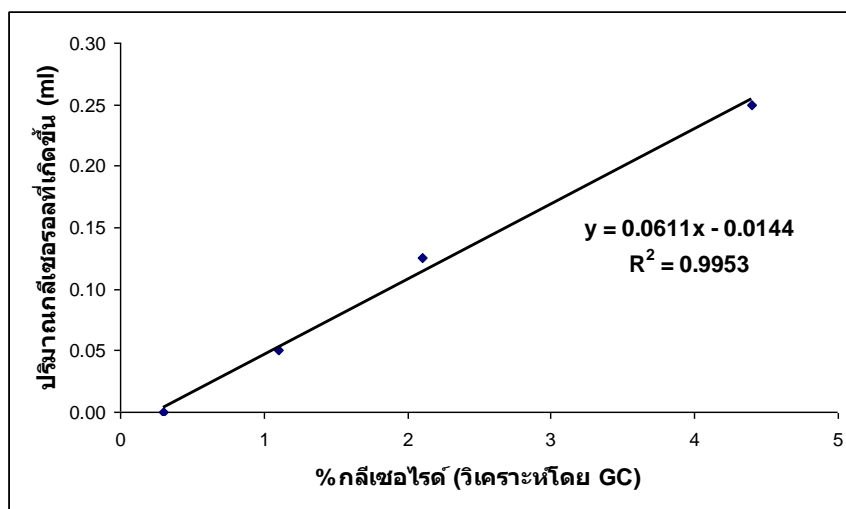
มีปริมาณกลีเซอไรด์ต่างกัน

ตัวอย่างที่	Greceride จาก GC (%)	ปริมาณ Glycerol ที่เกิด (ml)
1	0.3	0
2	1.1	0.05
3	2.1	0.125
4	4.4	0.25

** สีของไบโอดีเซลและกลีเซอรอลต่างกันเนื่องจากตัวอย่างไบโอดีเซลที่ได้จากวัตถุดิบแตกต่างกัน

** เปอร์เซ็นต์ของกลีเซอไรด์วัดจากเครื่อง GC ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ม.อ.

จากการตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณโดยใช้ไมโครเวฟ ที่มีปริมาณกลีเซอไรด์ต่างๆ กัน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถสร้างกราฟมาตรฐานได้ดังกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 แสดงกราฟมาตรฐานของปริมาณกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นจากการตรวจสอบ

คุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณ โดยใช้ไมโครเวฟ

ดังนั้น %ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ = $100 - \% \text{ กลีเซอไรด์ที่คำนวณได้จากสมการ}$

ที่มา: สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเบสและสบู่

การไทเทรตหาปริมาณของสบู่และตัวเร่งปฏิกิริยา (เบส) ในสารตัวอย่าง เช่น กลีเซอรอลเอสเทอร์และเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการล้างแล้ว เป็นต้น โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร (การใช้ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอริกขึ้นอยู่กับปริมาณเบสและสบู่) และอินดิเคเตอร์ 2 ชนิด คือฟีนอล์ฟธาเลิน (Phenolphthalein) และ โบรโมฟีนอลบลู (Bromophenol blue) ซึ่งขั้นตอนแรก ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกลางสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟธาเลิน และเมื่อไทเทรตต่อสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

ซึ่งเป็นกรดเข้มข้นก็จะแยกโมเลกุลสบู่ออกเป็นเกลือและกรดไขมันอิสระ ในช่วง pH ประมาณ 4.6 สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของโบรโมฟินอลบลู โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. ละลายสารตัวอย่างใน 50 มิลลิลิตรของไอโซโพรพานอลปริมาณสารตัวอย่างขึ้นอยู่กับปริมาณสบู่ในสารตัวอย่าง เช่น กลีเซอรอลดิบใช้ 0.5 กรัม เมทิลเอสเทอร์ที่ยังไม่ล้างประมาณ 10 กรัม และเมทิลเอสเทอร์ที่ล้างแล้ว 100 กรัมในการทดลองนี้จะใช้ตัวอย่างประมาณ 8-10 กรัม

2. เติมฟีนอล์ฟธาลิน (1 % ในไอโซโพรพานอล) จำนวน 5-7 หยด

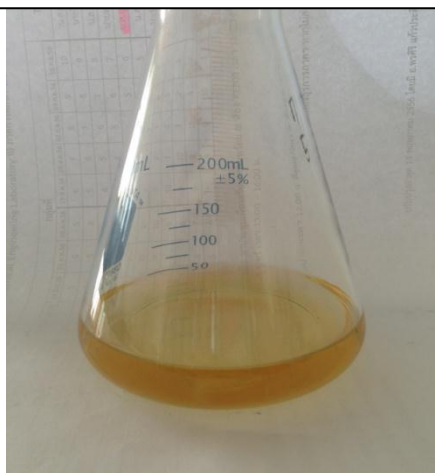
3. ไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร จนกระทั่งฟีนอล์ฟธาลินเปลี่ยนสี (จากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี) แสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเบสที่เหลืออยู่ในสารละลายเป็นกลางแล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ ในที่นี้ให้เป็น "A"

4. เติมโบรโมฟินอลบลู (0.4 % โดยน้ำหนักในน้ำ) จำนวน 5-7 หยด ซึ่งจะเปลี่ยนสีที่ $\text{pH} = 4.5$

5. ไทเทรตต่อจนกระทั่งโบรโมฟินอลบลูเปลี่ยนสี (จากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง) บันทึกปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ ในที่นี้ให้เป็น "B"

6. สังเกตสีจากการวิเคราะห์ด้วยการไทเทรต แสดงดังภาพประกอบที่ 2

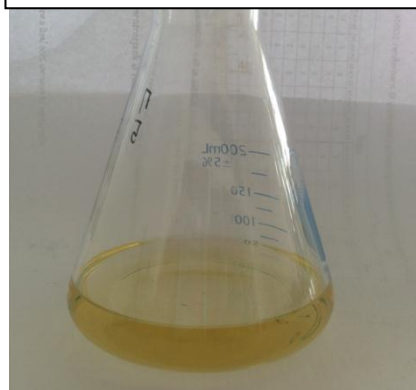
น้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต + ไอโซโพรพานอล



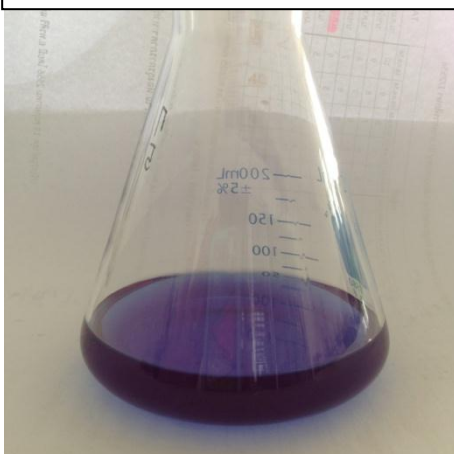
หยดฟีนอล์ฟทาลีน



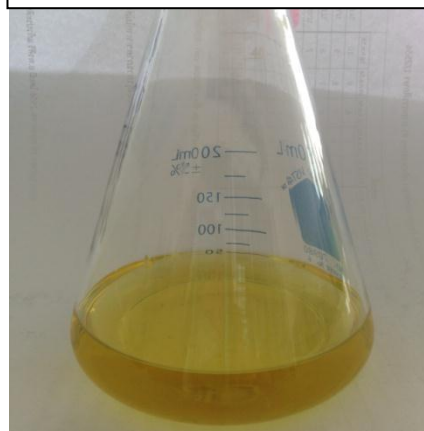
ไทเทรตกับสารละลาย
กรดไฮโดรคลอริก



หยดโบรมอฟีนอลบลู



ไทเทรตกับสารละลาย
กรดไฮโดรคลอริก



ภาพประกอบที่ 2 แสดงสีที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์เบสและสบูด้วยการไทเทรต

วิธีการคำนวณ

1. ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในสารตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$C = A \times K \times MW \times 1000 / W$$

เมื่อ C = ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในสารตัวอย่าง, ppm
 A = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, มิลลิลิตร
 K = ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรต, โมล/ลิตร
 MW = มวลโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเบสซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดที่ใช้
 เช่น $KOH = 56.1$ กรัม/โมล
 $NaOH = 40.0$ กรัม/โมล
 $NaOCH_3 = 54$ กรัม/โมล
 W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง, กรัม

2. ปริมาณของสนุ่ในสารตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$S = B \times K \times MW \times 1000 / W$$

เมื่อ S = ปริมาณของสนุ่ในสารตัวอย่าง, ppm
 B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, มิลลิลิตร
 K = ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรต, โมล/ลิตร
 MW = มวลโมเลกุลของสนุ่
 W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง, กรัม

หมายเหตุ: ppm (พีพีเอ็ม) หมายถึง ส่วนในล้านส่วน (part per million)

ที่มาของสูตรทั้งสอง

$$C, S = \frac{1}{g \text{ of sample}} \times \text{mL of 0.05 M HCl} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{0.05 \text{ M of HCl}}{L} \times \frac{1 \text{ mole of catalyst}}{1 \text{ mole HCl}} \times \frac{MWg}{1 \text{ mole of catalyst}} \times \frac{\text{ppm}}{1/10^6}$$

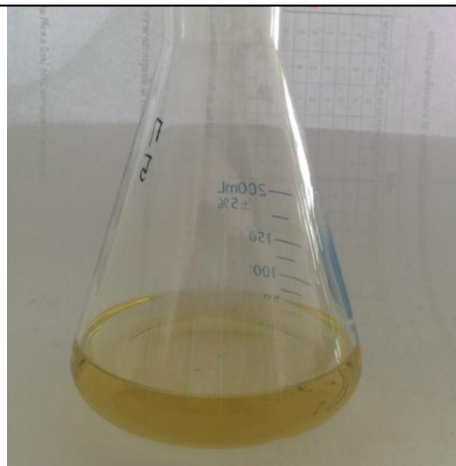
ที่มา: <http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/index2.php>

3. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

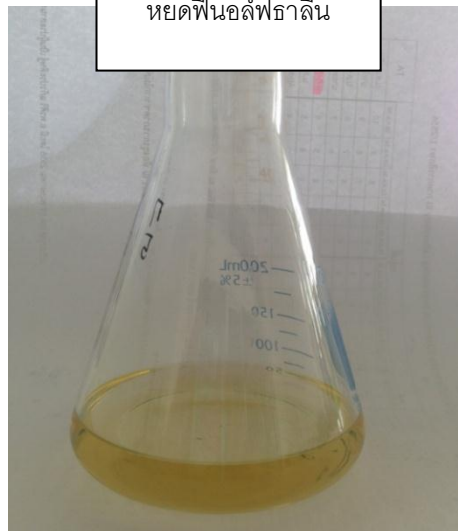
การไทเทรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระในสารตัวอย่าง เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันทอดใช้แล้ว ไบโอดีเซล เป็นต้น โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร (การใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระในสารตัวอย่างนั้นๆ) และอินดิเคเตอร์ 1 ชนิด คือฟีนอล์ฟธาเลิน (Phenolphthalein) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. ละลายสารตัวอย่างใน 50 มิลลิลิตรของไอโซโพรพานอลปริมาณสารตัวอย่างขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระในสารตัวอย่าง เช่น น้ำมันปาล์ม 2-4 กรัม น้ำมันทอดใช้แล้ว 3-5 กรัม และไบโอดีเซล 10 กรัม ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้น้ำมันทอดใช้แล้ว
2. เติมฟีนอล์ฟธาเลิน (1 % ในไอโซโพรพานอล) จำนวน 5-7 หยด
3. ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมล/ลิตร จนกระทั่งฟีนอล์ฟธาเลินเปลี่ยนสี(จากใสไม่มีสีเป็นสีชมพู)แสดงว่ากรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในสารละลายเป็นกลางแล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
4. สังเกตสีจากการวิเคราะห์ด้วยการไทเทรต แสดงดังภาพประกอบที่ 3

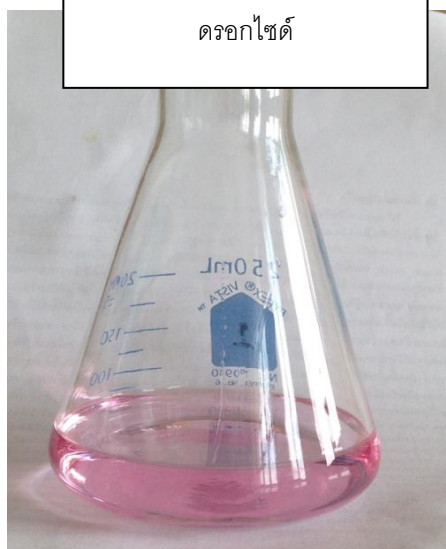
น้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต + ไอโซโพรพานอล



หยดฟีนอล์ฟทาลีน



ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



ภาพประกอบที่ 3 แสดงสีที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรต

วิธีการคำนวณ

ปริมาณกรดไขมันอิสระ(FFA) ในสารตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\%FFA = \frac{\text{สารละลายด่างที่ใช้ไป} \times \text{ความเข้มข้นของสารละลายด่าง} \times \text{โมเลกุลของกรดไขมัน}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง}}$$

- เมื่อ
- สายละลายด่างที่ใช้ไป = ค่าสิ้นสุดของไทเทรต – ค่าเริ่มต้นของไทเทรต, มิลลิลิตร
 - ความเข้มข้นของสายละลายด่าง 0.1 N
 - น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง, กรัม
 - โมเลกุลของกรดไขมัน = น้ำหนักของกรดไขมันของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้, กรัมต่อโมล

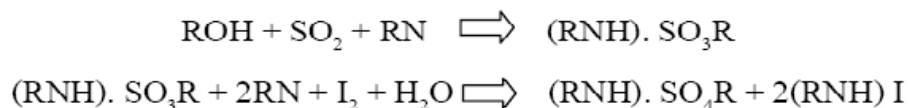
4.วิธีการและสถานะที่ใช้ดำเนินการในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคKarl Fisher

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคKarl Fisher เป็นการวิเคราะห์สารตัวอย่าง (ในหน่วยร้อยละ โดยน้ำหนัก) โดยสารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีปริมาณน้ำน้อยๆ คือ น้อยกว่า 2,100 ไมโครกรัม/ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์จึงจะมีความถูกต้องและแม่นยำ

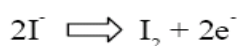


ภาพประกอบที่ 4 เครื่อง Karl Fisher coulometer ของบริษัท Mettler รุ่น DL39
หลักการของเครื่อง

Karl Fisher coulometer มีพื้นฐานมาจากสมการมาตรฐานของปฏิกิริยา Karl Fisher ดังนี้คือ

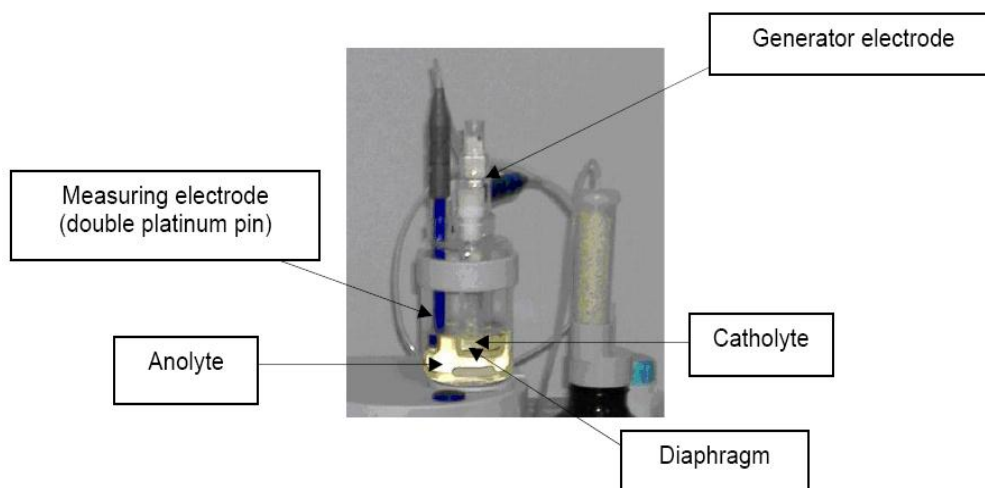


โดยที่ I_2 สามารถเกิดขึ้นจากแอนโนดออกซิเดชัน (anodic oxidation)



และ I_2 จะเกิดขึ้นที่ตัวกำเนิดขั้วไฟฟ้า (generator electrode) ซึ่งประกอบรวมอยู่ในเซลล์ถัดจากตัววัดขั้วไฟฟ้า (measuring electrode) ซึ่งประกอบด้วยเข็มแพททินัมซึ่งมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วสำหรับคำนวณหาจุดยุติ

เซลล์สำหรับการไทเทรต ประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้คือ ส่วนที่เป็นขั้วไฟฟ้าบวก (anode) และขั้วไฟฟ้าลบ (cathode) ซึ่งทั้งสองส่วนดังกล่าวจะถูกแยกออกจากกันโดยไดอะแฟรม (diaphragm) แสดงดังภาพประกอบที่ 5



ภาพประกอบที่ 5 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง Karl Fisher coulometer

- ส่วนขั้วไฟฟ้าบวก (anode) จะมี anolyte ซึ่งประกอบด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) อิมิดาโซล (imidazole) และไอโอไดด์ (iodide) โดยใช้เมทานอลหรือเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

- ส่วนขั้วไฟฟ้าลบ (cathode) จะมี catholyte ซึ่งประกอบด้วยเกลือแอมโมเนียปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าบวก (anode reaction)

I_2 จะเกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าบวก โดยประจุลบจาก $2I^-$ จะปล่อยอิเล็กตรอนที่ขั้วไฟฟ้าบวกและเกิดเป็น I_2 ซึ่ง I_2 ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับน้ำในสารละลายตัวอย่าง โดยอัตราการทำปฏิกิริยาระหว่าง $[H_2O] : [I_2]$ คือ 1:1

สำหรับปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าลบ (cathode reaction)

H_2 จะถูกผลิตขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าลบ โดย H^+ จะถูกรีดิวซ์ไปเป็น H_2 โดยจะต้องมีการเติมเกลือแอมโมเนียลงไปใน catholyte เพื่อเป็นตัวเหนี่ยวนำให้ผลิต H_2

ภาคผนวก ก

วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์

การตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซล โดยการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันอีกครั้งในไมโครเวฟโดยอาศัยหลักการที่ว่าหากในไบโอดีเซลยังมีกลีเซอไรด์เหลืออยู่ เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันกับเมทานอลและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนที่เหมาะสมย่อมเกิดกลีเซอรอลขึ้นซึ่งปริมาณกลีเซอรอลนี้สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของไบโอดีเซลได้

พบว่าปริมาณกลีเซอรอลเกิดขึ้น 0.05 มิลลิลิตร

สามารถคำนวณหา% กลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ได้

โดยคำนวณจากสมการ

$$y = 0.0611x - 0.0144 \text{ โดยที่ } y \text{ คือ ปริมาณกลีเซอรอลที่เกิดขึ้น, มิลลิลิตร}$$

$$x \text{ คือ } \% \text{ กลีเซอไรด์}$$

$$\text{จะได้ } x = (0.05 + 0.0144) / 0.0611 = 1.05 \%$$

$$\text{ดังนั้น ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์} = 100 - 1.05 = 98.95\%$$

2. การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์

สูตรโมเลกุล HCl

น้ำหนักมวลโมเลกุล 36.46 g/mol

ความหนาแน่น 1.19 kg/L

ความเข้มข้น 37% w/w

วิธีการคำนวณ

ต้องการสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 M = 0.05 mol/L

คิดเป็นกรัมจะได้ $0.05 \times 36.46 = 1.823 \text{ g}$

ดังนั้น จากกรดไฮโดรคลอริก 37 g อยู่ในสารละลาย 100 g

ถ้ากรดไฮโดรคลอริก 1.823 g จะอยู่ในสารละลาย $(1.823 \times 100) / 37 = 4.927 \text{ g}$

เนื่องจากไฮโดรคลอริกเป็นกรดที่ระเหยเร็ว ดังนั้นจึงต้องเตรียมเป็นมิลลิลิตร

$$\text{จากสมการ } \rho = m/V$$

ซึ่งสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีความหนาแน่น 1.19 kg/L

จะได้ $V = 4.927/1.19 = 4.14 \text{ mL}$

คือจะต้องใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 4.14 มิลลิลิตร

ดังนั้นปีเปิดสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 4.14 มิลลิลิตรใส่ในขวดปรับปริมาตร 1,000 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์

หมายเหตุ: - โมลาร์(M) คือหน่วย mol/L

3. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล

สูตรโมเลกุล NaOH

น้ำหนักมวลโมเลกุล 40 g/mol

วิธีการคำนวณ

ต้องการสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 N = 0.1 M = 0.1 mol/L

จะได้ $0.1 \times 40 = 4 \text{ g}$

ดังนั้น ต้องชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล

การทดสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. ปีเปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมจากข้างต้นมา 5 มิลลิลิตร
2. เติมฟีนอล์ฟธาลิน (1 % ในไอโซโพรพานอล) จำนวน 5-7 หยด
3. ไทเทรตกับโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium Hydrogen phthalate) 0.05 โมลต่อลิตร จนกระทั่งฟีนอล์ฟธาลินเปลี่ยนสี (จากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี)แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่ใช้

แล้วคำนวณจาก $C_1V_1 = C_2V_2$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์, โมลต่อลิตร

C_2 คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต, 0.05 โมลต่อลิตร

V_1 คือ ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต, มิลลิลิตร

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต, มิลลิลิตร

วิธีการคำนวณ จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$$\text{จะได้ } C_1 \times 5 = 0.05 \times 10$$

$$C_1 = 0.1 \text{ N}$$

หมายเหตุ: - นอร์มอล(N) คือโมลาร์(M) คือหน่วย mol/L

4. การหาปริมาณของเบสในสารตัวอย่าง

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$C = A \times K \times MW \times 1000 / W$$

เมื่อ C = ปริมาณของเบสในสารตัวอย่าง, ppm

A = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, มิลลิลิตร

K = ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรต, โมล/ลิตร

MW = มวลโมเลกุลของเบส

W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง, กรัม

ตัวอย่างการคำนวณ น้ำหนักเฟสไบโอดีเซล 43.11 กรัม น้ำหนักตัวอย่าง เฟสไบโอที่ใช้ในการไทเทรต 8.79 กรัม ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกในการไทเทรต 0.7 มิลลิลิตร

วิธีการคำนวณในการหาปริมาณของ NaOCH_3 (มวลโมเลกุล = 54 กรัม/โมล) ในสารตัวอย่าง

$$\text{จะได้ } C = 0.7 \times 0.05 \times 54 \times 1000 / 8.79$$

$$C = 215.08 \text{ ppm.}$$

ดังนั้น ในสารตัวอย่าง 8.79 กรัม จะมีความเข้มข้นของ NaOCH_3 215.08 ppm.

ซึ่งน้ำหนักเฟสไบโอดีเซล = 43.11 g

จะมีปริมาณเบสที่เหลืออยู่ทั้งหมด = $215.08 \times 43.11 / 10^6 = 0.009 \text{ g}$

5. การหาปริมาณของสบู่ในสารตัวอย่าง

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$S = B \times K \times MW \times 1000 / W$$

เมื่อ S = ปริมาณของสบู่ในสารตัวอย่าง, ppm

B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, มิลลิลิตร

K = ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรต, โมล/ลิตร

MW = มวลโมเลกุลของสบู่

W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง, กรัม

ตัวอย่างการคำนวณ น้ำหนักเฟสไปโอดีเซล 43.11 กรัม น้ำหนักตัวอย่างเฟสไปโอที่ใช้ในการไทเทรต 8.79 กรัม ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกในการไทเทรต 3.63 มิลลิลิตร

วิธีการคำนวณในการหาปริมาณของสบู่ (มวลโมเลกุลสบู่ Na = 292 กรัม/โมล) ในสารตัวอย่าง

$$\text{จะได้ } S = 3.63 \times 0.05 \times 292 \times 1000 / 8.79$$

$$S = 6029.35 \text{ ppm.}$$

ดังนั้น ในสารตัวอย่าง 8.79 g จะมีความเข้มข้นของสบู่ = 6029.35 ppm.

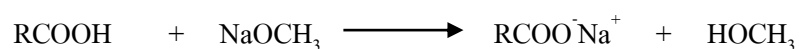
ซึ่งน้ำหนักเฟสไปโอดีเซล = 43.11 g

จะมีปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด = $6029.35 \times 43.11 / 10^6 = 0.26 \text{ g}$

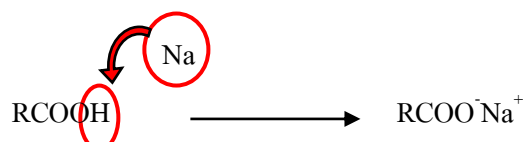
หมายเหตุ : การหามวลโมเลกุลของสบู่

ในงานวิจัยนี้จะใช้กรดไขมันของน้ำมันปาล์มซึ่งโดยเฉลี่ยมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 270 กรัม/โมล

จากปฏิกิริยาการเกิดสบู่



กรดไขมันอิสระ โซเดียมเมทอกไซด์ สบู่ แอลกอฮอล์



กรดไขมันอิสระสบู่

ดังนั้น MW ของสบู่ = MW ของกรดไขมันอิสระ - MW ของไฮโดรเจน + MW ของโซเดียม

$$\begin{aligned} &= 270 - 1 + 23 \\ &= 292 \text{ กรัม/โมล} \end{aligned}$$

6. การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในสารตัวอย่าง

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{FFA} = \frac{\text{สายละลายต่างที่ใช้ไป} \times \text{ความเข้มข้นของสายละลายต่าง} \times \text{โมเลกุลของกรดไขมัน}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง}}$$

เมื่อ - สายละลายต่างที่ใช้ไป = ค่าสิ้นสุดของไทเทรต - ค่าเริ่มต้นของไทเทรต, มิลลิลิตร

- ความเข้มข้นของสายละลายต่าง 0.1 N

- น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง, กรัม

- โมเลกุลของกรดไขมัน = น้ำหนักของกรดไขมันของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้, กรัมต่อโมล

โมเลกุลของกรดไขมันอิสระที่ใช้ในการทดลองนี้ = 270 กรัมต่อโมล

ตัวอย่างการคำนวณ น้ำหนักตัวอย่างน้ำมันทอดใช้แล้ว 5 กรัม ใช้สายละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการไทเทรต 1.86 มิลลิลิตร

$$\text{วิธีการคำนวณ \%FFA} = \frac{1.86 \text{ mL}}{5 \text{ g}} \times \frac{0.1 \text{ mol}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{270 \text{ g}}{\text{mol}} \times 100$$

$$\text{จะได้} \quad \text{FFA} = 1.0 \%$$

ดังนั้น แสดงว่าในน้ำมันทอดใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ 1.0% โดยน้ำหนัก
ของน้ำมัน

หมายเหตุ : - ความเข้มข้นของสายละลายต่าง 0.1 N = 0.1 mol/L = 0.1 mol/1000mL

(1L = 1000 mL)

- 100 คือ ค่าเปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ง

ข้อมูลดิบ

1.ผลได้ของไบโอดีเซล ปริมาณสบู่ และร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล ที่ปริมาณกรดไขมันอิสระ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

1.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ 0.5% โดยน้ำหนัก

ร้อยละความบริสุทธิ์ (%)				
โซเดียมเมทอกไซด์	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)			
(% โดยน้ำหนัก)	5	8	12	15
0.5	80.12	80.94	80.94	81.76
0.6	82.58	83.40	84.22	84.22
0.7	-	-	-	85.03
0.8	-	-	-	88.31
0.9	-	-	-	95.67
1.0	-	-	-	96.49
1.1	96.16	96.98	96.98	97.31

ผลได้ของไบโอดีเซล (% โดยน้ำหนัก)				
โซเดียมเมทอกไซด์	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)			
(% โดยน้ำหนัก)	5	8	12	15
0.5	98.83	98.16	97.85	97.90
0.6	97.94	97.81	97.68	97.57
0.7	-	-	-	97.46
0.8	-	-	-	97.37
0.9	-	-	-	97.31
1.0	-	-	-	97.25
1.1	97.67	97.45	97.20	97.19

1.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ 0.5% โดยน้ำหนัก

ปริมาณสบู่ (% โดยน้ำหนัก)				
โซเดียมเมทอกไซด์	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)			
(% โดยน้ำหนัก)	5	8	12	15
0.5	1.02	1.04	1.04	1.05
0.6	1.03	1.05	1.08	1.08
0.7	-	-	-	1.08
0.8	-	-	-	1.13
0.9	-	-	-	1.17
1.0	-	-	-	1.22
1.1	1.22	1.22	1.25	1.30

1.2 ปริมาณกรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนัก

ร้อยละความบริสุทธิ์ (%)				
โซเดียมเมทอกไซด์	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)			
(%)	5	8	12	15
0.8	-	-	-	91.58
0.9	-	-	-	94.04
1.0	91.58	92.40	93.22	94.04
1.1	96.49	96.49	98.13	98.45
1.2	97.31	98.13	98.45	98.78
1.3	97.31	98.45	98.78	98.95

1.2 ปริมาณกรดไขมันอิสระ 1.0% โดยน้ำหนัก

ผลได้ของไบโอดีเซล (% โดยน้ำหนัก)				
โซเดียมเมทอกไซด์ (% โดยน้ำหนัก)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)			
	5	8	12	15
0.8	-	-	-	95.68
0.9	-	-	-	95.64
1.0	95.90	95.72	95.51	95.32
1.1	95.80	95.68	95.45	95.14
1.2	95.81	95.66	95.32	95.08
1.3	95.75	95.47	95.12	94.86

ปริมาณสบู่ (% โดยน้ำหนัก)				
โซเดียมเมทอกไซด์ (% โดยน้ำหนัก)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)			
	5	8	12	15
0.8	-	-	-	2.07
0.9	-	-	-	2.16
1.0	2.03	2.07	2.08	2.27
1.1	2.07	2.14	2.15	2.29
1.2	2.25	2.32	2.34	2.39
1.3	2.28	2.42	2.43	2.64

1.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ 1.5% โดยน้ำหนัก

ร้อยละความบริสุทธิ์ (%)				
โซเดียมเมทอกไซด์	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)			
(%)	5	8	12	15
1.2	94.85	94.85	95.67	95.67
1.3	97.31	97.31	98.13	98.45
1.5	98.45	98.45	98.95	99.27

ผลได้ของไบโอดีเซล (% โดยน้ำหนัก)				
โซเดียมเมทอกไซด์	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)			
(% โดยน้ำหนัก)	5	8	12	15
1.2	96.02	95.71	95.18	95.2
1.3	95.58	95.41	94.81	94.69
1.5	95.35	95.1	94.77	94.3

ปริมาณสบู่ (% โดยน้ำหนัก)				
โซเดียมเมทอกไซด์	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)			
(% โดยน้ำหนัก)	5	8	12	15
1.2	2.82	2.88	2.91	2.97
1.3	3.00	3.03	3.24	3.67
1.5	3.02	3.28	3.37	3.76

2. ผลได้ของไบโอดีเซล ปริมาณสบู่ และร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล ที่อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

2.1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

อัตราส่วน	เวลาในการ	ร้อยละ	ผลได้	ปริมาณสบู่
โมลเมทานอลต่อน้ำมัน	ทำปฏิกิริยา	ความบริสุทธิ์	ของไบโอดีเซล	
(โมล:โมล)	(นาที)	(%)	(% โดยน้ำหนัก)	(% โดยน้ำหนัก)
5.5:1	5	95.67	95.47	2.03
	8	96.49	95.46	2.08
	12	96.49	95.28	2.22
	15	97.31	94.74	2.34
6:1	5	96.49	96.10	1.84
	8	96.49	95.84	1.92
	12	97.31	95.45	2.12
	15	98.13	95.22	2.14
6.5:1	5	96.49	96.20	1.63
	8	96.49	96.04	1.92
	12	97.64	95.44	1.97
	15	98.13	95.49	2.02

2.2 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.2% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

อัตราส่วน	เวลาในการ	ร้อยละ	ผลได้	ปริมาณสูญ
โมลเมทานอลต่อน้ำมัน	ทำปฏิกิริยา	ความบริสุทธิ์	ของไบโอดีเซล	
(โมล:โมล)	(นาที)	(%)	(% โดยน้ำหนัก)	(% โดยน้ำหนัก)
5.5:1	5	97.31	95.41	2.17
	8	97.64	95.35	2.45
	12	98.13	95.23	2.55
	15	98.45	94.75	2.76
6:01	5	97.31	95.80	1.99
	8	98.13	95.58	2.09
	12	98.45	95.32	2.13
	15	98.78	95.17	2.18
6.5:1	5	98.13	95.99	1.90
	8	98.29	95.57	1.99
	12	98.62	95.39	2.00
	15	98.78	95.18	2.04

2.3 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

อัตราส่วน	เวลาในการ	ร้อยละ	ผลได้	ปริมาณสูญ
โมลเมทานอลต่อน้ำมัน	ทำปฏิกิริยา	ความบริสุทธิ์	ของไบโอดีเซล	
(โมล:โมล)	(นาที)	(%)	(% โดยน้ำหนัก)	(% โดยน้ำหนัก)
5.5:1	5	97.80	95.30	2.28
	8	97.80	95.28	2.49
	12	98.13	95.22	2.75
	15	98.45	93.12	2.89
6:01	5	97.80	95.75	2.09
	8	98.45	95.57	2.16
	12	98.45	95.28	2.19
	15	98.78	94.90	2.40
6.5:1	5	98.45	95.75	1.95
	8	98.78	95.56	2.02
	12	98.95	95.37	2.05
	15	98.95	95.02	2.08

3. ผลได้ของไบโอดีเซล ปริมาณสบู่ และร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล ที่อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

3.1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

อุณหภูมิ	เวลา ในการทำปฏิกิริยา	ร้อยละ ความบริสุทธิ์	ผลได้ ของไบโอดีเซล	ปริมาณสบู่
(°C)	(นาที)	(%)	(% โดยน้ำหนัก)	(% โดยน้ำหนัก)
50	5	89.13	96.90	1.76
	8	91.58	96.11	1.84
	12	91.58	96.10	2.02
	15	93.22	95.93	2.09
55	5	89.94	96.33	1.81
	8	91.58	95.97	1.88
	12	91.58	95.90	2.06
	15	93.22	95.64	2.10
60	5	91.58	95.85	1.83
	8	92.40	95.75	1.93
	12	93.46	95.51	2.13
	15	94.04	95.13	2.15
65	5	91.58	95.73	1.89
	8	93.49	95.72	1.98
	12	94.04	95.37	2.16
	15	94.85	94.82	2.17

3.2 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

อุณหภูมิ	เวลา ในการทำปฏิกิริยา	ร้อยละ ความบริสุทธิ์	ผลได้ ของไบโอดีเซล	ปริมาณสบู่
(°C)	(นาที)	(%)	(% โดยน้ำหนัก)	(% โดยน้ำหนัก)
50	5	94.85	96.46	1.80
	8	95.67	95.86	1.97
	12	95.67	95.72	2.03
	15	96.49	94.77	2.20
55	5	94.85	96.19	1.88
	8	95.67	95.87	2.00
	12	96.49	95.69	2.16
	15	96.49	94.70	2.23
60	5	96.49	95.75	2.02
	8	96.49	95.65	2.07
	12	98.13	95.42	2.18
	15	98.13	94.86	2.28
65	5	96.49	95.73	2.03
	8	96.49	95.46	2.12
	12	98.13	95.29	2.18
	15	98.29	94.64	2.35

3.3 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

อุณหภูมิ	เวลา ในการทำปฏิกิริยา	ร้อยละ ความบริสุทธิ์	ผลได้ ของไบโอดีเซล	ปริมาณสบู่
(°C)	(นาที)	(%)	(% โดยน้ำหนัก)	(% โดยน้ำหนัก)
50	5	98.13	95.26	2.21
	8	98.45	95.12	2.27
	12	98.62	94.57	2.50
	15	98.78	94.73	2.83
55	5	97.64	95.31	2.28
	8	98.13	95.38	2.30
	12	98.45	94.68	2.48
	15	98.78	94.67	2.83
60	5	97.31	95.72	2.28
	8	97.64	95.52	2.35
	12	98.13	95.20	2.85
	15	98.45	94.60	2.86
65	5	97.31	95.55	2.32
	8	97.47	95.45	2.36
	12	98.13	95.15	2.88
	15	98.13	94.46	2.88

ภาคผนวก จ

บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ



The 3rd International Thai Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference

*"Step into a New Era of Alternative Energy
Management and Sustainable Environment"*

By
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering, Khon Kaen University
and
Thai Institute of Chemical Engineering
and Applied Chemistry, TIChE



October 17-18, 2013

Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel, KHON KAEN, Thailand



Biodiesel Production from Used Frying Oil Using Sodium Methoxide as Catalyst in Continuous Process

Rungthip Chaidet, Chakrit Thongurai, Kulchanat Prasertsit

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,

Songkhla 90110

E-mail: rungthip.1309@gmail.com

Abstract—In this study, used frying oil (UFO) from restaurants was used to produce biodiesel through transesterification with methanol, using sodium methoxide as a catalysts. A continuous transesterification was carried out by using a cylindrical column volume of 735 ml. A series of experiments was conducted in order to evaluate the effects of reaction variables such as catalyst concentration (1.1-1.3%wt) and retention time (5, 8, 12, 15 minute) on methanol/oil molar ratio at 6:1, free fatty acid (FFA) content 1.0%wt, temperature 60°C, to achieve the maximum yield and purity. The optimized variables of sodium methoxide concentration 1.2%wt and retention time 5 minute offered the optimum yield of 95.81% and purity of 97.31%. The results showed that the increasing of catalyst concentration and retention time gave an increasing of purity but decreasing reaction yield.

Keywords: Biodiesel, Sodium Methoxide, Transesterification, Used Frying Oil

Introduction

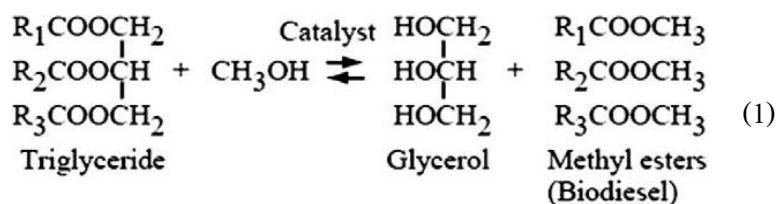
Biodiesel is defined as fatty acid methyl or ethyl esters derived from vegetable oils, animal fats and waste cooking oils reacted with alcohol in the presence of a catalyst. Methanol is the most commonly used alcohol due to its low cost, whereas alkali catalyst is more preferable than acid and enzyme catalysts due to its short reaction time, noncorrosive, low cost

and high yield of biodiesel production. Biodiesel can be used in diesel engines in neat form or blended with diesel fuel with a little or no engine modification, it can be considered as a potential diesel fuel [1-3].

The recent concerns with sustainability, environment and raw material costs have made the use of waste frying oils attractive to the industry, especially if stimulated with economic benefits associated with the use of blends of biodiesel and fossil diesel [4]. UFO is a better alternative as a raw material for biodiesel production than other raw materials such as edible oil, non-edible oil and animal fats which are very costly and result in the high cost of biodiesel. UFO is generated in large quantities during food or semiproduct preparation by frying in an industrial environment [5].

Biodiesel made from UFO can be used to effectively reduce the raw material cost as well as solve the problem of used oil disposal. The UFO have properties different from the properties of refined and crude oils. The presence of heat and water accelerates the hydrolysis of triglycerides and increases content of free fatty acids in oil [5-7].

The transesterification reaction (also called methanolysis or ethanolysis depending on alcohol type) takes place between triglyceride and alcohol (such as methanol or ethanol) to produce an ester and by product is glycerol (Equation (1)). The first step is the conversion of triglycerides to di-glycerides, followed by the conversion of di-glycerides to mono-glycerides, and finally mono-glycerides to glycerol. The stoichiometry of reaction requires 3 mol of methanol and 1 mol of triglyceride to give 3 mol of fatty acid methyl ester and 1 mol of glycerol. This leads to three consecutive reversible reactions where mono-glyceride and di-glyceride are intermediate products. Catalytic reactions can use alkali catalysts (such as potassium hydroxide, potassium methoxide, sodium hydroxide, or sodium methoxide), acid catalysts (such as sulfuric, sulfonic, phosphoric and hydrochloric acids) or enzymatic transesterification [6-9]. Alkali catalysts are the most widely used as they accelerate the process and the reaction conditions are more moderate [10]. Alcohols more frequently employed are short chain alcohols. Methanol is the one most often used for commercial and process reasons due to its physical and chemical nature (shortest chain alcohol and it is polar) [11-12].



Transesterification reaction

Nowadays, the transesterification technique is the most common and considered to be the best way to convert plant oils into transportation fuels. The property of transesterified oil (biodiesel) is similar to fossil fuels, which allows its direct use in diesel engines without requiring any change in the engine design or can be used as an additive to diesel fuels [13].

Biodiesel has become more attractive recently because of environmental benefits and the fact that it is made from renewable resources. Nowadays, the higher cost of diesel-based petroleum is the main reason why biodiesel is attractive. The main problem in biodiesel production is high vegetable oil cost. One way of possibility is to reduce the raw material cost by using UFO. Compared to petroleum based diesel, biodiesel has a more favorable combustion emission profile, such as low emissions of carbon monoxide, particulate matter, and unburned hydrocarbons [14-15].

The objective of this thesis is the production of biodiesel (methyl ester) from UFO (as raw material in the restaurants) through transesterification by using sodium methoxide as the catalyst to decrease the water content that produced from the reaction of methoxide and alcohol.

Material and Experimental

Material

- UFO contains 1.0%wt free fatty acid used in the research was obtained from restaurants.
- Methanol concentration 99.8%wt purity was used as alcohol for the transesterification reaction.

- Sodium methoxide 30%wt in methanol were used as alkali catalyst

Experimental

- Transesterification

All the experiments were carried out under the same reaction conditions so as to compare the results with the different catalyst concentration and retention time (RT).

A continuous transesterification was carried out by using a cylindrical column volume of 735 ml (Figure 1), control temperature (60°C; deviation: $\pm 2^\circ\text{C}$) by thermocouple, methanol/oil molar ratio 6:1, UFO containing 1.0%wt of FFA, an stirring intensity 900 rpm. Catalyst concentration was varied from 1.1-1.3%wt at different RT of 5, 8, 12, 15 minute. Final product analysis are yield and purity. The purity and yield obtained from the transesterification reaction are the utmost importance in the industrial production of biodiesel.



Figure 1. Set of continuous experiment

- Purity of the methyl esters phase

The biodiesel purity means the methyl ester concentration (%wt) in the biodiesel. According to EN 14214, the minimum acceptable purity for biodiesel is 96.5% in methyl esters. The purity was determined by a method in accordance with the EN 14103 Standard [16].

Determination of purity

The purity in the product was analyzed by using microwave approximate analysis method (Thailand petty patent No.5060).

The purity of the product can be calculated by using Eq. (2).

Y = The quantity of glycerol

G = %remain of Glycerides

$$= (Y + 0.0144)/0.0611$$

$$E = \%Purity = 100 - G(2)$$

- Yield of the methyl esters phase

Determination of yield

The biodiesel yield (wt.%), relative to the amount ofUFO fed into the reactor, was calculated from the methyl ester and UFO weights.

The yield of the product can be calculated by using Eq. (3).

$$\%yield\ of\ methy\ esters = \frac{gramsofmethylestersproduced}{gramsofoilfeed} \times 100 (3)$$

Results

- Effects of time on yield of biodiesel

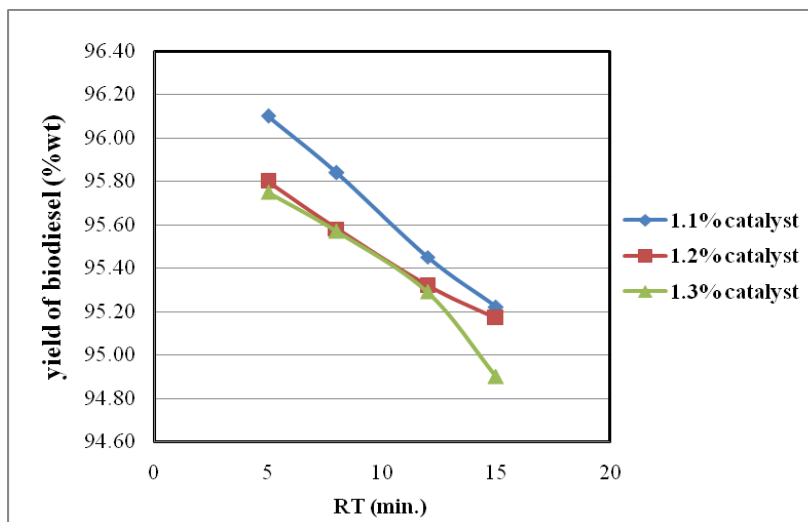


Figure.2. Plot for yields of biodiesel from UFO vs RT (5, 8, 12, 15 min.) at methanol/oil molar ratio 6:1, UFO containing 1.0%wt of FFA, temperature 60 °C and stirring intensity 900 rpm.

Transesterification experiments for UFO were carried out at a constant agitation speed for different time (various RT 5, 8, 12, 15 minute). The plot of yield of biodiesel to RT in Figure 2 shows that the increasing of retention time decreases percent yield of biodiesel. When RT increased, the side reaction, saponification reaction, produced more soap resulting to a lower yield of biodiesel. The maximum yield of biodiesel at RT 5 minute and various catalyst concentration are 95.81%, 95.81%, 95.75% respectively.

- Effect of catalyst concentration on yield of biodiesel

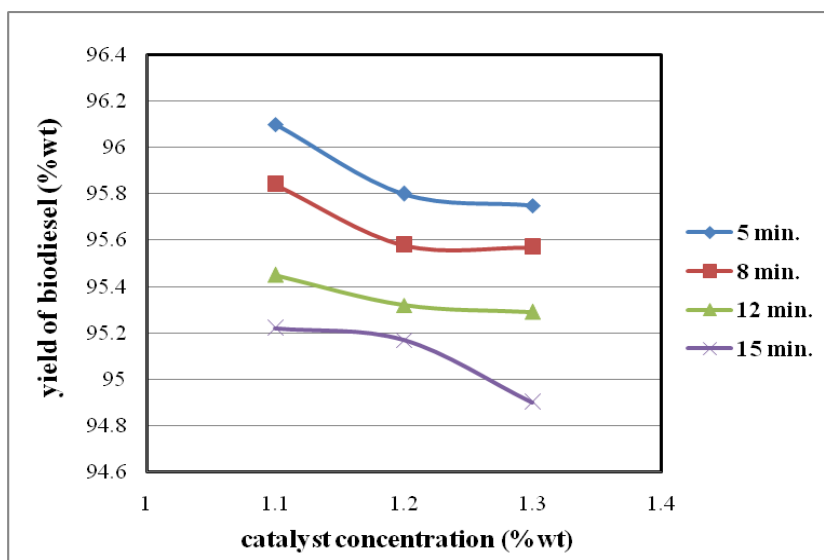


Figure.3. Plot for yield of biodiesel from UFO vs catalyst concentrations ($NaOCH_3$) at methanol/oil molar ratio 6:1, UFO containing 1.0%wt of FFA, temperature 60°C and stirring intensity 900 rpm.

Figure.3 shows the plot of the yields of biodiesel for UFO to catalyst concentrations ($NaOCH_3$). It is clearly shown that the yields of biodiesel increases and then reaches the optimum conversion at 1.1–1.2 %wt of the catalyst. When the catalyst concentration was further increased to 1.2%wt resulting in a little decrease in the yield. However, Using a higher catalyst concentrations gave decreasing yield. From an observation during washing with warm water, more soap was found, due to the excess catalyst favouring the process of saponification. The maximum yield of biodiesel at catalyst concentration 1.1%wt in the different RT are 95.81%, 95.68%, 95.45%, 95.14% respectively.

- Effect of time on purity of biodiesel

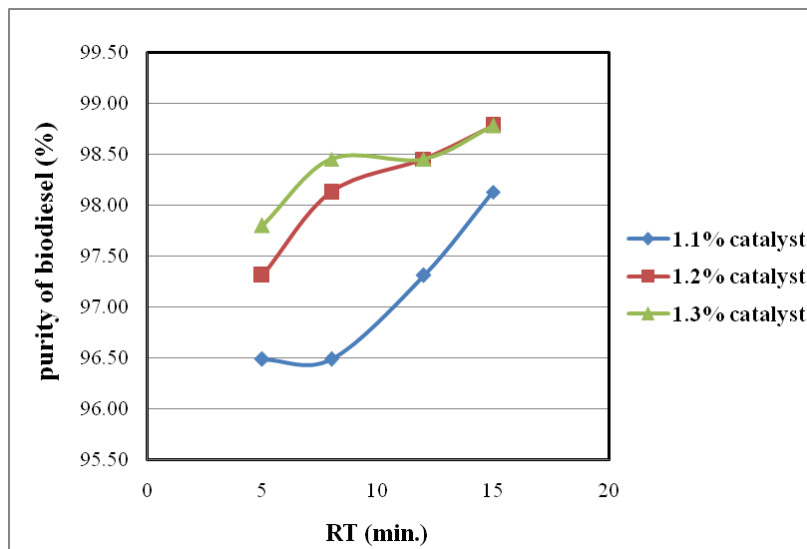


Figure.4. Plot for purity of biodiesel form UFO vs RT (5, 8, 12, 15 min.) at methanol/oil molar ratio 6:1, UFO containing 1.0%wt of FFA, temperature 60 °C and stirring intensity 900 rpm.

Figure 4. Shows the plot of the purity of biodiesel to RT (various RT 5, 8, 12, 15 minute). The one of the most important factors effecting on transesterification reaction is RT. Increasing the RT, higher purity of biodiesel was obtained. The best purity of biodiesel at 15 minute at the different catalyst concentrations are 98.45%, 98.78%, 98.95% respective.

- Effect of catalyst concentration on purity of biodiesel

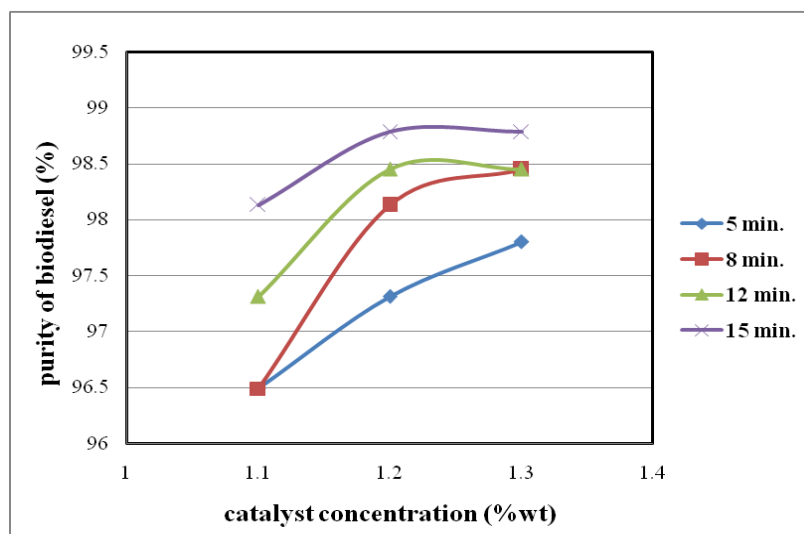


Figure.5. Plot for purity of biodiesel from UFO vs catalyst concentrations ($NaOCH_3$) at methanol/oil molar ratio 6:1, UFO containing 1.0%wt of FFA, temperature 60°C and stirring intensity 900 rpm.

Figure 5. Shows the plot of the purity of biodiesel to catalyst concentration (various catalyst concentration 1.1-1.3%wt), that increasing of catalyst concentration increases percent of purity. However, using higher catalyst concentrations than 1.2 %wt, the purity is not significant therefore the optimum is 1.2%wt. The best purity of biodiesel at catalyst concentration 1.3%wt at various RT are 97.31%, 98.45%, 98.78%, 98.95% respective.

Conclusions

The methyl esters obtained from this process can be used as fuel in diesel engines, because of satisfying properties that could be compared with standard methyl esters.

The results showed that effect of the catalyst concentration and retention time on percent yield and percent purity of biodiesel. In conclusion an increasing of catalyst concentration and retention time increase percent of purity but decrease percent of reacted yield. The maximum yield of biodiesel is 95.81% at RT 5 minute and catalyst concentration 1.1% byweight and the best purity of biodiesel is 98.95% at RT 15 minute and catalyst concentration

1.3% byweight. But in industry we must realize the economic costs as well. Therefore, the optimum condition at catalyst concentration 1.2% byweight, retention time 5 minute, methanol/oil molar ratio of 6:1, UFO containing 1.0%wt of FFA, temperature 60°C and stirring intensity 900 rpm will get the yield of 95.81% and purity 97.31%.

Transesterification of UFO to biodiesel is another possibility for producing cheap alternative fuels, which could reduce pollution and protect the environment.

Acknowledgment

The authors would like to thank the Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University for their kind supports.

References

- [1] J. M. Enciner, J. F. González, and A. R. Reinos, "Biodiesel from Used Frying Oil. Variables Affecting the Yields and Characteristics of the Biodiesel," *Ind. Eng. Chem. Res.* 2005, vol. 44, pp. 5491-5499.
- [2] A. Demirbas, "Biodiesel from waste cooking oil via base catalytic and supercritical methanol transesterification," *Energy Conversion and Management*, 2009, vol. 50, pp. 923–927.
- [3] Z. Yaakob, M. Mohammada, M. Alherbawi, Z. Alam, K. Sopian, "Overview of the production of biodiesel from Waste cooking oil," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013, vol. 18, pp. 184-193.
- [4] Zhang, Y. Dube, M.A. McLean, D.D. Kates, "Biodiesel production from waste cooking oil," *Bioresour Technol* 2003, vol. 90, pp. 229–240.
- [5] T. W. Charpe, V. K. Rathod, "Biodiesel production using waste frying oil," *Waste Management* 2011, vol. 31, pp. 85-90.
- [6] A.N. Phan, T.M. Phan, "Biodiesel production from waste cooking oils," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2008, vol. 87, pp. 3490-3496.
- [7] P. Felizardo, M.J.N. Correia, I. Raposo, J.F. Mendes, R. Berkemeier, J.M. Bordado, "Production of biodiesel from waste frying oils," *Waste Management* 2006, vol. 26, pp. 487–494.

- [8] H.J. Kim, B.S. Kang, M.J. Kim, Y. M. Park, D.K. Kim, J.S. Lee, K.Y. Lee, "Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst," *Catalysis Today*, 2004, vol. 95, pp. 315-320.
- [9] S.T. Keera, S.M.E. Sabagh, A.R. Taman, "Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst," *Journal of Fuel* 2011, vol. 90, pp. 42-47.
- [10] B.M. Marin, M.A. Chica, A.F. Martin, "Purification of biodiesel from used cooking oils," *Applied Energy* 2010, vol. 88, pp. 3625-3631.
- [11] D.W. Lee, Y.M. Park, K.Y. Lee, "Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis," *Catalysis Surveys from Asia* 2009, vol. 13, pp. 63-77.
- [12] M. Atapour, H.R. Kariminia, P. M. Moslehabadi, "Optimization of biodiesel production by alkali catalyzed transesterification of used frying oil," *Fuel* 2009, vol. 88, pp. 1302-1306.
- [13] A. T. Kiakalaieh, N. A. S. Amin, H. Mazaheri, "A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil," *Applied Energy* 2013, vol. 104, pp. 683-710.
- [14] B. Dennis, J.M. Ponclano, M.L. Taper, "Replicated sampling increases efficiency in monitoring biological populations," *Ecology* 2010, Vol. 91, pp. 610-620.
- [15] K. S. Chen, Y. C. Lin, K. H. Hsu, H. K. Wang, "Improving biodiesel yields from waste cooking oil by using sodium methoxide and a microwave heating system," *Energy* 2012, vol. 38, pp. 151-156.
- [16] M. Agarwal, G. Chauhan, S.P. Chaurasia, K. Singh, "Heterogeneous catalyst for biodiesel production," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2012, vol. 43, pp. 89-94.
- [17] EN 14103:2003. Fat and oil derivatives. Fatty Acid Methyl Esters (FAME). Determination of ester and linolenic methyl ester contents