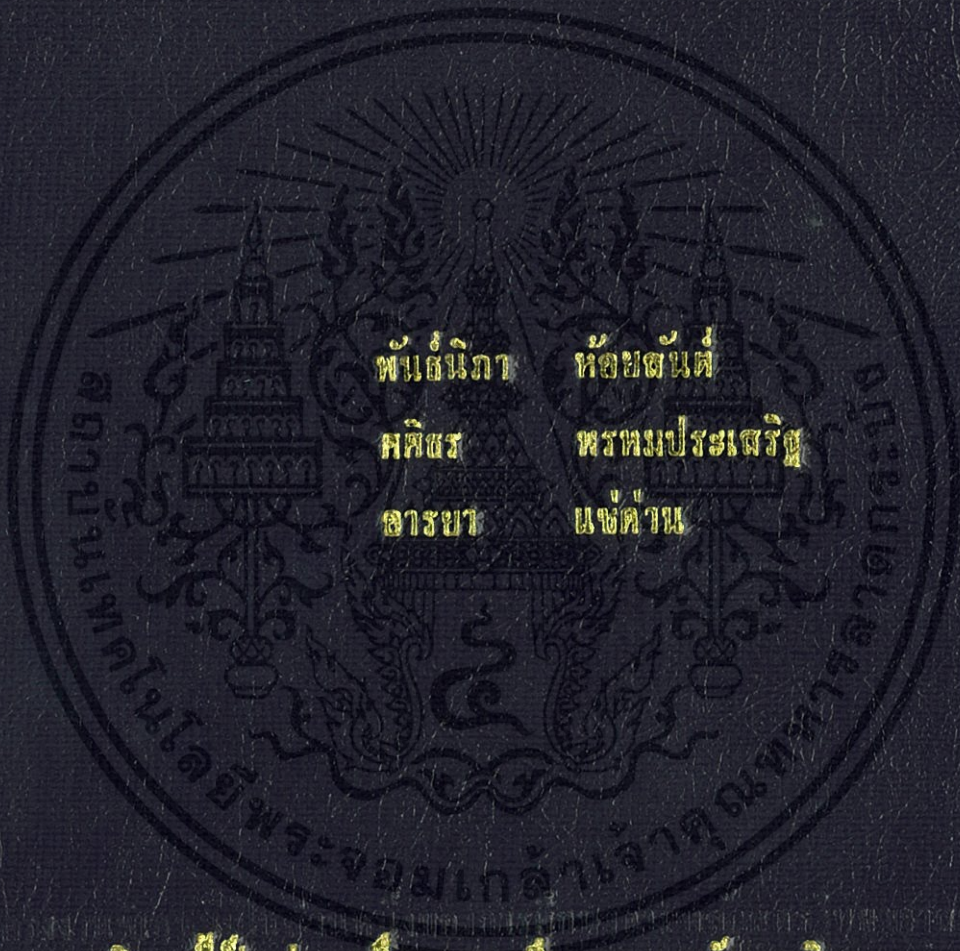


การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน
Biodiesel Production From Beef Tallow Using Two-step
Catalyzed Process



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

Biodiesel Production From Beef Tallow Using Two-step

Catalyzed Process



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปล่อยให้ประชาชนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเอกสารฉบับนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2555

**BIODIESEL PRODUCTION FROM BEEF TALLOW USING
TWO-STEP CATALYZED PROCESS**



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

FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ออกทรงหม่อมให้คิดแปลลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหม่อมให้นำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2012

หัวข้อโครงการพิเศษ การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน
Biodiesel Production from Beef Tallow Using Two-step Catalyzed Process


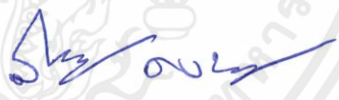

ชื่อนักศึกษา น.ส.พันธ์นิภา ห้อยสันต์
น.ส.ศศิธร พรหมประเสริฐ
น.ส.อารยา แซ่ค่าน

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา
เคมีสิ่งแวดล้อมประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.กถินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตของคณะวิทยาศาสตร์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน
ชื่อนักศึกษา	น.ส.พนัสนิภา ห้อยสันต์ น.ส.ศศิธร พรหมประเสริฐ น.ส.อารยา แซ่ด่าน
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน โดยในขั้นตอนที่ 1 ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ส่วนขั้นตอนที่ 2 ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส พร้อมศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์และหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ ระยะเวลา และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันจากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน คือ ใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 40 นาที ได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ เท่ากับ 97.56 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้จากการตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซล พบว่าค่าความเป็นกรดและปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, เมทิลเอสเทอร์, ไขมันโค, ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Biodiesel Production From Beef Tallow Using Two-step Catalyzed Process
Students	Phannipa Hoysan Sasiton Promprasert Araya Seadan
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2012
Advisor	Asst.Prof.Dr. Usarat Thawornchaisit

ABSTRACT

This special project studied biodiesel production from beef tallow using two-step catalyzed process. In first step, sulfuric acid was used as an acid catalyst while potassium hydroxide was chosen as a basic catalyst in the second step. In addition, factors affecting percentage methyl ester as well as the optimal condition for biodiesel production was also investigated. The effects of amount of catalyst, temperature, reaction time and methanol to oil molar ratio were studied. It was found that the optimum conditions for biodiesel production from beef tallow using two-step catalyzed process were using 2 wt% of sulfuric acid, methanol to oil molar ratio of 6:1, at 45 °C and reaction time of 40 minutes. The highest methyl ester content from this condition was found to be 97.56 % . In addition, it was found that the acid value and the percentage methyl ester of the produced biodiesel was in the acceptable ranges according to Announcement from Department of Energy Business, Ministry of Energy.

Keywords : Biodiesel, Methyester, Beef tallow, Two-step catalyzed process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนสำเร็จได้ เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา แนะนำ ความคิดเห็นและกำลังใจ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ เป็นอย่างสูง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ในทุกขั้นตอน เพื่อให้การจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบพระคุณ อ.กตินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบโครงการพิเศษ และให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องที่เป็นประโยชน์ในโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม เป็นอย่างสูงที่กรุณาทำการวิเคราะห์ข้อมูล และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ที่นักวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ในการจัดทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้ความอุปการะตลอดมา และขอบคุณเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีของโครงการพิเศษฉบับนี้ขออุทิศให้แด่คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณต่อคณะวิจัยทุกท่าน

นางสาวพันธนิภา ห้อยสันต์

นางสาวศศิธร พรหมประเสริฐ

นางสาวอารยา แซ่ด่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
คำย่อและสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไขมันและน้ำมัน	4
2.2 กรดไขมัน (Fatty acid)	5
2.2.1. กรดไขมันชนิดอิ่มตัว	5
2.2.2. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว	6
2.2.3. กรดไขมันในอาหาร	8
2.3 ไขมันโค (Beef tallow)	9
2.4 ไบโอดีเซล	11
2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	13
2.5 ข้อกำหนดและมาตรฐานวิธีการทดสอบไบโอดีเซล	15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 อุปกรณ์	23
3.1.2 สารเคมี	24
3.2 การเตรียมน้ำมันจากไขมันโค	24
3.3 การศึกษาสมบัติของน้ำมันจากไขมันโค	25
3.4 การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน	25
3.4.1 ขั้นตอนที่ 1 การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด	25
3.4.2 ขั้นตอนที่ 2 การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส	27
3.5 การศึกษาผลของความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก	28
3.6 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	28
3.7 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	28
3.8 การศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน	28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	29
4.1 ผลการสกัดน้ำมันจากไขมันโค	29
4.2 สมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันจากไขมันโค	30
4.3 การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน	33
4.3.1 ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก	33
4.3.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	35
4.3.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	36
4.3.4 ผลของอัตราส่วน โดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน	37
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก ก	44

เอกสารนี้เป็น **ภาคผนวก ข** วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่และเลขคี่	5
2.2	ปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันและน้ำมันที่มาจากสัตว์และพืช	8
2.3	ชนิดของกรดไขมันสำคัญบางตัวในไขมันสัตว์	10
2.4	สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไขมัน โคเทียบกับไขมันและน้ำมันชนิดอื่นๆ	10
2.5	เปรียบเทียบความแตกต่างของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	12
2.6	กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน	16
3.1	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันโค	25
4.1	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันโค	30
4.2	ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันจากไขมันโค	31
4.3	การคำนวณหามวลโมเลกุลของน้ำมันจากไขมันโค	32
ก-1	ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)ที่ใช้ไทเทรต(มิลลิลิตร)	44
ก-2	ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)ที่ใช้ไทเทรต(มิลลิลิตร)	45
ข-1	พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก	52
ข-2	พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของอุณหภูมิ	53
ข-3	พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของเวลา	54
ข-4	พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมัน	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันและน้ำมัน	4
2.2	แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	11
2.3	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	14
3.1	ไขมัน โคหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ	25
3.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล	26
4.1	ลักษณะไขมัน โคเมื่อ (ก) หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และ (ข) น้ำมันที่เจียวได้	29
4.2	โครงสร้างของ Triglyceride	32
4.3	ผลของความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ที่ได้	34
4.4	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ที่ได้	35
4.5	ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ที่ได้	36
4.6	ผลของอัตราส่วน โดย โมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์และค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ที่ได้	38
ก.1	ตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละ เมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$	50
ข.1	ตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละ เมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

พ.ศ.	พุทธศักราช
ม.ป.ป.	ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์
ว.	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
^o C	องศาเซลเซียส
C	ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา
cSt	เซนติสโตกส์
FAAEs	Fatty acid alkyl esters
FFA	ปริมาณกรดไขมันอิสระ
%FAME	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์
G Iodine/100g	กรัมไอโอดีน/100กรัม
¹ H-NMR	¹ H Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy
Kg/m ³	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
M	อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน
Mg/kg	มิลลิกรัม/กิโลกรัม
Mg KOH/g	มิลลิกรัมโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม
N	Normality
Ppm	pages per minute
T	อุณหภูมิ
t	เวลาในการทำปฏิกิริยา
% wt.	ร้อยละโดยน้ำหนัก
%w/w	ร้อยละโดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในสถานะที่เชื้อเพลิงฟอสซิลในโลกมีปริมาณลดลงเป็นลำดับ ส่งผลให้น้ำมันปิโตรเลียมมีราคาเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การค้นคว้าและพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทน จัดเป็นหัวข้อที่หลายฝ่ายให้ความสนใจ ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ โดยนำมาทำปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) กับ แอลกอฮอล์ ในสถานะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาจนเกิดเป็นสารจำพวกอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid alkyl esters, FFAEs) ไบโอดีเซลจัดเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่รัฐบาลโดยกระทรวงพลังงานมีนโยบายส่งเสริมการผลิตและการใช้ เพื่อทดแทนดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียมตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 28 มกราคม 2552 (กระทรวงพลังงาน, 2554) ผลจากการดำเนินนโยบายดังกล่าว ทำให้ตัวเลขความต้องการใช้ไบโอดีเซลมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 426,422 ลิตร/วัน ในเดือนพ.ย. 2550 เป็น 2,018,139 ล้านลิตร/วัน ในเดือนพ.ย. 2554 (กระทรวงพลังงาน, ม.ป.ป.) จากรายงานของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยในเรื่องวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้สำหรับประเทศไทยมีอยู่ 2 ชนิดหลักคือ พืชน้ำมัน (ปาล์มน้ำมันและสบู่ดำ) และน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2551) ข้อจำกัดที่สำคัญของการใช้วัตถุดิบดังกล่าวในการผลิตไบโอดีเซลคือ อาจทำให้เกิดปัญหาการแย่งชิงวัตถุดิบระหว่างอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมด้านพลังงานทดแทน นอกจากนี้ปัญหาการแย่งชิงพื้นที่การเพาะปลูกระหว่างวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลกับอาหารของมนุษย์และสัตว์ก็เป็นอีกหนึ่งปัญหาที่ควรคำนึงถึง (Demirbas, 2002) ด้วยเหตุนี้การวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบอื่นๆจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่เพิ่มทางเลือกของวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลให้มีหลากหลายมากขึ้น

ไขมันโค จัดเป็นวัตถุดิบทางเลือกประเภทหนึ่งที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ เนื่องจากอัตราการเลี้ยงโคมีจำนวนเพิ่มขึ้นมากในแต่ละปีดังจะเห็นได้จากตัวเลขจำนวนโคที่ถูกเลี้ยงระหว่างปีพ.ศ. 2548-2551 มีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 7,796,272 ตัว เป็น 9,112,093 ตัว ซึ่งคิดเป็นการเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 16.87 อีกทั้งอัตราการบริโภคเนื้อโคของคนไทยอยู่ที่ประมาณ 3.4 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (ประมาณ 214,330 ตันต่อปี) และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทุกปี (กรมปศุสัตว์, 2552) ส่งผลให้มีจำนวนไขมันโคจากโรงฆ่าสัตว์ในปริมาณมากขึ้น อีกทั้งไขมันโคไม่นิยมนำมารับประทานหรือประกอบอาหารมากนัก เนื่องจากไขมันโคประกอบด้วยกลีเซอไรด์ (Glycerides) ของกรดไขมันชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ กรดไขมันจำพวกอิ่มตัว (Saturated fatty acids) และกรดไขมันจำพวกไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids)

พบว่าในไขมันโค่นั้นมีกรด Oleic Palmitic และ Stearic รวมกันได้กว่า 90% โดยน้ำหนัก (Windholz, 1976 อ้างถึงใน สนธยา, 2526) ซึ่งไขมันส่วนใหญ่ในไขมันโคเป็นประเภทกรดไขมันอิ่มตัว เมื่อรับประทานเข้าไปแล้วจะไปเพิ่มโคเลสเตอรอลชนิดเลว (LDL) ในร่างกาย และตัวที่เพิ่ม LDL ได้มากคือกรดปาล์มิติก (palmitic acid) ทำให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บต่างๆต่อร่างกายมนุษย์ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น (สันต์, 2552)

จากโครงการพิเศษของเกษตรวิ, ฤพร และสุทธิมา (2554) ได้แสดงให้เห็นว่าไขมันโคมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลลัพธ์ที่ได้มีร้อยละเมทิลเอสเทอร์ระหว่าง 62.77-93.27 เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลระหว่าง 6:1-15:1 โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ระหว่าง 0.75-2% โดยน้ำหนักของไขมัน และเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 30-60 นาที ข้อจำกัดที่สำคัญของงานวิจัยดังกล่าวคือ เปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากงานวิจัยยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน EN14214 ซึ่งระบุให้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ในน้ำมันไบโอดีเซลต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 96.5% (กรมธุรกิจพลังงาน, 2552b) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในน้ำมันเริ่มต้นมีปริมาณกรดไขมันอิสระเกิน 0.5% ซึ่งอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ธีรยุทธ์, 2551) ด้วยเหตุนี้โครงการพิเศษจึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการเพิ่มผลผลิตไบโอดีเซลให้สูงขึ้น โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสองขั้นตอน

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคเจียว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคเจียว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ไขมันโคที่ใช้ในการศึกษาเป็นไขมันโคที่ซื้อได้จากตลาดสด
2. การสกัดน้ำมันจากไขมันโคด้วยวิธีการเจียว (rendering) ที่อุณหภูมิ 70 °C
3. การศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ได้จากการเจียวไขมันโค โดยสมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ความชื้น (Moisture) ค่าความเป็นกรด (acid values) ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids) และปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (Fatty Acid Composition)
4. การผลิตไบโอดีเซลจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ส่วนขั้นตอนที่ 2 ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

5. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโค จะทำการศึกษาเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลในขั้นตอนที่ 1 โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่

- ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1, 2 และ 3 % โดยน้ำหนักของน้ำมัน
- อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 45, 55, 60 และ 65 °C
- เวลาในการทำปฏิกิริยา 10, 20, 40 และ 60 นาที
- อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอล:น้ำมัน 6:1, 10:1 และ 20:1

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 จะถูกนำไปทำปฏิกิริยาต่อในขั้นตอนที่ 2 โดยใช้สภาวะการทดลองของ Dias *et al.* (2008) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน = 6:1
- อุณหภูมิ = 65 °C
- KOH = 1 % โดยน้ำหนัก
- เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา = 60 นาที

6. การวิเคราะห์ สรุปผล และจัดทำรายงาน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากไขมันโค โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน
2. ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคเจียว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

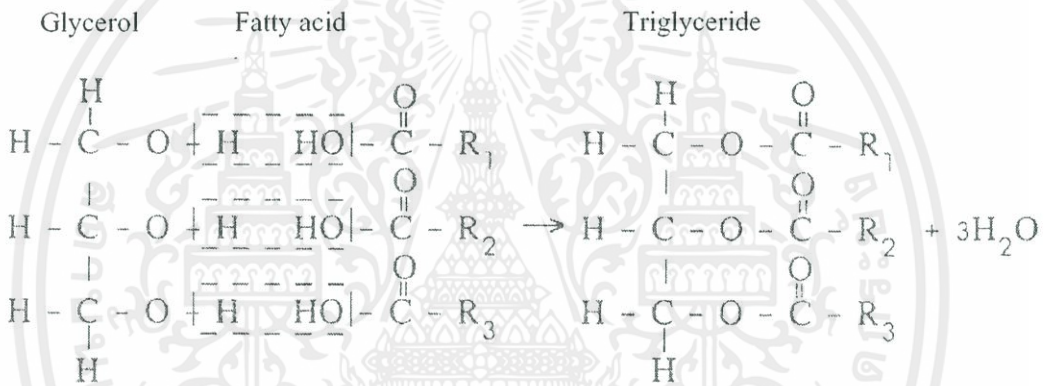
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมัน (fats and oils) เป็นลิพิดกลุ่มใหญ่ที่พบในธรรมชาติได้ทั่วไปทั้งในพืชและสัตว์จากการแบ่งตามโครงสร้างทางเคมี ไขมันและน้ำมันจัดเป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกเอสเทอร์ในกลุ่มไขมันธรรมดา (simple lipid) โดยเกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกลีเซอรอล (glycerol) กับกรดอินทรีย์ประเภทกรดไขมันดังรูปที่ 2.1 ได้สารประกอบเอซิลกลีเซอรอล หรือกลีเซอไรด์ (glycerides) มีทั้ง โมโน- ได- และไตรกลีเซอไรด์ ในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์เกือบทั้งหมด (ภูธร, 2548)



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันที่พบทั่วไปในพืชและสัตว์เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) 90 - 98 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือจะเป็นไดกลีเซอไรด์ (Diglycerides) โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglycerides) กรดไขมันอิสระ (Free fatty acids) ฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ซัลเฟอร์ (Sulphur) โทคอเฟอรอล (Tocopherols) ฟอสฟาไทด์ (Phosphatides) คาร์โรทีน (Carotenes) และน้ำอีกเล็กน้อย (Srivastava and Prasad, 2000 อ้างถึงใน ภูธร, 2548) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไขมันมักขึ้นกับคุณสมบัติของกรดไขมันองค์ประกอบ โดยไขมัน (fats) จะมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่และมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่น้ำมัน (oils) มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนมากและเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (ภูธร, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กรดไขมัน (Fatty Acids)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ (straight chain aliphatic monocarboxylic acid) มีสูตรโมเลกุลเป็น R-COOH โดย R-คือ หมู่แอลคิล (alkyl) หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ในโมเลกุลของกรดไขมันนั้นมีสมบัติไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) จึงทำให้กรดไขมันสามารถแตกตัวออกได้เป็นประจุลบ (anionic carboxylate) และหมู่ R- มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ซึ่งชอบที่จะละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีโพลาร์ จึงทำให้โมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งที่ละลายได้ในน้ำและน้ำมัน

กรดไขมันในธรรมชาติ จะพบเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในไขมันน้ำมันและฟอสโฟกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ที่พบอยู่ในรูปของกรดไขมันอิสระมีน้อยมาก การสังเคราะห์กรดไขมันในสิ่งมีชีวิตมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่อะซิติก ซึ่งมีคาร์บอนในโมเลกุล 2 อะตอม มาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น จึงทำให้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมัน มีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ เรียกกรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acids) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 อัน หรือมากกว่า 1 อัน เรียกว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids)

2.2.1. กรดไขมันชนิดอิ่มตัว

กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงไม่สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมได้อีก กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุดคือ กรดบิวทริก (คาร์บอน 4 อะตอม) เป็นกรดไขมันที่ละลายได้ดีในน้ำและระเหยได้ง่าย กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 6-10 อะตอม ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อยและยังระเหยได้ ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไปไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้พบว่ากรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลต่ำกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (นิธิยา, 2548) ตารางที่ 2.1 แสดงกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลเป็นเลขคู่และเลขคี่

ตารางที่ 2.1 กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่และเลขคี่

ชื่อทางเคมี	ชื่อสามัญ	สูตรเคมี	การเขียนย่อ
กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่			
n-Butanoic	กรดบิวทริก (Butyric acid)	$CH_3(CH_2)_2COOH$	4 : 0
n-Hexanoic	กรดคาโปรอิก (Caproic acid)	$CH_3(CH_2)_4COOH$	6 : 0
n-Octanoic	กรดคาไพริลิก (Caprylic acid)	$CH_3(CH_2)_6COOH$	8 : 0

ชื่อทางเคมี	ชื่อสามัญ	สูตรเคมี	การเขียนย่อ
n-Decanoic	กรดคาพริก (Capric acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	10 : 0
n-Dodecanoic	กรดลอริก (Lauric acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	12 : 0
n-Tetradecanoic	กรดไมริสติก (Myristic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	14 : 0
n-Hexadecanoic	กรดปาล์มิติก (Palmitic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	16 : 0
n-Octadecanoic	กรดสเตียริก (Stearic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	18 : 0
n-Eicosanoic	กรดอะราคิติก (Arachidic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	20 : 0
n-Docosanoic	กรดบีฮีนิก (Behenic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	22 : 0
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่			
n-Pentanoic	กรดวาเลอริก (Valeric acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	5 : 0
n-Heptanoic	กรดอีแนนทิก (Enanthic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$	7 : 0
n-Nonanoic	กรดพีลาร์โกนิก (Pelargonic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	9 : 0
n-Undecanoic	-	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	11 : 0
n-Tridecanoic	-	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	13 : 0
n-Pentadecanoic	-	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$	15 : 0
n-Heptadecanoic	กรดมาร์การิก (Margaric acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{COOH}$	17 : 0

ที่มา : Deman, 1992 (อ้างถึงใน นิธิยา, 2548)

2.2.2. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

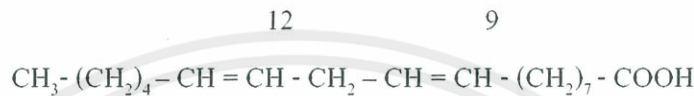
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนในโมเลกุลบางตำแหน่งและมีการเรียงตัวเป็น cis-configuration (นิธิยา, 2548) การที่มีพันธะคู่ใน โมเลกุลทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้อีก กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามจำนวนของพันธะคู่ได้ดังนี้

Monounsaturated (Monoethenoid) Fatty Acids (MUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 อัน มีสูตรทางเคมีทั่วไปเป็น $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{COOH}$ ตัวอย่างเช่น กรดโอเลอิก (oleic acid, $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$) กรดปาล์มิโตเลอิก (palmitoleic acid, $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$) กรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้พบได้ในน้ำมันต่างๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

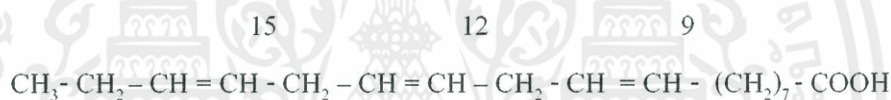
Polyunsaturated (Polyethenoid) Fatty Acids (PUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 อัน ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18 -22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2-6 อัน พบมากในน้ำมันพืชและน้ำมันปลา

ก. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 อัน มีสูตรทางเคมีทั่วไปเป็น $C_nH_{2n-3}COOH$ เช่น กรดลิโนเลนิกที่พบมากในน้ำมันพืชเช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันงา น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 12 มีสูตรดังนี้



9,12-octadecadienoic acid (18:2)

ข. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่สามอัน มีสูตรทางเคมีทั่วไปเป็น $C_nH_{2n-5}COOH$ เช่น กรดลิโนเลนิกที่พบมากที่สุดคือน้ำมันถั่วเหลือง มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9, 12 และ 15 มีสูตรดังนี้



9,12,15-octadecatrienoic acid (18:3)

ค. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 4 อัน มีสูตรทางเคมีทั่วไปเป็น $C_nH_{2n-7}COOH$ เช่น กรดอะราคิโดนิคที่พบมากในน้ำมันตับปลา และน้ำมันจากปลาทะเลต่างๆ มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 20 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5, 8, 11 และ 14 มีสูตรดังนี้



5,8,11,14 -eicosatetraenoic acid (20:4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 กรดไขมันในอาหาร

กรดไขมันที่พบในอาหารจะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 4-24 อะตอม ส่วนกรดไขมันที่พบมากในร่างกายคนมีจำนวนคาร์บอน 16-20 อะตอม ชนิดและปริมาณของกรดไขมัน ที่เป็นองค์ประกอบโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่พบในอาหาร และลิปิดที่พบในร่างกายคนดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันและน้ำมันที่มาจากสัตว์และพืช

ชนิด	ชนิดของกรดไขมันและสัดส่วนที่พบ (เปอร์เซ็นต์)		
	กรดไขมันชนิดอิ่มตัว	กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว	
		พันธะคู่ 1 อัน	มีพันธะคู่ตั้งแต่ 2 อันขึ้นไป
<i>ไขมันสัตว์</i>			
ปลา	28	29	43
ไก่	40	38	22
หมู	40	46	14
วัว	54	44	2
เนย	59	37	4
<i>น้ำมันพืช</i>			
ดอกคำฝอย	11	11	78
เมล็ดทานตะวัน	12	18	70
ข้าวโพด	14	26	60
งา	14	43	43
ถั่วเหลือง	15	27	58
ถั่วลิสง	20	45	35
เมล็ดฝ้าย	29	19	52
มะพร้าว	86	12	2
เนยเทียม	20	48	32

ที่มา : Cori, 1996 (อ้างถึงใน นิธิยา, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ไขมันเป็นอาหารให้พลังงานที่สำคัญ และยังเป็นตัวละลายวิตามินที่สำคัญ ได้แก่วิตามิน A, D, E, K และแคโรทีนอยด์ ให้เข้าสู่ร่างกายได้สะดวก หากร่างกายได้ไขมันซึ่งเผาผลาญพลังงานได้มากถึง 35% ของพลังงานทั้งหมดแล้ว พบว่าร่างกายมีแนวโน้มจะเกิดภาวะมีแคลอรีสะสมมาก

ในอีกทางหนึ่ง หากบริโภคไขมันเข้าไปน้อยเกินไป คือไปเผาผลาญพลังงานได้ไม่ถึง 20% ของพลังงานที่ต้องการทั้งหมด ก็พบว่าร่างกายอาจจะขาดวิตามินที่ละลายในไขมัน และอาจมีสัดส่วนของไขมันชนิดดี (HDL) ในร่างกายลดลง ดังนั้น การบริโภคไขมันจึงต้องมีปริมาณที่พอดี และต้องรู้จักเลือกชนิดของไขมันที่จะบริโภคด้วย วงการแพทย์ทราบมานานแล้วว่าไขมันอิ่มตัว เมื่อกินเข้าไปแล้วจะไปเพิ่มโคเลสเตอรอลชนิดเลว (LDL) ในร่างกาย และทราบว่ามีความแตกต่างในระหว่างไขมันอิ่มตัวแต่ละชนิดด้วย ตัวที่เพิ่ม LDL ได้มากคือกรดปาล์มิติก (palmitic acid) ซึ่งมีมากในนม เนื้อ และน้ำมันปาล์ม ขณะที่ไขมันอิ่มตัวบางชนิดเช่นกรดสเตียริก (Stearic acid) ที่ได้จากสัตว์และพืชหลายชนิด จะเปลี่ยนตัวเองเป็นกรดโอเลอิกในร่างกายโดยไม่เพิ่มโคเลสเตอรอลชนิดเลวในเลือด (Grundy SM, 1988 อ้างถึงใน สันต์, 2552)

2.3 ไขมันโค (Beef tallow)

ไขมันโค หมายถึง ส่วนของเนื้อเยื่อไขมันที่แทรกอยู่ตามอวัยวะและกล้ามเนื้อของสัตว์ในตระกูล *Bos Taurus* เช่น โคนหรือโคขุน เนื้อเยื่อไขมันเหล่านี้เกิดจากสัตว์ได้พลังงานจากอาหารเกินกว่าที่ร่างกายต้องการใช้ จึงสะสมไว้ในลักษณะของไขมันตามอวัยวะและเนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกาย ปริมาณไขมันในเนื้อโคมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์ ชนิดของพันธุ์ อาหารและวิธีการเลี้ยง (ฉัตร.ม.ป.ป.) ไขมันในส่วนนี้มักพบเป็นส่วนที่เหลือจากการตัดแต่งชิ้นเนื้อของโค ซึ่งเมื่อนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กและบางและนำไปผ่านการสกัดด้วยความร้อนหรือวิธีทางเคมีโดยใช้ตัวทำละลาย จะทำให้เซลล์ไขมันแตก และมีน้ำมันไหลออกมา ไขมันโคมีทั้งชนิดที่ดีและไม่ดี ไขมันโคชนิดดีที่เรียกว่า Premier jus เป็นไขมันที่ใช้บริโภคเป็นน้ำมันทอด น้ำมันอบ หรือใช้ทำเนยเทียม ส่วนไขมันที่ด้อยคุณภาพจะมีสีเหลืองเรื่อและค่อนข้างมีกลิ่น มักจะใช้ในอุตสาหกรรมทำสบู่ เทียนไข ใช้ผสมกับน้ำมันหล่อลื่นหรือใช้เป็นสารตกแต่งหนังสัตว์ (บุญรอด, 2554)

ไขมันจากโคประกอบด้วยกลีเซอไรด์ (Glycerides) ของกรดไขมันทั้งแบบอิ่มตัว (Saturated fatty acids) และไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยชนิดของกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือ กรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบจำพวก Cholesterol กรด Arachidonic Elaidic และ Vaccenic อยู่เพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ชนิดของกรดไขมันสำคัญบางตัวในไขมันสัตว์

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน พันธะคู่	สัตว์เคี้ยวเอื้อง		สัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์อื่นๆ		
		นม	เนื้อ	เนื้อหมู	สัตว์ปีก	ไข่
ชนิดอิ่มตัว						
Lower	C ₀ – C ₁₂	11	-	-	-	-
Myristic	14:0	12	3	1	1	1
Palmitic	16:0	31	26	25	25	23
Stearic	18:0	11	14	14	4	4
ชนิดไม่อิ่มตัว						
Palmioleic	16:1	4	3	3	7	5
Oleic	18:1	24	47	47	43	47
Linoleic	18:2	3	3	8	18	16
Linolenic	18:3	1	1	-	-	2
อื่นๆ	-	3	3	2	2	2

ที่มา : Bitman, 1974 (อ้างถึงใน บุญรอด, 2554)

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไขมันโค ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไขมันโคเทียบกับไขมันและน้ำมันชนิดอื่นๆ

สมบัติ	หน่วย	ไขมันโค	ไขมันหมู	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าว
จุดหลอมเหลว	°C	40-48	33-46	33-40	23-26
Titer	°C	40-47	34-42	40-47	20-24
ความถ่วงจำเพาะ ที่ 25°C	-	0.860-0.870	0.858-0.864	0.921-0.925	0.917-0.919
การหักเหของแสง ที่ 25°C	-	1.454-1.458	1.459-1.461	1.449-1.455	1.448-1.450

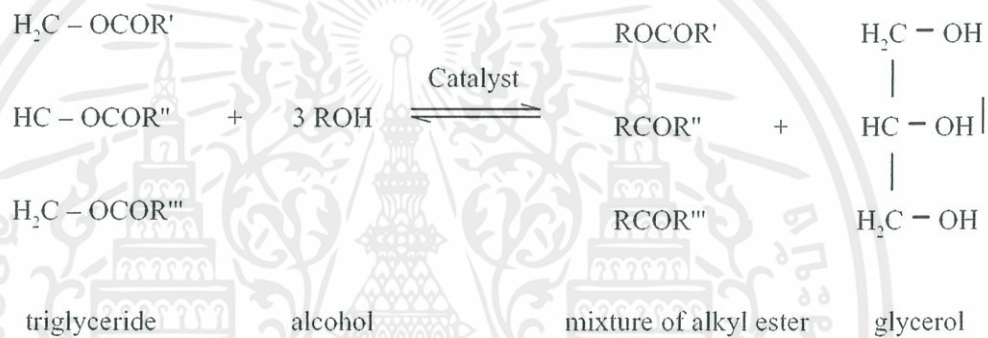
ที่มา : Pike, 1994 (อ้างถึงใน นิธิยา, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะเห็นได้ว่าจุดหลอมเหลวของไขมัน โคมีค่าสูงกว่า เมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดต่างๆ ค่าความถ่วงจำเพาะที่ 25°C ของไขมัน โคมีค่าต่ำกว่า เมื่อเทียบกับน้ำมันจากพืช เช่น น้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะนี้สามารถบอกความสามารถในการละลายของไขมันในน้ำ ค่าดัชนีการหักเหของแสง ที่ 25°C ของไขมัน โคมีค่าที่ใกล้เคียงกับน้ำมันชนิดอื่นๆ

2.4 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงจำพวกสารเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมัน/ไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ โดยมีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2551) นอกจากนี้ในปฏิกิริยายังเกิดกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นผลพลอยได้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทตามชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนี้คือ

1. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
4. กระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันทั้ง 4 ประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

คุณสมบัติในการทำ ปฏิกิริยา	ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล			
	กรดเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยา	เบสเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยา	เอนไซม์เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา	ตัวเร่งปฏิกิริยา แบบสองขั้นตอน
กรดไขมันอิสระในน้ำมัน พืช หรือสัตว์	เอสเทอร์	เกิดผลิตภัณฑ์ ที่ไม่ต้องการ	เอสเทอร์	เอสเทอร์
ปริมาณน้ำในน้ำมันพืชหรือ สัตว์	รบกวนการ เกิดปฏิกิริยา	รบกวนการ เกิดปฏิกิริยา	ไม่ส่งผลต่อ ปฏิกิริยา	รบกวนการ เกิดปฏิกิริยา
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C)	55-80	60-70	30-40	50-60
ปริมาณเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง	สูง
การแยกกลีเซอรอลออกจาก ผลิตภัณฑ์	ยาก	ยาก	ง่าย	ยาก
การแยกสารเพื่อทำให้ ผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์	ทำการแยก หลายขั้นตอน	ทำการแยก หลายขั้นตอน	ไม่ต้องมี	ทำการแยกหลาย ขั้นตอน
ราคาของผลิตภัณฑ์ที่ได้	ราคาถูก	ราคาถูก	ราคาแพง	ราคาถูก

หมายเหตุ : ตัวเร่งปฏิกิริยากรดต่อด้วยเบสจะนิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอน
ที่มา: ธีรยุทธ์ (2551)

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 ประเภท พบว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งเป็นปฏิกิริยาที่นิยมที่สุด เพราะเบสมีราคาถูก ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้น และให้ปริมาณอัลคิลเอสเทอร์ที่สูง แต่การใช้เบสเป็นตัวเร่งนั้นมีข้อจำกัดสำหรับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง เช่นน้ำมันจากสัตว์ เนื่องจากกรดไขมันอิสระในน้ำมันจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสบู่โดยปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ (Kusdiana and Saka, 2004 อ้างถึงใน จุฑาเกตุ, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการใช้ไขมันโคเจียวเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันก่อน ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลที่เหมาะสมกับน้ำมันโคโคน คือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนจะใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กรดที่นิยมใช้ได้แก่ กรดซัลฟิวริก กรดซัลโฟนิก และเบสที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเบสมีข้อดีข้อเสียต่างกันจึงมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกับน้ำมันจากไขมันสัตว์ที่มักจะมีกรดไขมันอิสระเป็นจำนวนมาก สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนในขั้นตอนแรก จะใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้เป็นเอสเทอร์ก่อน จากนั้นในขั้นตอนที่สอง จะใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จะเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นเอสเทอร์

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

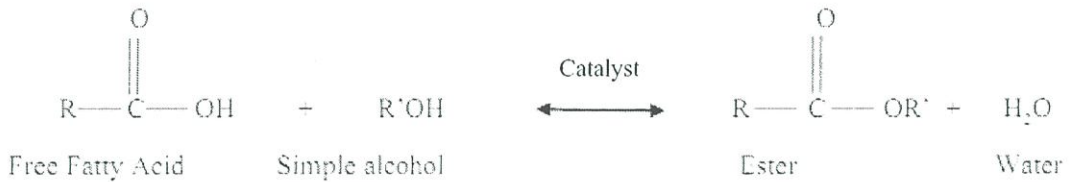
1. ปริมาณน้ำและกรดไขมันอิสระ

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส กลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้ควรปราศจากน้ำ เพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนั้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมัน

ไบโอดีเซลคือ ทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล ซึ่งยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย (ทัศนีย์, 2550)

กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบจัดเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันหรือเกิดสบู่ได้ ดังนั้นในการผลิตควรมีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เพราะการมีกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบจำพวกไขมันและน้ำมันที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง (Ramsdhas *et al.*, 2005) ถ้าวัตถุดิบมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของวัตถุดิบโดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid esterification) แสดงในรูป 2.3 แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ (Ramadhas., *et al.*, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

2. อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไป เพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน ซึ่งสัดส่วนที่ใช้ในปฏิกิริยา คือ 3 โมลของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นถ้าอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์มากขึ้น จะทำให้ได้เอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นภายในเวลาที่สั้นลง (Fukuda *et al.*, 2001)

3. ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยามีหลายชนิด แบ่งได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด หรือเอนไซม์ ซึ่งกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่ง อย่างไรก็ตาม การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมในกรณีที่กลีเซอไรด์มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ด้วย (Ma and Hanna, 1999) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสพบว่าที่ความเข้มข้น 0.5 – 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ อยู่ระหว่าง 94 – 99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบสไม่ได้เป็นการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์ (Agarwal, 2007)

4. เวลาในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา คือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามาก ก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้น (Meher *et al.*, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน สามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ขึ้นกับชนิด แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าใช้เมทานอลในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้คือ 60-70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ

6. อัตราการกวนผสม

การกวนผสม ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพราะน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้น ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับ แอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกัน ซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยากันอย่างสมบูรณ์ (Meher *et al.*, 2004)

2.5 ข้อกำหนดและมาตรฐานวิธีการทดสอบไบโอดีเซล

ข้อกำหนดและมาตรฐานวิธีการทดสอบไบโอดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 2.6 พบว่าวิธีการตรวจสอบคุณภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปที่เป็นข้อกำหนดคุณภาพที่ดีของน้ำมัน ได้แก่

ค่าความหนาแน่น (density) ความหนืด (viscosity) จุดวาบไฟ (flash point) ปริมาณกำมะถัน (sulfur) ปริมาณกากถ่าน (carbon residue) จำนวนซีเทน (cetane number) ปริมาณซัลเฟต (sulfate) ปริมาณน้ำ (water) สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (total contaminants) การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (copper strip corrosion) ค่าความเป็นกรด (Acid number) และปริมาณโลหะอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ทที่ปนเปื้อน (Alkaline metals and alkaline earth)

2.5.2 การตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะทางของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่

1. ปริมาณเมทิลเอสเทอร์และกรดลิโนเลนิกเมทิลแอลกอฮอล์ (สัดส่วนของปริมาณกรดลิโนเลนิก เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันทั้งหมด) ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ใช้

2. ปริมาณเมทานอล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ และกลีเซอรินทั้งหมด ซึ่งกำหนดเกณฑ์ให้มีปริมาณสารเหล่านี้อยู่ในปริมาณน้อย เพราะเป็นการบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชและสัตว์กับเมทานอลและมีกระบวนการแยกกลีเซอรินที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกไปได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพและการเกษตร ไม่ว่ากรณีใด ๆ ก็ตาม

3. การมีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และค่าไอโอดีน เนื่องจากไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันพืชจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพการเก็บ (ธีรยุทธ์, 2551)

ตารางที่ 2.6 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ	
		ไม่ต่ำกว่า	ไม่สูงกว่า		
1	เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (% wt.)	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ (Density at 15°C)	กิโลกรัม/ลูกบาศก์ เมตร (Kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ (Viscosity at 40°C)	เซนติสโตกส์ (cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ (Flash Point)	องศาเซลเซียส (°C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5	กำมะถัน (Sulphur)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D2622
6	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือ จากการกลั่น) (Carbon Residue, on 10 % distillation residue)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)		ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
8	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำ (Water)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.050	EN ISO 12937
10	สิ่งเจือปนทั้งหมด (Total Contaminante)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0024	ASTM D2622
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)		ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °ซ (Oxidation Stability at 110°C)	ชั่วโมง	ไม่ต่ำกว่า	10	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด (Acid Value)	(mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน (Iodine Value)	กรัมไอโอดีน /100กรัม	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนลินิกเมทิลเอสเทอร์ (Linolenic Acid Methyl Ester)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล (Methanol)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
18	ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่มที่ 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) (Group I metals (Na+K))	มิลลิกรัม/กิโลกรัม (mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14105และ EN 14109
	โลหะกลุ่มที่ 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (Group II metals (Ca+Mg))	มิลลิกรัม/กิโลกรัม (mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	pr EN 14538
23	ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิการบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

ที่มา : ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน (2552b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรยุทธ์ ธรรมวิจิตร (2551)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ใช้ไอออน (III) เพนทาไฮเดรทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ส่วนขั้นตอนที่ 2 ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบ One variable at a time ในขั้นตอนที่ 1 ส่วนในขั้นตอนที่ 2 ได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบ One variable at a time และแบบ Box-Behnken โดยปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ One variable at a time คือขั้นตอนแรกให้ความเข้มข้นของไอออน(III) ซัลเฟตเพนทาไฮเดรท 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 20 นาที ขั้นตอนที่สอง ให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 30 นาที ได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 96.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้การออกแบบ แบบ Box-Behnken ในขั้นตอนที่ 2 แทนการใช้ One variable at a time พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 7.36:1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวให้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 97.7 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ พบว่าแบบจำลองแบบ Full Quadratic ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 84 เปอร์เซ็นต์ และ 3:127 ตามลำดับ มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาเป็นแบบจำลองเพื่ออธิบายผลการทดลอง เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละตัวแปรในแบบจำลอง Full Quadratic พบว่า อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มากที่สุดทั้งในรูปของ Linear terms และ Square terms ส่วนตัวแปรใน Interaction terms ไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ นอกจากการทดลองคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ พบว่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าความหนืด จุดวาบไฟ จุดหมอกควัน จุดไหลเท และค่าความเป็นกรด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM 6751

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2551)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 1.01 เปอร์เซ็นต์ จึงเหมาะกับการใช้กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันอิสระกับเมทานอล จนปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และขั้นตอนที่สองเป็นการนำผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนแรกมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลต่อโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ MINITAB ในการออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการศึกษาลักษณะพื้นผิวตอบสนอง (RSM) จากผลการทดลอง พบว่าในการทำปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอน แบบจำลอง Full Quadratic สามารถพยากรณ์เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้หลักทางสถิติ ได้แก่ ขั้นตอนแรก ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน เท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที ส่วนในขั้นตอนที่สอง ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนแรก เท่ากับ 9.09:1 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที จากสภาวะดังกล่าว พบว่าได้ผลของเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 90.56 เปอร์เซ็นต์ โดยไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีคุณสมบัติที่ผ่านตามาตรฐานของข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์เกษตร จึงสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์การเกษตรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทัศนีย์ สวัสดิ์พาณิชย์ (2550)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสุญุดำด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งได้นำเอาการออกแบบแบบ Box-Behnken มาใช้ในการออกแบบการทดลองมีทั้งหมด 27 การทดลองโดยปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาคือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน (3:1-9:1) อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา (30-60 องศาเซลเซียส) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (60-120 นาที) ผลการทดลองทั้ง 27 การทดลองถูกนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยโปรแกรม MINITAB เพื่อหารูปแบบจำลองที่เหมาะสมที่สามารถอธิบายผลร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ด้วยปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยที่เลือกทำการศึกษ พบว่าแบบจำลองแบบ Full Quadratic มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาเป็นแบบจำลองเพื่ออธิบายผลการทดลองโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้วและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 92.1 เปอร์เซ็นต์และ 2.226 ตามลำดับ วิธีการ Response Surface Regression ถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละตัวแปรในแบบจำลอง Full Quadratic โดยพิจารณาจากค่าตัวสถิติ t หรือ ค่า P-value จากการใช้โปรแกรมวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมโดยกำหนดค่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเป็น 98.0 เปอร์เซ็นต์ และค่า Weight เป็น 0.1 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6.9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยทำการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว พบว่า มีค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส 4.53 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อวินาที จุดวาบไฟ 197 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด 0.388 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ซึ่งมีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน EN 14214

Issariyakul et al (2006)

ทำการศึกษารื่องการผลิตไบโอดีเซลจากกากไขมันที่เหลือทิ้งจากการทอด (waste fryer grease) ซึ่งมีกรดไขมันอิสระ (FFA) ในปริมาณ 5-6 %โดยน้ำหนัก โดยใช้ปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนคือ เอสเทอร์ฟิเคชันร่วมกับทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดของแอลกอฮอล์ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:6 และมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งจากการศึกษาพบว่า การทำปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนโดยใช้กรดและด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้เอสเทอร์มากกว่าการใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว (90% เทียบกับ 50% ตามลำดับ) ส่วนชนิดของแอลกอฮอล์เปรียบเทียบระหว่างเมทานอล เอทานอล และสารผสมระหว่างเมทานอลกับเอทานอลแทบไม่มีผลต่อสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ ยกเว้นกรณีของ

cloud point และ pour point โดยเอทานอลจะให้ผลผลิตที่มีค่าทั้งสองต่ำกว่า ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐาน ASTM D6751-02

Guru et al (2009)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการผลิตไตรเมทิลเอสเทอร์(ไบโอดีเซล)จากกากไขมันสัตว์ โดยใช้เมทานอลทำปฏิกิริยากับกากไขมันสัตว์และใช้กรดซัลฟิวริกร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมทิลเอสเทอร์ที่ได้นำมาล้างและปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต โดยใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อลดความเป็นกรดของเมทิลเอสเทอร์ ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณเมทานอล ชนิดและปริมาณของตัวเร่ง พบว่าที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส จะให้เปอร์เซ็นต์การผลิตสูงที่สุด และจะค่อยๆลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ในขณะที่จะต้องใช้ปริมาณเมทานอลรวมทั้งสองขั้นตอนเท่ากับ 0.35 โดยน้ำหนัก (เมทานอลต่อไขมัน) และใช้กรดซัลฟิวริกในอัตราส่วน 0.08 โดยน้ำหนัก (กรดซัลฟิวริกต่อไขมัน) จะถูกนำไปใช้เปลี่ยนกรดไขมันอิสระเป็นเอสเทอร์ในขั้นแรก และอัตราส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อไขมันโดยน้ำหนักเท่ากับ 0.01 จะทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ในการสกัดน้ำมันจากไขมันโค
 - 1.1 เตาแก๊ส (Gas stove)
 - 1.2 ผ้าขาวบาง (Filter Cloth)
2. อุปกรณ์สำหรับผลิตไบโอดีเซล
 - 2.1 เครื่องให้ความร้อนและกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก รุ่น C-MAG HS7 (Stirrer Hotplates)
บริษัท Thai Pure Science Co., Ltd.
 - 2.2 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น ED224S บริษัท Sartorius
 - 2.3 กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (Universal paper)
 - 2.4 เครื่องกรองลดความดัน (Filtration pressure)
 - 2.5 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
 - 2.6 ขวดก้นกลมสามคอ (3-neck round-bottomed flask)
 - 2.7 เครื่องควบแน่น (Condenser)
 - 2.8 กรวยแยก (Separatory funnel)
 - 2.9 แท่งแม่เหล็ก (Magnet)
 - 2.10 เครื่องแก้วต่างๆ (Glassware)
 - 2.11 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
 - 2.12 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Contact Thermometers)
บริษัท ไอทีเอส (ไทยแลนด์) จำกัด
 - 2.13 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 2 (Filter paper)
 - 2.14 ขาตั้ง+ที่จับคอนเดนเซอร์+ห่วงเหล็ก (Stand+ Clamp+ Iron ring)
 - 2.15 อ่างน้ำร้อน (Water bath)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์
 - 3.1 หลอด NMR ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร
 - 3.2 เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ BRUKER รุ่น Avance DPX 300 ด้วยความถี่ 300 เมกะเฮิรตซ์ สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ปรากฏตำแหน่งสัญญาณของ CHCl_3 ที่ δ 7.25 ppm

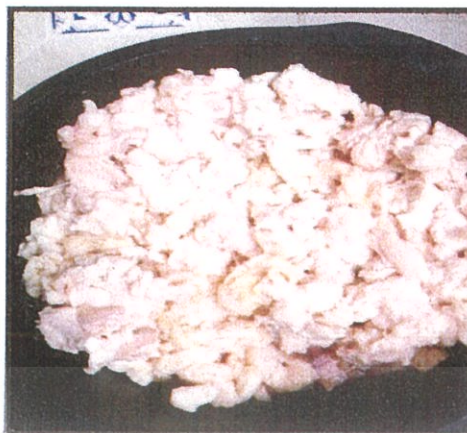
3.1.2 สารเคมี

1. สารเคมีสำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน
 - 1.1 ไชมันโค
 - 1.2 เมทานอล 99.99 เปอร์เซ็นต์ (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba)
 - 1.3 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 98 เปอร์เซ็นต์ (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Labscan Asia Co., Ltd.)
 - 1.4 โซเดียมซัลเฟต 99 เปอร์เซ็นต์ (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba)
 - 1.5 กรดซัลฟิวริก 96 เปอร์เซ็นต์ (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba)
 - 1.6 ถ่านกัมมันต์
2. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์
 - 2.1 กลอโรฟอร์ม
3. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด
 - 3.1 ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific, UK Co., Ltd)
 - 3.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N
 - 3.3 ฟีนอล์ฟทาเลิน (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba)
 - 3.4 โทลูอีน

3.2 การเตรียมน้ำมันจากไชมันโค

ไชมันที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นไชมันโคที่ซื้อได้ตลาดสดหนองจอก โดยนำมาหั่นเป็นชิ้นดังแสดงในรูปที่ 3.1 แล้วสกัดน้ำมัน โดยวิธีการเจียว (Rendering) ซึ่งใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ เจียวนาน 30 นาที จากนั้นกรองน้ำมันที่ได้ด้วยผ้าขาวบางแล้ววัดปริมาณน้ำมัน โคนและกาก แล้วเก็บน้ำมันโคด้วยภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อไม่ให้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เก็บรักษาในตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ไขมันโคหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ

3.3 การศึกษาสมบัติของน้ำมันจากไขมันโค

น้ำมันที่เตรียมได้ในข้อ 3.2 จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันโค

สมบัติ	หน่วยวัด	วิธีวิเคราะห์
ความชื้น (moisture)	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C และชั่งน้ำหนัก
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA)	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ASTM D664
ค่าความเป็นกรด (acid values)	มิลลิกรัม KOH/ กรัม	ASTM D664
ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (fatty acid composition)	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	AOAC(2005) 996.06 (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย)

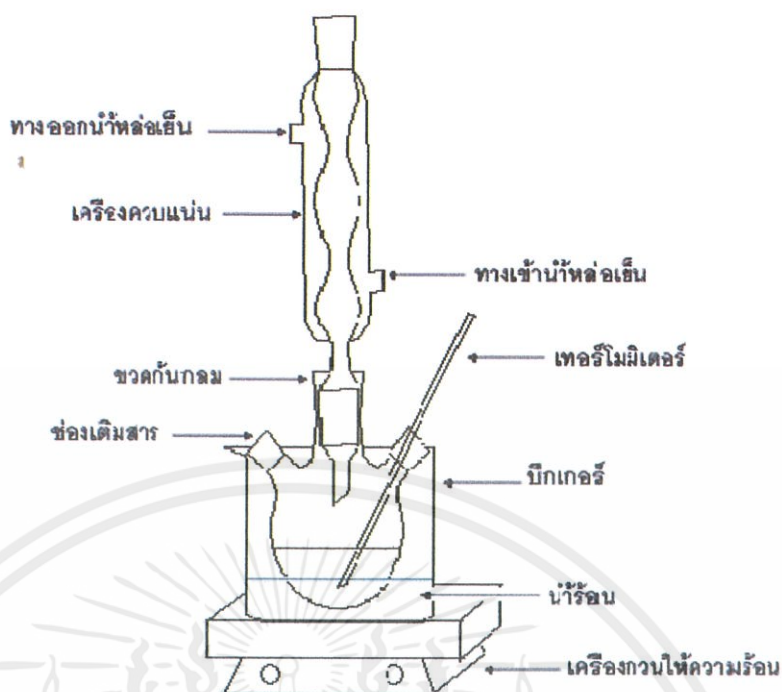
3.4 การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

3.4.1 ขั้นตอนที่ 1 การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด

1. ชั่งไขมันในข้อ 3.2 มา 100 กรัม นำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 60 °C ประมาณ 10 นาที แล้วใส่ลงในขวดก้นกลมสามคอ

2. ติดตั้งอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์โดยต่อขวดก้นกลมสามคอที่มีน้ำมันอยู่เข้ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 คอนเดนเซอร์ดังรูปที่ 3.2
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอไอโอดีน

3. เตรียมเมทานอลตามอัตราส่วน โดยโมลที่กำหนดไว้ (ดูรายละเอียดวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก-5)
4. ตวงกรดซัลฟิวริกตามที่ต้องการและนำไปละลายในเมทานอลที่เตรียมไว้ในข้อ 3 จนเป็นเนื้อเดียวกัน (ดูรายละเอียดวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก-6)
5. เทสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 4 ลงไปในขวดเก็บกลม ทำการกวนผสมด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที และเริ่มจับเวลา
6. ทำการรีฟลักซ์ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด
7. เมื่อทำปฏิกิริยาจนครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ ให้เทผลิตภัณฑ์ลงในกรวยแยก ค้างทิ้งไว้ 10 นาที (ตั้งกรวยแยกไว้ในบีกเกอร์ที่มีน้ำคัมที่ $T=60$ องศาเซลเซียส เพื่อหลอมไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแข็งตัว)
8. ทำการไขผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านล่างออก เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและนำไปทำปฏิกิริยาต่อในขั้นตอนที่สอง โดยเลือกใช้สภาวะการทดลองของ *Dias et al.* (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ขั้นตอนที่ 2 การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส

1. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาชั่งน้ำหนัก แล้วใส่ลงในขวดก้นกลมสามคอ
2. ติดตั้งอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์โดยต่อขวดก้นกลมสามคอที่มีน้ำมันอยู่เข้ากับคอนเดนเซอร์ดังรูปที่ 3.2 นำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 65 °C ประมาณ 10 นาที
3. เตรียมเมทานอลตามอัตราส่วน โดยโมลต่อน้ำมันเป็น 6:1
4. ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และนำไปละลายในเมทานอลที่เตรียมไว้ในข้อ 3 จนเป็นเนื้อเดียวกัน
5. เทสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 4 ลงไปในขวดก้นกลมที่อุ่นน้ำมันไว้ในข้อ 2 ทำการกวนผสมด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที และเริ่มจับเวลา
6. ทำการรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 60 นาที
7. เมื่อทำปฏิกิริยาจนครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ ให้เทผลิตภัณฑ์ลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 15 ชั่วโมง
8. ไซแยกกลีเซอรอลที่อยู่ชั้นล่างออก ให้เหลือแต่ด้านบนซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล
9. ล้างด้วยน้ำต้มที่อุณหภูมิประมาณ 70 °C จนกระทั่งน้ำที่ผ่านกระบวนการล้างมีค่าพีเอชเท่ากับตอนก่อนล้าง
10. เติมโซเดียมซัลเฟต 1 กรัมลงในไบโอดีเซล นำไปปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัดน้ำส่วนที่เหลืออยู่ แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 เพื่อแยกโซเดียมซัลเฟตออก
11. นำไบโอดีเซลที่ได้มาเติมถ่านกัมมันต์ 1 กรัม นำไปปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัด สารประกอบเชิงซ้อนที่ทำให้ไบโอดีเซลไม่บริสุทธิ์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 เพื่อแยกถ่านกัมมันต์ออก
12. นำไบโอดีเซลที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 60 นาที เพื่อระเหยเอทานอลและน้ำที่เหลืออยู่ออกให้หมด จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิต (ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก-7) วิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค ¹H Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy (¹H-NMR) (ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก-8) และนำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การศึกษาผลของความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก

น้ำมันที่เจียวได้จากขั้นตอน 3.2 มาผลิตไบโอดีเซลตามรายละเอียดวิธีการในข้อ 3.4 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดคือ กรดซัลฟิวริก จาก 1 เป็น 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะต่อไปนี้มีค่าคงที่ ได้แก่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันมีค่าเท่ากับ 20:1

3.6 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

น้ำมันที่เจียวได้จากขั้นตอน 3.2 มาผลิตไบโอดีเซลตามรายละเอียดวิธีการในข้อ 3.4 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ อุณหภูมิจาก 45 °C เป็น 55 °C เป็น 60 °C และ 65 °C ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะต่อไปนี้มีค่าคงที่ ได้แก่ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากขั้นตอน 3.5 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันมีค่าเท่ากับ 20:1

3.7 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

น้ำมันที่เจียวได้จากขั้นตอน 3.2 มาผลิตไบโอดีเซลตามรายละเอียดวิธีการในข้อ 3.4 โดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ เวลาจาก 10 เป็น 20 เป็น 40 และ 60 นาที ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะต่อไปนี้มีค่าคงที่ ได้แก่ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิที่เหมาะสมจากขั้นตอน 3.5 และ 3.6 โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันมีค่าเท่ากับ 20:1

3.8 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

น้ำมันที่เจียวได้จากขั้นตอน 3.2 มาผลิตไบโอดีเซลตามรายละเอียดวิธีการในข้อ 3.4 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันคือ อัตราส่วนจาก 6:1 เป็น 10:1 และ 20:1 ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะต่อไปนี้มีค่าคงที่ ได้แก่ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากขั้นตอน 3.5, 3.6 และ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบสองขั้นตอน โดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดในขั้นตอนที่ 1 เนื่องจากเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ธีรศักดิ์และเอกรัตน์, 2549 อ้างถึงใน จูฑาเกตุ, 2551) ส่วนขั้นตอนที่ 2 ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลในขั้นตอนที่ 1 ปัจจัยที่ทำการศึกษาหรือตัวแปรต้น ได้แก่ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา(C) อัตราส่วน โดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน (M) อุณหภูมิ (T) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (t) ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1 ผลการสกัดน้ำมันจากไขมันโค

จากการนำไขมันโค 1 กิโลกรัมมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ดังรูปที่ 4.1ก แล้วนำมาเจียวด้วยความร้อนนาน 30 นาที จะได้ส่วนที่เป็นน้ำมันประมาณ 0.81 ลิตร ลักษณะของน้ำมันที่เจียวได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1ข และได้ส่วนที่เป็นกาก 121.21 กรัม เมื่อคิดเป็นสัดส่วน โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเจียว จะได้น้ำมันและกากเท่ากับร้อยละ 87.88 และร้อยละ 12.12 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 ลักษณะไขมันโคเมื่อ (ก) หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และ (ข) น้ำมันที่เจียวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันจากไขมันโค

เมื่อนำน้ำมันจากไขมัน โคมาวิเคราะห์สมบัติและชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันโค

สมบัติ	หน่วยวัด	ผลการวิเคราะห์
ความชื้น (moisture)	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	0.0092 ±0.0002
ปริมาณกรดไขมันอิสระ(FFA)	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	0.36 ±0.006
ค่าความเป็นกรด (acid values)	มิลลิกรัม KOH/กรัม	0.79 ±0.01

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าน้ำมันจากไขมัน โคมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 0.0092 ±0.0002 % ซึ่งจัดเป็นค่าที่ต่ำ นอกจากนี้ยังมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 0.36 ±0.006 % คิดเป็นค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.79 ±0.01 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสมบูรณ์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว

ผลจากการตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันจากไขมัน โคโดยห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography) พบว่าน้ำมันจากไขมันโคประกอบด้วยกรดไขมันหลัก 3 ชนิดเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้คือ กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid; C16:0) กรดสเตียริก (stearic acid, C18:0) และกรดโอเลอิก (Oleic acid; C18:1) และในปริมาณ 31.91, 25.27 และ 24.30 กรัมต่อน้ำหนักไขมัน 100 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) และเมื่อคำนวณผลรวมของปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบพบว่ามีค่าสูงถึงร้อยละ 69.85 แสดงให้เห็นว่าไขมันโคมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงสอดคล้องกับการศึกษาของวันทนีย์ (2549) ที่รายงานว่าไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องเช่น โคมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสูงถึง 60-90% ทำให้น้ำมันโคไม่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภค เนื่องจากเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วจะส่งผลต่อไขมันในกระแสเลือด (วันทนีย์, 2549) รวมทั้งไปเพิ่มโคเลสเตอรอลชนิดเลว (LDL) ในร่างกาย ส่งผลให้เกิดโรคร้ายไข้เจ็บต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น (สันต์, 2552)

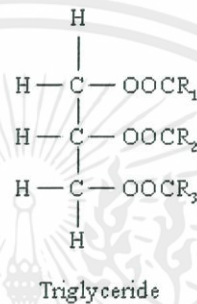
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันจากไขมันโค

Designation	ชื่อของกรดไขมัน	หน่วย	ค่าที่วัดได้
C8:0	Caprylic acid	g/100g	0.06
C12:0	Lauric acid	g/100g	0.39
C13:0	Tridecanoic acid	g/100g	0.02
C14:0	Myristic acid	g/100g	8.78
C14:1	Myristoleic acid	g/100g	0.68
C15:0	Pentadecanoic acid	g/100g	0.63
C15:1	Cis-10-Pentadecenoic acid	g/100g	0.17
C16:0	Palmitic acid	g/100g	32.74
C16:1 t9	Palmitelaidic methyl ester	g/100g	0.02
C16:1 n-7	Palmitoleic acid	g/100g	1.62
C17:0	Heptadecanoic acid	g/100g	1.16
C17:1	Cis-10-Heptadecenoic acid	g/100g	0.33
C18:0	Stearic acid	g/100g	25.93
C18:1 n-9	Cis-9-Octadecenoic acid	g/100g	24.93
C18:1 n-7	Cis-Vaccenic acid	g/100g	0.97
C18:2 n-6	Cis-9,12-Octadecadienoic acid	g/100g	0.79
C18:2t9t12	Trans-Octadecadienoic acid	g/100g	0.13
C18:3 n-3	Cis-9,12,15-Octadecatrienoic acid	g/100g	0.09
C18:3 n-6	Cis-6,9,12-Octadecatrienoic acid	g/100g	0.11
C18:4 n-3	Moroctic acid	g/100g	0.12
C20:0	Arachidic acid	g/100g	0.16
C20:1 n-9	Cis-11-Eicosenoic acid	g/100g	0.07
C20:2 n-6	Cis-11,14-Eicosadienoic acid	g/100g	0.02
C20:3 n-6	Cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid	g/100g	0.02
C22:0	Behenic acid	g/100g	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำข้อมูลปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันโค ไปคำนวณหาผลรวมโมเลกุลโดยเฉลี่ยของหมู่เอสเตอร์ของกรดไขมัน ซึ่งแสดงสัญลักษณ์โดยตัวอักษร R_1, R_2, R_3 ในรูปที่ 4.2 พบว่า R แต่ละตัวมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 223 g/mol ดังนั้น R ทั้ง 3 ตัวจึงมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 669 g/mol (ตารางที่ 4.3) และเมื่อนำไปรวมกับมวลโมเลกุลในส่วนหัวของ Triglyceride ซึ่ง 1 โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน (C) เท่ากับ 6 อะตอม ไฮโดรเจน (H) เท่ากับ 5 อะตอม และออกซิเจน (O) เท่ากับ 6 อะตอม (รูปที่ 4.2) จะได้น้ำมันจากไขมันโคมีมวลโมเลกุลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 842 g/mol



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของ Triglyceride

ตารางที่ 4.3 การคำนวณหาผลรวมโมเลกุลของน้ำมันจากไขมันโค

ชนิดกรดไขมัน	โครงสร้าง	มวลโมเลกุล	อัตราส่วน	ผลคูณ (มวลโมเลกุล และอัตราส่วน)
	R_1, R_2, R_3	R_1, R_2, R_3	(%)	
Caprylic acid	C_7H_{17}	101	0.06	0.0606
Lauric acid	$C_{11}H_{23}$	155	0.39	0.6045
Tridecanoic acid	$C_{12}H_{25}$	169	0.02	0.0338
Myristic acid	$C_{13}H_{27}$	183	8.78	16.0674
Myristoleic acid	$C_{17}H_{31}$	235	0.68	1.5980
Pentadecanoic acid	$C_{14}H_{29}$	197	0.63	1.2411
Cis-10-Pentadecenoic acid	$C_{15}H_{29}$	209	0.17	0.3553
Palmitic acid	$C_{15}H_{31}$	211	32.74	69.0814
Palmitelaidic methyl ester	$C_{16}H_{31}$	223	0.02	0.0446
Palmitoleic acid	$C_{15}H_{29}$	209	1.62	3.3858
Heptadecanoic acid	$C_{16}H_{33}$	225	1.16	2.6100
Cis-10-Heptadecenoic acid	$C_{16}H_{31}$	223	0.33	0.7359

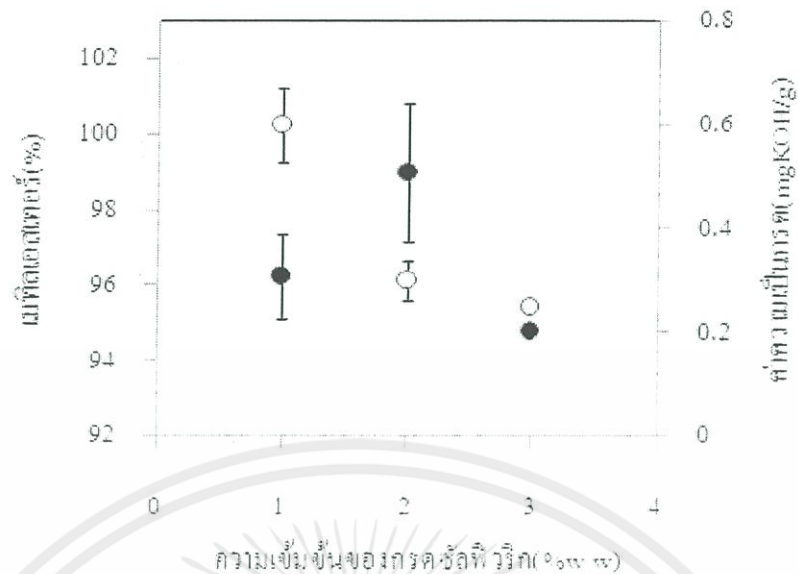
Stearic acid	$C_{17}H_{35}$	239	25.93	61.9727
Cis-9-Octadecenoic acid	$C_{17}H_{33}$	237	24.93	59.0841
Cis-Vaccenic acid	$C_{17}H_{33}$	237	0.97	2.2989
Cis-9,12-Octadecadienoic acid	$C_{17}H_{31}$	235	0.79	1.8565
Trans-Octadecadienoic acid	$C_{17}H_{31}$	235	0.13	0.3055
Cis-9,12,15-Octadecatrienoic acid	$C_{17}H_{29}$	233	0.09	0.2097
Cis-6,9,12-Octadecatrienoic acid	$C_{17}H_{29}$	233	0.11	0.2563
Moroctic acid	$C_{17}H_{27}$	231	0.12	0.2772
Arachidic acid	$C_{19}H_{39}$	267	0.16	0.4272
Cis-11-Eicosenoic acid	$C_{19}H_{37}$	265	0.07	0.1855
Cis-11,14-Eicosadienoic acid	$C_{19}H_{35}$	263	0.02	0.0526
Cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid	$C_{19}H_{33}$	261	0.02	0.0522
Behenic acid	$C_{21}H_{43}$	295	0.03	0.0885
มวลโมเลกุล				223

4.3 การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน

เนื่องจากในน้ำมันจากไขมัน โคยังมีกรดไขมันอิสระเป็นส่วนประกอบ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อค่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้จึงได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันให้เหมาะสมก่อน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดก่อนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส หรือที่เรียกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน เพื่อให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดได้อย่างสมบูรณ์ (Zullaikeh *et al.*, 2005 อ้างถึงใน ชีรยุทธ์, 2551) พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยต่างๆ ในขั้นตอนที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดที่มีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก

ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ทำปฏิกิริยาจาก 1 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันตามลำดับ กำหนดให้สภาวะอื่นๆ สำหรับปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 มีค่าคงที่ ได้แก่ อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 20:1 และขั้นตอนที่ 2 ใช้เวลา 60 นาที ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3



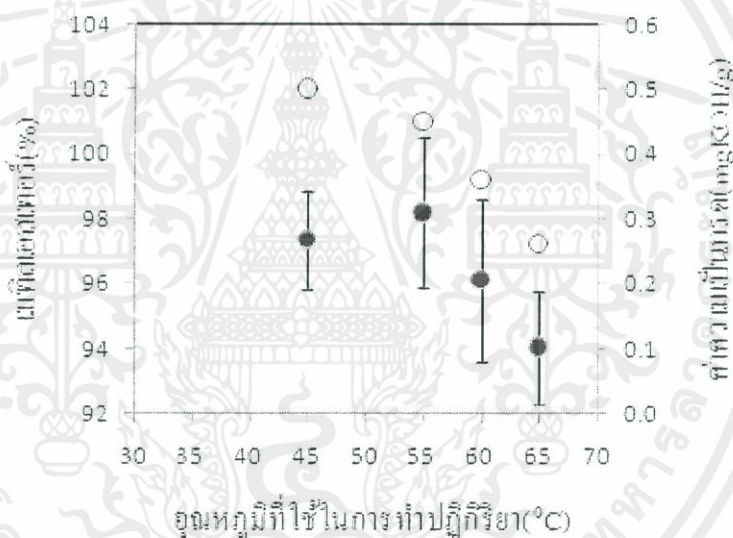
รูปที่ 4.3 ผลของความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (●) และค่าความเป็นกรด (○) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้

จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าลดลงจาก 0.60 เป็น 0.30 และ 0.25 mgKOH/g เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกจาก 1 เป็น 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติของน้ำมันเริ่มต้นได้ โดยกรดซัลฟิวริกจะไปช่วยเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันอิสระกับเมทานอล ทำให้กรดไขมันอิสระเปลี่ยนเป็นสารประกอบเอสเทอร์ (R-COO-R') ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์จึงมีค่าลดลง นอกจากนี้พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกจาก 1 เป็น 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ร้อยละเมทิลเอสเทอร์โดยเฉลี่ยในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 96.24 ± 1.92 , 98.99 ± 1.14 และ 94.77 ± 1.85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยการเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกจาก 1 เป็น 2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเป็น 3 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเมทิลเอสเทอร์กลับลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของธีรยุทธ์ (2551) ที่พบว่าปริมาณที่มากเกินไปของไอออน (III) ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ส่งผลให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากสบู่มามีค่าต่ำลง ทั้งนี้เป็นเพราะกรดช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น (Wang *et al.*, 2006b อ้างถึงใน ธีรยุทธ์, 2551) ซึ่งจะได้มาเป็นสารที่ไม่ต้องการ (By-Product) และเมื่อนำน้ำมันจากขั้นตอนที่ 1 ไปทำปฏิกิริยาต่อในขั้นตอนที่ 2 น้ำเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และจะไปก่อให้เกิดสบู่ ซึ่งสบู่จะเป็นตัวลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ส่งผลให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จึงเลือกความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ 2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดลองในหัวข้อต่อไป เนื่องจากให้ค่าร้อยละเมทิลเอส

เทอร์สูงที่สุด อีกทั้งปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ที่ได้ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ปีพ.ศ.2552 ซึ่งกำหนดไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 96.5 %

4.3.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาจาก 45 เป็น 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะอื่นๆ สำหรับปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 มีค่าคงที่ ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 20:1 และขั้นตอนที่ 2 ใช้เวลา 60 นาที ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4



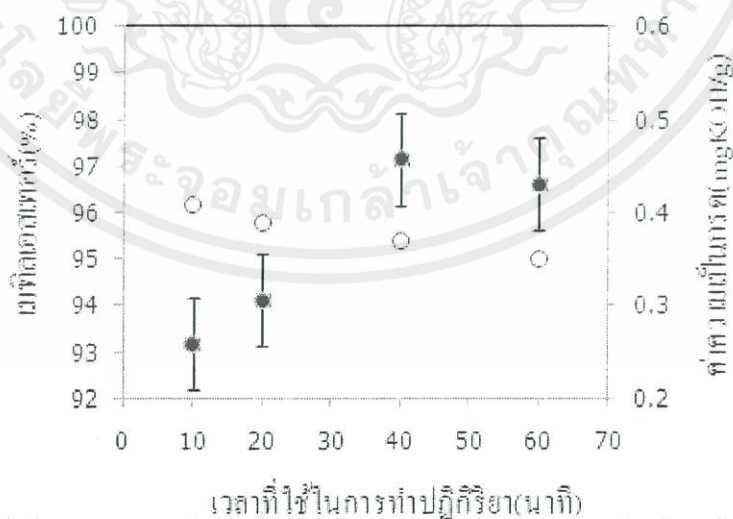
รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (●) และค่าความเป็นกรด (○) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้

จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่าความเป็นกรดในไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าลดลงจาก 0.50 เป็น 0.45, 0.36 และ 0.26 mgKOH/g เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 45 เป็น 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (รูปที่ 4.4) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้การเปลี่ยนกรดไขมันอิสระเป็นเมทิลเอสเทอร์ (R-COO-R') เอกสารนี้เป็เกิดได้ดีขึ้น นอกจากนี้พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากร้อยละ 97.34 ± 1.53 เป็นร้อยละ 98.17 ± 2.32 โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจาก 45 เป็น 55 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้การแยกเฟสของสารลดคลงและ โมเลกุล

ของสารเคลื่อนที่เร็วขึ้น ชนกันมากขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น(ธีรยุทธ์, 2551) นอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูง ความสามารถในการผสมกันระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมันจะเกิดได้ดี ทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นอีกด้วย (ธีรยุทธ์, 2551) อย่างไรก็ตามพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ระหว่างอุณหภูมิทั้งสองค่านี้ไม่ถือว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปที่ 60 และ 65 องศาเซลเซียสพบว่า ปริมาณเมทิลเอสเทอร์โดยเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงเหลือร้อยละ 96.10 ± 2.48 และ 94.03 ± 1.73 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาใกล้จุดเดือดของเมทานอล ซึ่งอาจทำให้เมทานอลบางส่วนระเหยกลายเป็นไอ จึงทำให้เมทานอลในเฟสของเหลวต่อการทำปฏิกิริยามีปริมาณลดลง ส่งผลให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ลดลงได้ (ภัทรพงศ์, 2552) จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นและเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานความร้อนในการทำปฏิกิริยา จึงเลือกอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส สำหรับการทดลองในหัวข้อต่อไป

4.3.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 10 เป็น 20 , 40 และ 60 นาทีตามลำดับ กำหนดให้สถานะอื่นๆสำหรับปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 มีค่าคงที่ ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลค่อน้ำมันเป็น 20:1 และขั้นตอนที่ 2 ใช้เวลา 60 นาที ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลค่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5



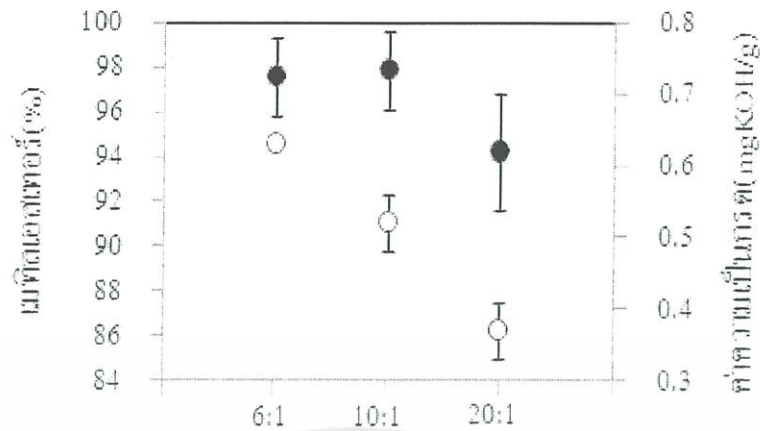
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 4.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (●) และใช้
ค่าความเป็นกรด (○) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้

จากรูปที่ 4.5 พบว่าค่าความเป็นกรดในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงจาก 0.41 เป็น 0.39 เป็น 0.37 และ 0.35 mgKOH/g เมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 10 เป็น 20, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 93.17 ± 0.09 เป็น 94.12 ± 4.19 และ 97.16 ± 0.71 เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานขึ้น 10 เป็น 20 และ 40 นาที แต่เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นเป็น 60 นาที ได้ค่าเมทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 96.63 ± 3.09 ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน 40 นาที แสดงให้เห็นว่าเวลานานขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น และพบว่าหลังจากทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 40 นาทีปฏิกิริยาจะเริ่มเข้าสู่สมดุล ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากเดิมมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang *et al.* (2006) จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จึงเลือกเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่ 40 นาที สำหรับการทดลองในหัวข้อต่อไป เนื่องจากมีค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด อีกทั้งปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ที่ได้ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ปี พ.ศ.2552 ซึ่งกำหนดไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 96.5 %

4.3.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

ผลของอัตราส่วน โดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันซึ่งมีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนอัตราส่วน โดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันจาก 6:1 เป็น 10:1 และ 20:1 ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะอื่นๆสำหรับปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 มีค่าคงที่ ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 40 นาที และขั้นตอนที่ 2 ใช้เวลา 60 นาที ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วน โดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อัตราส่วน โดย โหมดระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

รูปที่ 4.6 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (●) และค่าความเป็นกรด (○) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้

จากรูปที่ 4.6 พบว่าค่าความเป็นกรดในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงจาก 0.63 เป็น 0.52 และ 0.37 mgKOH/g เมื่อเพิ่มอัตราส่วน โดย โหมดระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันจาก 6:1 เป็น 10:1 และ 20:1 ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 97.56 ± 1.77 เป็น 97.86 ± 1.75 เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ เมื่อเพิ่มปริมาณของแอลกอฮอล์จะทำให้สมดุลเลื่อนไปทางขวา (จุฬาเกษตร, 2551) อย่างไรก็ตามค่าการเปลี่ยนแปลงของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ระหว่างอัตราส่วนทั้งสองค่านี้สูงใกล้เคียงกัน เมื่อเพิ่มอัตราส่วน โดย โหมดระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 20:1 ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 94.21 ± 2.59 แสดงให้เห็นว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ต่ำลง เนื่องจากปริมาณเมทานอลที่มากเกินไปจะส่งผลให้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกลดลง (จุฬาเกษตร, 2551) ทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จึงเลือกอัตราส่วน โดย โหมดระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 เพื่อเป็นการประหยัดปริมาณเมทานอลที่ใช้ อีกทั้งปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์นี้ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ปีพ.ศ.2552 ซึ่งกำหนดไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 96.5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาแนวทางการเพิ่มปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของ ไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขมันโคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ในขั้นตอนที่ 1 ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ส่วนขั้นตอนที่ 2 ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส โดยใช้สภาวะการทดลองของ Dias *et al.* (2008) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลและหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิต ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ไขมันโค 1 กิโลกรัม สามารถสกัดน้ำมันและกากได้ 0.81 ลิตร และ 121.21 กรัม ตามลำดับคิดเป็นสัดส่วน โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเจียว จะได้น้ำมันและกากเท่ากับร้อยละ 87.88 และร้อยละ 12.12 โดยน้ำหนัก น้ำหนักที่เจียวได้นั้นมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงถึงร้อยละ 69.85 มีความชื้นเท่ากับ 0.0092 ± 0.0002 % และมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำประมาณ 0.32 ± 0.06 % คิดเป็นค่าความเป็นกรดอยู่ 0.79 ± 0.01 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม

2. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ในขั้นตอนแรกใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ร่วมกับสภาวะการทดลองของ Dias *et al.* (2008) ในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 40 นาที อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ที่สภาวะดังกล่าวจะได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ เท่ากับร้อยละ 97.56 โดยน้ำหนัก

3. จากการตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซล พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์อยู่ร้อยละ 97.56 โดยน้ำหนัก และมีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.44 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ซึ่งจัดว่ามีคุณภาพเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 ในข้อกำหนดเรื่องปริมาณเมทิลเอสเทอร์และค่าความเป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการพัฒนาเทคนิคการล้างไบโอดีเซลที่สามารถลดระยะเวลาและปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง
2. ควรตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ในข้อกำหนดอื่นๆเพิ่มเติม ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552
3. ควรทำการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนเปรียบเทียบกับการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบขั้นตอนเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์, กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ. 2552. ข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก <http://www.dld.go.th/ict/> สืบค้นข้อมูลวันที่ 26 ตุลาคม 2555.
- กรมธุรกิจพลังงาน. 2552a. กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน. เข้าถึงได้จาก http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=898&Itemid=123&lang=th สืบค้นข้อมูลวันที่ 26 ตุลาคม 2555.
- กรมธุรกิจพลังงาน. 2552b. ประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่องกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2552. เข้าถึงได้จาก http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=898&Itemid=123&lang=th สืบค้นข้อมูลวันที่ 1 ตุลาคม 2555.
- กระทรวงพลังงาน. ม.ป.ป. ปริมาณความต้องการไบโอดีเซลของประเทศไทย (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก <http://www.energy.go.th,2554> สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 กันยายน 2555.
- กระทรวงพลังงาน. 2554. โครงการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบต่อการใช้ปี 20 แทนน้ำมันม่วงในเรือประมง(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=898&Itemid=123&lang=th สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 กันยายน 2555.
- เกศระวี ปานทับ, ณุพร โกไศยกานนท์ และสุทธิมา ลิมหลัก. 2554. การใช้ประโยชน์ของไขมันโคเจียวเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล. โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 29, 34.
- จุฑาทศ เทียนเมธราชกูร. 2551. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วโดยกระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 24-33,103-104.
- ณภัทร วิสวะกุล. ม.ป.ป. เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก <http://www.human.cmu.ac.th/home/hc/ebook/006126/05-06.pdf> สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2555.
- ทัศนีย์ สวัสดิ์พาณิชย์. 2550. การหาสภาวะที่เหมาะสมทางสถิติของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสมุนไพรด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 25-27.
- ธีรยุทธ ธรรมวิจิตร. 2551. การหาสภาวะที่เหมาะสมทางสถิติสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสมุนไพรโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 23,30-33.

- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮาส์. หน้า 8-50.
- บุญรอด วงษ์สว่าง. 2554. ชนิดของกรดไขมัน (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/kind_of_fattyacid.htm สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2555.
- ภัทรพงศ์ เอี่ยมสะอาด. 2552. ผลของการสูบลูวอนและการกวนในถังปฏิกรณ์ที่มีอิทธิพลต่อ ปริมาณและคุณภาพในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโค. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี. หน้า 99-100.
- ภูธร เรืองยิ่ง. 2548. คุณสมบัติของไขมันจากน้ำค้างในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและแปรรูป เนื้อไก่สด และพัฒนาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. หน้า 12-17.
- วันทนี พงษ์วิเศษ. 2549. ขบวนการเปลี่ยนแปลงของไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. วารสารเกษตร พระวรุณ. ปีที่ 3. ฉบับที่ 1. หน้า 45.
- สนธยา พิงศิริ. 2526. การวิเคราะห์ก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากไขวัวและไขมันชนิดอื่น. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 8-11.
- สันต์ ใจยอดศิลป์. 2552. ไขมันในอาหาร (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://www.health.co.th/Journal2/4-4_FatInFood.html สืบค้นข้อมูล เมื่อวันที่ 27 กันยายน 2555.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2551. เราไม่จ้อน้ำมัน. กรุงเทพฯ: ฐานบุ๊คส์. หน้า 99-104.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. ม.ป.ป. การผลิตและตรวจสอบ มาตรฐานไบโอดีเซลเบื้องต้น. เข้าถึงได้จาก www.tistr.or.th สืบค้นข้อมูล เมื่อวันที่ 2 กันยายน 2555.
- Agarwal, A.K. 2007. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. **Progress in Energy and Combustion Science**, 33(3): 233-271.
- Demirbas, A. 2002. Biodiesel from Vegetable Oils via Transesterification in Supercritical Methanol. **Energy Conversion and Management**. 43: 2349-2356
- Dias Joana M, Maria C.M. Alvim-Ferraza, Manuel F. Almeida. 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.

- Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H. 2001. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. **J. Biosci. Bioeng.** 92 (5): 405-416.
- Guru, Bursev Dogan Artukoglu, Ali Keskin, Atilla Koca. 2009. Biodiesel production from waste animal fat and improvement of its characteristics by synthesized nickel and magnesium additive. **Energy Conversion and Management.** 50: 498–502.
- Issariyakul, Mangesh G. Kulkarni, Ajay K. Dalai, Narendra N. Bakhshi. 2006. Production of biodiesel from wastefryergrease using mixed methanol/ethanol system. **Fuel Processing Technology.** 63: 429-436.
- Ma, F. and M.A. Hanna. 1999. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology.** 70: 1-15.
- Meher, L.C., Sagar D.V. and Naik, S.N. 2004. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** 10: 248-268.
- Ramadhass, A.S., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. **Fuel.** 84: 335-340.
- Wang, Y., S. Ou., P. Liu., F.Xue and S. Tang. 2006. Comparison of Two Different Processes to synthesize Biodiesel by Waste Cooking Oil. **Journal of Molecular Catalysis A:Chemical.** 252: 107-112.
- Wanvisa Chomsiri. 2009. **Satudy of prepaition of fatty acid methyl esters(FAMEs) from vegetable oil by transesterification reaction using gas chromatography.** A thesis for the degree of master of science (Applied analytical and inorganic chemistry) faculty of graduate studies Mahidol University : 53.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก-1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

เตรียมสารละลาย KOH 0.1 N โดยชั่ง KOH 2.8136 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 ml นำมาไทเทรตกับ KHP 2.0426 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 ml ปิเปตใส่ขวดรูปชมพู่ 3 ขวด ขวดละ 10 ml แสดงดังตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)ที่ใช้ไทเทรต(มิลลิลิตร)

ครั้งที่	สเกลเริ่ม	สเกลยุติ	ปริมาตร KOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
1	3.00	14.60	11.60
2	15.00	26.60	11.60
3	27.00	38.55	11.55
		เฉลี่ย	11.58

ตัวอย่างการคำนวณ

-การหาความเข้มข้นของสารละลาย KHP

$$\text{จาก } g/M.W. = MV/1000$$

$$\frac{2.0426}{204.223} = \frac{M \times 100}{1000}$$

$$M = 0.1000 \text{ โมลาร์}$$

-การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย KOH

$$\text{mol KOH} = \text{mol KHP}$$

$$M_{\text{KOH}} V_{\text{KOH}} = M_{\text{KHP}} V_{\text{KHP}}$$

$$M_{\text{KOH}} \times 11.58 = 0.1000 \times 10$$

$$M_{\text{KOH}} = 0.0864 \text{ โมลาร์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
*เนื่องจาก KOH เป็นเบสที่รับโปรตอนได้ 1 ตัว ดังนั้นความเข้มข้นเป็น โมลาร์ จึงมีค่าเท่ากับ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีใดๆ
ความเข้มข้นเป็นนอร์มอลของ KOH ดังนั้นความเข้มข้นเป็นนอร์มอลของ KOH = 0.0864 นอร์มอล

ก-2 แสดงการหาค่าความเป็นกรด

เตรียมสารผสมโพพานอล โทลูอิน อย่างละ 100 ml จากนั้นชั่งไขมันโค 10 กรัม นำมาให้ความร้อน แล้วเทลงในสารผสม เติมฟีนอล์ฟทาไลน์อินดิเคเตอร์ปริมาณ 2 ml นำมาไทเทรตกับสารละลาย KOH 0.0864 N แสดงดังตารางที่ ก-2

ตารางที่ ก-2 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)ที่ใช้ไทเทรต(มิลลิลิตร)

ครั้งที่	สเกลเริ่ม	สเกลยุติ	ปริมาตร KOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
1	0.00	1.65	1.65
2	2.00	3.65	1.65
3	4.00	5.60	1.60
		เฉลี่ย	1.63

ค่าความเป็นกรดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$A.V. = \frac{56.1 \cdot N \cdot V}{m}$$

โดย

A.V. = ค่าความเป็นกรด (mgKOH/gไขมัน)

N = ความเข้มข้นของ KOH (นอร์มอล, N)

m = น้ำหนักไขมันโค (g)

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนักไขมันโคที่ชั่งได้เท่ากับ 10.0270 กรัม

$$A.V. = \frac{56.1 \text{ mg KOH} \times 0.0864 \text{ N} \times 1.65 \text{ ml}}{10.0270 \text{ g}}$$

ดังนั้น ค่าความเป็นกรด = 0.7976 mgKOH/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3 แสดงการหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA)

$$\text{กรดไขมันอิสระในรูปของปาล์มเมติก \%FFA (as palmitic acid)} = \frac{A.V.}{2.19}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\%FFA \text{ (as palmitic acid)} = \frac{0.7976}{2.19} = 0.36 \%$$

ก-4 แสดงการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

การหาค่าความชื้นในน้ำมันที่ได้จากไขมันโคทำได้โดยใช้วิธีการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของน้ำมันในชามระเหยก่อนอบ 81.2025 g

น้ำหนักของน้ำมันชามระเหยหลังอบ 81.1952 g

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} &= \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \\ &= \frac{81.2025 - 81.1952}{81.2025} \times 100 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น ค่าความชื้น} = 0.009 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-5 การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีวิธีการดังนี้

กำหนด :

- มวลโมเลกุลไขมัน โค = 842 g/mol
- มวลโมเลกุลของเมทานอล = 32 g/mol
- ค่าความหนาแน่นของเมทานอล = 0.7918 g/ml

สูตรการคำนวณ $D = M/V$

สมมติ :

ในการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กำหนด :

ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 20:1 โดยใช้น้ำหนักไขมันเจียวเริ่มต้น

ปริมาณ 100 กรัม

การคำนวณ :

$$\begin{aligned}
 1 \text{ โมลไขมันโค} &= \frac{\text{น้ำหนักไขมันเจียวเริ่มต้น (g)}}{\text{มวลโมเลกุลของไขมัน (g/mol)}} \\
 &= \frac{100 \text{ g}}{842 \text{ g/mol}} \\
 \text{ดังนั้น} &= 0.1188 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

จากการทดลอง ไขมันโค 1 mol ใช้เมทานอล 20 mol

เพราะฉะนั้นไขมันโค 0.1188 mol ต้องใช้เมทานอลเท่ากับ 2.3760 mol

ดังนั้น ปริมาณเมทานอลที่ใช้ในการทดลองผลิตไบโอดีเซลที่กำหนดอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 20:1 เท่ากับ $2.3760 \text{ mol} \times 32 \text{ g/mol} = 96.0242 \text{ ml} (96 \text{ ml})$

0.7918 g/ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-6 การคำนวณกรดซัลฟิวริก

การคำนวณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน มีวิธีการดังนี้

กำหนด :

- มวลโมเลกุลของกรดซัลฟิวริก = 98.08 g/mol
- ค่าความหนาแน่นของกรดซัลฟิวริก = 1.84 g/ml

สูตรการคำนวณ $D = M/V$

สมมติ :

ในการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

กำหนด :

ใช้กรดซัลฟิวริก 1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน โดยใช้น้ำหนักไขมันเจียวเริ่มต้นปริมาณ 100 กรัม

การคำนวณ :

$$\begin{aligned}
 1\% &= \frac{1}{100} \times 100 \text{ g} = 1 \text{ g} \\
 \text{ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้} &= \frac{1 \text{ g} \times 98.08 \text{ g/mol}}{98.08 \text{ g/mol}} \\
 &= 1.84 \text{ g/ml} \\
 &= 0.54 \text{ ml} \\
 &= 0.6 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการทดลองผลิตไบโอดีเซลที่กำหนด 1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เท่ากับ 0.6 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-7 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (Yield)

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ของไบโอดีเซลตามวิธีของ ทศนิยม สวัสดิ์พาณิชย์ (2550) โดยสามารถคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$\text{Yield} = \frac{\text{weight of product (g)}}{\text{weight of raw oil (g)}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

- จากการทดลองที่ 1 ซึ่งน้ำหนักของไขมันโคเรียมต้นเท่ากับ 100.21 กรัม
- น้ำหนักของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเท่ากับ 91.60 กรัม

$$\text{ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้เท่ากับ } \frac{91.60}{100.21} \times 100 = 91.41 \%$$

ก-8 แสดงการหาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

การหาปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ อ้างอิงตามวิธีการของ A.O.C.S.(1989 อ้างถึงใน Wanvisa, 2009) โดยใช้สูตรในการคำนวณหา ดังนี้

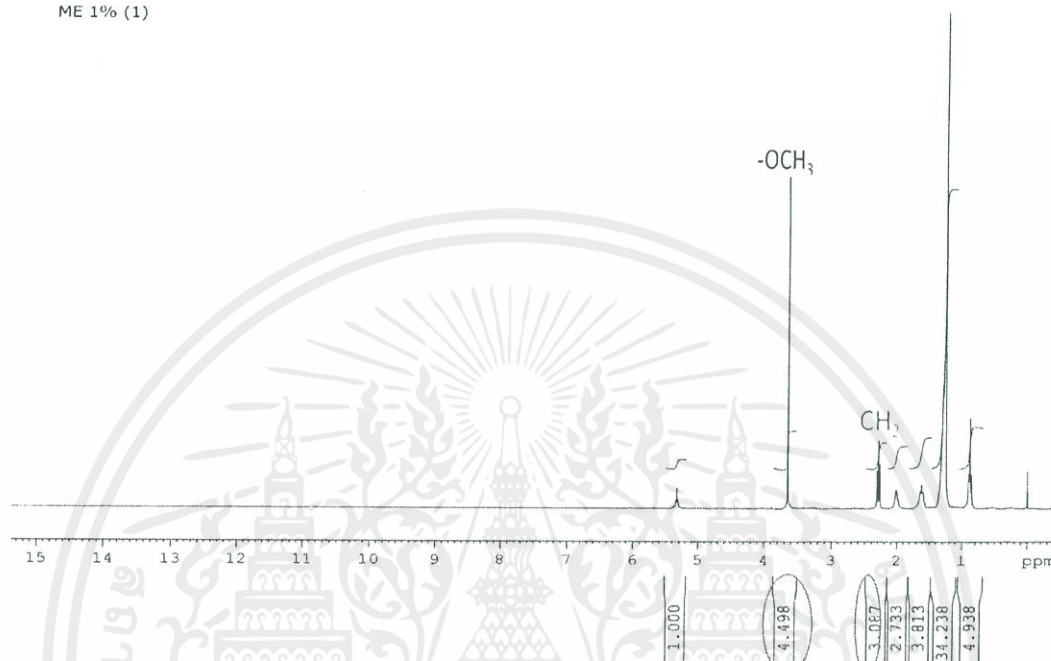
$$\% \text{ FAME} = \frac{100 \times (2 \times \text{พื้นที่ใต้พีคของ } \text{—OCH}_3)}{3 \times \text{พื้นที่ใต้พีคของ } \alpha\text{-CH}_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

โครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ไบโอดีเซลที่ผลิตโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1% ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ แสดงดังรูปที่ ก.1

ME 1% (1)



รูปที่ ก.1 ตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

จากโครมาโตแกรม: พื้นที่ใต้พีคของ $-\text{OCH}_3 = 4.498$

พื้นที่ใต้พีคของ $\alpha\text{-CH}_2 = 3.087$

$$\% \text{ FAME} = \frac{100 \times (2 \times 4.498)}{3 \times 3.087}$$

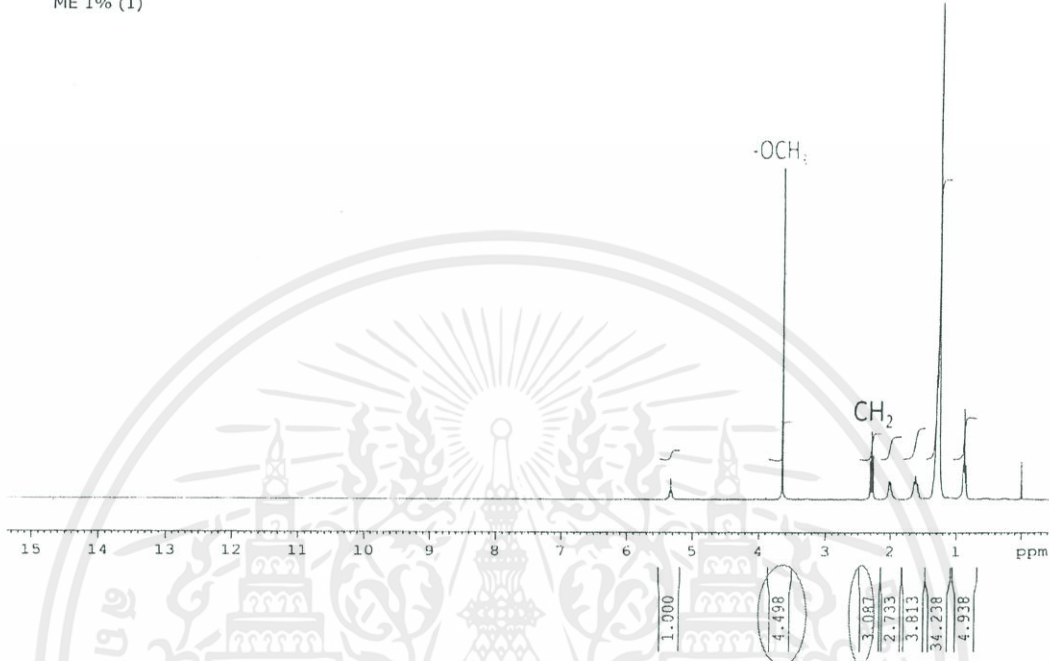
$$= 97.14 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบและวิเคราะห์

ME 1% (1)



รูปที่ ข.1 ตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค ¹H-NMR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของความเข้มข้นกรดไขมัน

ความเข้มข้น ของกรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ลำดับที่	-OCH ₃	α -CH ₂	%FAME
1	1	4.498	3.087	97.14
	2	4.161	3.155	97.54
	3	5.222	3.702	94.03
2	1	5.209	3.493	99.42
	2	4.197	2.802	99.86
	3	3.413	2.329	97.70
3	1	6.072	4.350	93.06
	2	4.593	3.247	94.30
	3	5.655	3.888	96.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การทดลองครั้งที่	-OCH ₃	α -CH ₂	%FAME
45	1	5.196	3.622	95.64
	2	4.927	3.359	97.79
	3	4.033	2.727	98.59
55	1	3.664	2.557	95.53
	2	4.015	2.680	99.88
	3	4.343	2.922	99.09
60	1	5.307	3.612	97.95
	2	5.128	3.522	97.07
	3	3.691	2.638	93.28
65	1	4.564	3.298	92.26
	2	4.850	3.378	95.72
	3	4.299	3.045	94.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของเวลา

เวลา (นาที)	การทดลองครั้งที่	-OCH ₃	α -CH ₂	%FAME
10	1	4.280	3.060	93.25
	2	4.077	2.917	93.18
	3	5.114	3.663	93.07
20	1	4.353	3.156	91.95
	2	3.376	2.461	91.45
	3	4.106	2.766	98.96
40	1	4.421	3.008	97.98
	2	4.781	3.297	96.67
	3	4.892	3.368	96.83
60	1	3.757	2.690	93.11
	2	3.690	2.487	98.91
	3	3.994	2.721	97.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล ต่อน้ำมัน

อัตราส่วน โดยโมล (เมทานอล:น้ำมัน)	การทดลองครั้งที่	$-\text{OCH}_3$	$\alpha\text{-CH}_2$	%FAME
6:1	1	5.008	3.411	97.89
	2	4.960	3.335	99.15
	3	4.964	3.460	95.65
10:1	1	5.327	3.638	97.62
	2	4.191	2.903	96.25
	3	5.071	3.390	99.72
20:1	1	5.449	3.844	94.50
	2	4.647	3.386	91.49
	3	4.745	3.273	96.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้