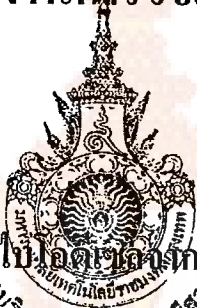




รายงานการวิจัย



โครงการวิจัยเรื่อง ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว
Biodiesel from coconut oil

คณะผู้วิจัย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิยนุช นาคพงศ์
2. นางศศิวิมล วุฒิกนกกาญจน์

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณผลประโยชน์ปี พ.ศ. 2551

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

คำนำ

รายงานเล่มนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อรายงานผลการทำโครงการวิจัยเรื่อง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว ซึ่งคณะผู้วิจัยได้รับเงินสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ด้วยงบประมาณผลประโยชน์ปี พ.ศ. 2551 จำนวน 198,000 – บาท ในการดำเนินการวิจัย ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการหาแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม โดยในงานวิจัยได้นำน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% มาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวดังกล่าวมีราคาถูกและสามารถหาได้ในปริมาณมากในประเทศไทย จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีคุณภาพดีมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและสมบัติอื่นๆ เป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 นอกจากนี้น้ำมันเชื้อเพลิงผสมที่ได้จากการผสมระหว่างไบโอดีเซลจากมะพร้าวกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10 : 90 โดยปริมาตร จะให้กำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลภายหลังการเผาไหม้ในเครื่องยนต์มาตรฐาน

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้รวบรวมทฤษฎีและข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยไว้ด้วย คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้สนใจ ซึ่งจะสามารถนำข้อมูลที่มีในรายงานนี้ไปใช้ในการวิจัยหรือการเรียนการสอนหรือนำไปพัฒนา เพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงในระดับอุตสาหกรรมต่อไป หากรายงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

31 มีนาคม 2552

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทเสริมสุขอุตสาหกรรมที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้น้ำมันมะพร้าว ซึ่งมีกรดไขมันอิสระ 12.84 % เพื่อเป็นวัตถุดิบในการวิจัยครั้งนี้ ฝ่ายวิจัยเชื้อเพลิงและหล่อลื่น สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ป.ต.ท. บริษัท ป.ต.ท. จำกัดมหาชน ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์หาปริมาณมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ รวมทั้งให้คำแนะนำและความรู้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ และอาจารย์ณัฐสิทธิ์ พัฒนะอ้อม อาจารย์ประจำสาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งเป็นผู้ทำการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตได้กับเครื่องยนต์ดีเซลมาตรฐาน นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพสำหรับสถานที่ในการทำการวิจัย อุปกรณ์และสารเคมี ต่างๆ

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำการวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งบิดา-มารดาของคณะผู้วิจัยซึ่งเป็นผู้ที่ทำให้กำลังใจจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ตามวัตถุประสงค์ทุกประการ



บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้ได้มีการนำน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการแบบ 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกระดับของกรดไขมันอิสระของน้ำมันมะพร้าวจะลดลงเหลือ 0.6 % ด้วยปฏิกิริยาการเอสเทอร์ฟิชั่นโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนที่สองไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนแรกจะถูกทรานส์เอสเทอร์ไฟด์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบสไปเป็นเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล สภาวะที่เหมาะสมของการเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.35 v/v ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7 v/v of oil อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60°C และ 60 นาที ตามลำดับ ส่วนสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบส คือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.40 v/v ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5 w/v of oil อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60°C และ 60 นาที ตามลำดับ โดยการหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวจะใช้แก๊สโครมาโทกราฟี และปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีค่า 98.4% w ภายใต้อสภาวะที่เหมาะสม สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันของประเทศไทย นอกจากนี้เชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมระหว่างไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20 : 80 โดยปริมาตร จะเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

Abstract

In this research, coconut oil having 12.84% free fatty acid (FFA) was used as raw material to produce biodiesel by two-step process. The first step, the FFA level of coconut oil was reduced to 0.6% by acid-catalyzed esterification. The second step, triglyceride in product of the first step was transesterified with alkaline catalyst to methyl esters and glycerol. The optimum condition for acid-catalyzed esterification were methanol-to-oil ratio of 0.35 v/v, catalyst concentration of 0.7 v/v of oil, reaction temperature and time were 60°C and 60 min, respectively. The optimum condition for alkali-catalyzed transesterification were methanol-to-oil ratio of 0.40 v/v, catalyst concentration of 1.5 w/v of oil, reaction temperature and time were 60°C and 60 min, respectively. The methyl ester content of coconut biodiesel was determined by gas chromatography (GC) and it was 98.4% w under the optimum condition. The properties of obtained coconut biodiesel were met with Thai biodiesel (B100) specification. In addition, the fuel obtained from blending coconut biodiesel with diesel in the ratio of 20 : 80 by volume was the suitable alternative fuel for diesel engine.



สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	8
2.1 มะพร้าว	8
2.2 ไบโอดีเซล	9
2.3 การเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่า 1%	10
2.4 ปฏิกริยาเอสเทอริฟิเคชัน	11
2.5 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	12
2.6 มาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซล	14
2.7 ความสำคัญของสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ	15
2.7.1 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester content)	15
2.7.2 ความหนืด (Viscosity)	16
2.7.3 ซีเทนัมเบอร์ (Cetane number)	16

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)	16
2.7.5 ความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation stability)	16
2.7.6 ปริมาณแอลกอฮอล์ (Alcohol content)	17
2.7.7 ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และ ไตรกลีเซอไรด์ (Mono-, Di- and Triglyceride contents)	17
2.7.8 ปริมาณน้ำ (water content)	18
2.7.9 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur content)	18
2.7.10 ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorous content)	18
2.7.11 ปริมาณเถ้าซัลเฟต (Sulfate ash content)	18
2.7.12 สิ่งเจือปนทั้งหมด (Total contamination)	18
บทที่ 3 เนื้อหาการวิจัย	19
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย	19
3.1.1 วิเคราะห์สมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	19
3.1.2 เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	19
3.1.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	19
3.1.4 การวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล	20
3.1.5 ทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล	20
3.2 สารเคมี วัสดุและอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	20
3.2.1 สารเคมี	20
3.2.2 วัสดุและอุปกรณ์	20
3.2.3 เครื่องมือ	20
3.3 การออกแบบการวิจัย	21

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.4 การทดลอง	22
3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันมะพร้าว ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	22
3.4.2 เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	22
3.4.3 การทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา	26
3.4.4 การวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว	33
3.4.5 ทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล	33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	34
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	34
4.2 เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	36
4.2.1 อิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา	36
4.2.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา	38
4.2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา	39
4.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	41
4.3.1 อิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา	41
4.3.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา	43
4.3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิด ปฏิกิริยา	44

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.4 สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว	47
4.5 การทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	50
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	57
ภาคผนวก ค	61

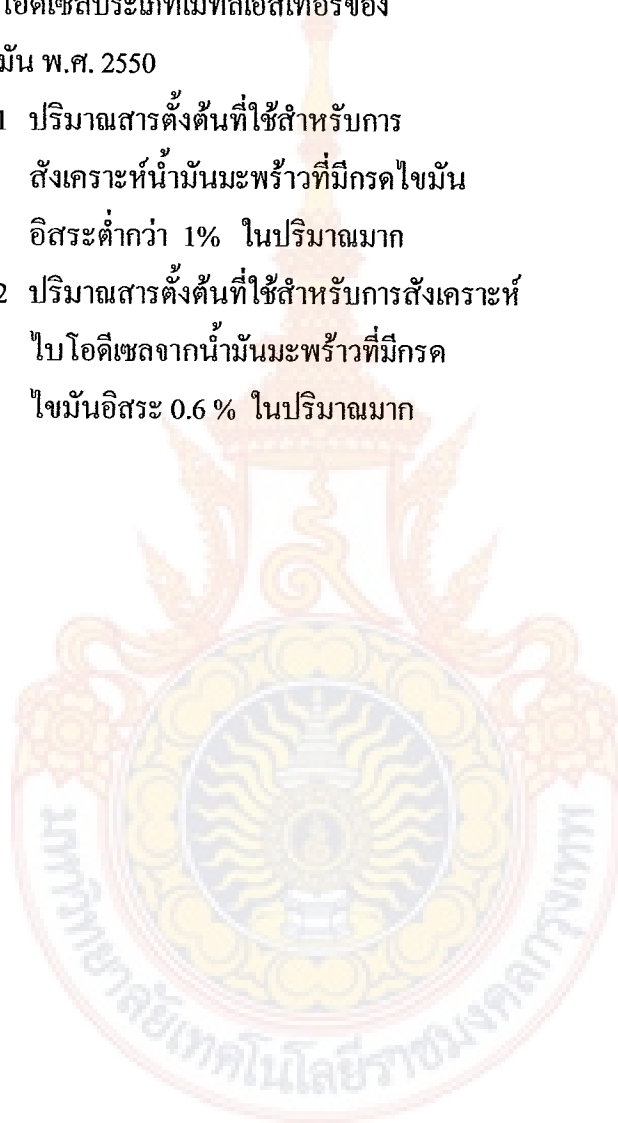


สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1-1 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชบางชนิด	3
ตารางที่ 2-1 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเทอร์ พ.ศ. 2550 (กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน)	14
ตารางที่ 3-1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาที่ใช้ในการ เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	24
ตารางที่ 3-2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการ เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	25
ตารางที่ 3-3 อุณหภูมิและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษา อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชัน	26
ตารางที่ 3-4 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาที่ใช้ในการ เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	31
ตารางที่ 3-5 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความ เข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	31
ตารางที่ 3-6 อุณหภูมิและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษา อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	32
ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบของกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าว และสมบัติที่สำคัญ	35

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4-2 สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว เปรียบเทียบกับข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพ ของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของ กรดไขมัน พ.ศ. 2550	47
ตารางภาคผนวก ข-1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับการ สังเคราะห์น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมัน อิสระต่ำกว่า 1% ในปริมาณมาก	58
ตารางภาคผนวก ข-2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรด ไขมันอิสระ 0.6 % ในปริมาณมาก	60



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2-1 ต้นมะพร้าวและลูกมะพร้าว	8
ภาพที่ 3-1 การจัดตั้งอุปกรณ์สำหรับการเอสเทอร์ฟิเคชัน น้ำมันมะพร้าว	23
ภาพที่ 3-2 การทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าว ที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1%	28
ภาพที่ 4-1 น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84%	34
ภาพที่ 4-2 อิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อการลดลงของ ค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าว (ความเข้มข้น ของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7% v/v of oil และอุณหภูมิ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60°C)	37
ภาพที่ 4-3 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลา ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่อการลดลงของค่าความ เป็นกรดของน้ำมันมะพร้าว (อัตราส่วนของเมทานอล ต่อน้ำมัน 0.35 v/v และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60°C)	39
ภาพที่ 4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อ การลดลงของค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าว (อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.35 v/v และ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7% v/v of oil)	40
ภาพที่ 4-5 น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.6%	41
ภาพที่ 4-6 อิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและ เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว (ความเข้มข้น ของตัวเร่งปฏิกิริยา 1% w/v of oil และอุณหภูมิ ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60°C)	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 4-7 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว (อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60°C)	43
ภาพที่ 4-8 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว (อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/v of oil)	45
ภาพที่ 4-9 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว	46
ภาพที่ 4-10 ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว	46
ภาพที่ 4-11 กราฟการเปรียบเทียบ Torque กับ Engine speed เมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลด้วยอัตราส่วน 10 : 90 และ 20 : 80 โดยปริมาตร	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันแหล่งปิโตรเลียม (น้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาติ) เป็นแหล่งทรัพยากรพลังงานที่สำคัญของโลก แหล่งพลังงานนี้มีจำนวนจำกัดและเป็นแหล่งพลังงานแบบไม่หมุนเวียน และถ้าแหล่งทรัพยากรเหล่านี้ยังคงถูกใช้ด้วยอัตราดังเช่นในปัจจุบัน แหล่งทรัพยากรนี้ก็จะหมดไปในเวลาไม่ช้า ยิ่งไปกว่านั้นการใช้เชื้อเพลิงที่มาจากปิโตรเลียมกันอย่างกว้างขวางยังเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาโลกร้อนและมลภาวะในด้านต่างๆ [14,17] ดังนั้นในปัจจุบันความสนใจในการศึกษาค้นคว้าและทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทางด้านเชื้อเพลิงทางเลือกจึงขยายตัวเป็นอย่างมาก หนึ่งในเชื้อเพลิงทางเลือกเหล่านั้นคือ ไบโอดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากไบโอดีเซลไม่เป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [14,17,19] สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่มีแหล่งแก๊สธรรมชาติอุดมสมบูรณ์ แต่ขาดแคลนแหล่งน้ำมันดิบ ดังนั้นจึงต้องมีการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ทำให้ประเทศต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศไปเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกยังมีความผันผวนอยู่ตลอดเวลาอีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอีกด้วย ฉะนั้นการใช้ไบโอดีเซลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีราคาถูกและสามารถผลิตได้ภายในประเทศ จึงเป็นการช่วยเศรษฐกิจของชาติและช่วยให้คนไทยมีงานทำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไบโอดีเซลผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันจากสัตว์ที่สามารถหาได้ภายในประเทศ

น้ำมันพืชหลายชนิดทั้งที่กินได้และกินไม่ได้สามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะใช้น้ำมันพืชที่กินได้อย่างเช่น น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์ม [13,19] แต่เนื่องจากน้ำมันพืชที่กินได้มีราคาสูง ดังนั้นวัตถุดิบที่มีราคาถูกกว่าซึ่งมีกรดไขมันอิสระปนอยู่อย่างเช่น น้ำมันพืชที่กินไม่ได้ น้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว ไขมันสัตว์ และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากกระบวนการผลิตน้ำมันพืชบริโภคจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจเพื่อลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล [6,21] หนึ่งในน้ำมันพืชซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้คือน้ำมันมะพร้าวซึ่งสามารถหาได้ง่ายในหลายๆ ส่วนของโลก โดยเฉพาะประเทศไทยได้มีการปลูกมะพร้าวเป็นจำนวนมากทางชายฝั่งทะเลทางภาคตะวันออกและภาคใต้ ซึ่งน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตได้ในประเทศไทยนั้นมีหลายระดับราคา โดยน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระสูงจะเป็นน้ำมัน

มะพร้าวที่มีราคาถูกและหาได้ในปริมาณมาก ฉะนั้นน้ำมันชนิดนี้จึงมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เป็นสารป้อนสำหรับการลดต้นทุนการผลิตในการผลิตไบโอดีเซล

จากการศึกษาข้อมูลในเบื้องต้นพบว่าพืชน้ำมันแต่ละชนิดจะให้ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน รวมทั้งองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของน้ำมันก็แตกต่างกันไปด้วย น้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันอยู่หลายชนิด โดยจะมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 12 และ 14 อะตอมเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว โดยจะมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นจะพบว่ามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอมอยู่เป็นจำนวนมาก กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชบางชนิดแสดงในตารางที่ 1-1

ดังนั้นถ้านำน้ำมันมะพร้าวมาผลิตเป็นไบโอดีเซล จะทำให้ได้ไบโอดีเซลที่ประกอบไปด้วย โมเลกุล (แอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน) ที่มีขนาดเล็ก มวลโมเลกุลต่ำ อีกทั้งยังมีความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างการใช้งาน การเก็บรักษาและการขนส่งอีกด้วย ฉะนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลเป็นอย่างยิ่ง

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้นำเสนอโครงการวิจัยเรื่อง ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว เพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกสำหรับทดแทนน้ำมันดีเซล ซึ่งน้ำมันมะพร้าวที่ใช้จะเป็นน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระสูงระดับ 12.84% โดยการนำน้ำมันมะพร้าวมาผ่านกระบวนการที่มี 2 ขั้นตอน เพื่อเปลี่ยนสมบัติทางเคมีของน้ำมันมะพร้าวดังกล่าวด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันและทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน อันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลที่มีสมบัติคล้ายกับน้ำมันดีเซล โดยไบโอดีเซลที่ได้จะถูกนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ที่สำคัญ เช่น ความหนืด ค่าไอโอดีนและค่าความร้อน เป็นต้น นอกจากนี้จะทำการทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล โดยผสมไบโอดีเซลที่ได้กับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปสู่การพัฒนาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระสูงในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

ตารางที่ 1-(กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชบางชนิด [5])

น้ำมันพืช	องค์ประกอบของกรดไขมันเฉลี่ย (mole %)									
	อิ่มตัว					ไม่อิ่มตัว				
	C4 Butyric acid	C6 Caproic acid	C8 Caprylic acid	C10 Capric acid	C12 Lauric acid	C14 Myristic acid	C16 Palmitic acid	C18 Stearic acid	C18 Palmit- oleic acid	C18 Linoleic acid
มะกอก						0-1	5-15	1-4	67-84	8-12
ถั่วลิสง							7-12	2-6	30-60	20-38
ข้าวโพด						1-2	7-11	3-4	25-35	50-60
ฝ้าย						1-2	18-15	1-2	17-38	45-55
ถั่วเหลือง						1-2	6-10	2-4	20-30	50-58
มะพร้าว		0-1	5-7	7-9	40-50	15-20	9-12	2-4	6-9	0-1
										5-10

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อเปลี่ยนสมบัติทางเคมีของน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% โดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันทำให้ได้ไบโอดีเซล
- 2) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84%
- 3) เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของไบโอดีเซลที่ได้
- 4) เพื่อทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลที่เดินเครื่องโดยใช้น้ำมันดีเซลไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10 : 90 และ 20 : 80 โดยปริมาตร

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยมีขอบเขตของโครงการดังนี้

- 1) วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมไบโอดีเซล
- 2) การเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวให้มีค่าต่ำกว่า 1% โดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา พร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยา จากนั้นเตรียมน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% ที่สภาวะดังกล่าวเพื่อนำไปใช้ในการเตรียมไบโอดีเซลในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา พร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา จากนั้นเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% ที่สภาวะดังกล่าว เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆ ด้วยวิธีการมาตรฐาน และทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล

3) ทดสอบสมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว

ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ถูกเตรียมขึ้นในข้อ 2) จะถูกนำไปทดสอบด้วยวิธีการมาตรฐาน

4) ทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล

ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่เตรียมได้จะถูกนำไปทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลมาตรฐาน โดยการเดินเครื่องด้วยน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10 : 90 และ 20 : 80 โดยปริมาตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% ซึ่งสามารถพัฒนาไปถึงขั้นการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่สามารถนำไปทดแทนน้ำมันดีเซล
- 2) ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมภายในประเทศลงได้ ซึ่งจะส่งผลถึงการลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้ ยังผลให้ประเทศมีอัตราขาดดุลทางการค้าน้อยลง
- 3) ช่วยลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการเผาไหม้ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวนี้นี้จะไม่ก่อให้เกิดสารที่เป็นมลพิษต่างๆ เช่น ออกไซด์ของกำมะถัน เนื่องจากในน้ำมันพืชจะมีปริมาณของกำมะถันที่ต่ำมาก เป็นต้น
- 4) สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรที่ปลูกมะพร้าว เกิดการกระจายรายได้ที่ดีสู่ชุมชน ทำให้ลดปัญหาการเดินทางเข้ามาหางานในเมืองหลวง
- 5) ได้ผลงานวิจัยซึ่งสามารถนำไปเผยแพร่ได้ (วารสารทางวิชาการและ/หรือการประชุมวิชาการ)

1.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

สกุล อำนวยพงศ์ [2] ทำการศึกษาและทดสอบการใช้น้ำมันมะพร้าวเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้น้ำมันมะพร้าวผสมในน้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าดในอัตราส่วนต่างๆ กัน คือ น้ำมันมะพร้าว 100% น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 98 : 2 น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 10 : 1, 20 : 1, 30 : 1 และ 40 : 1 โดยปริมาตร จากผลการ

ศึกษาพบว่าในสัดส่วนน้ำมันที่ทำการทดลองนั้นน้ำมันที่ใช้ได้ดีที่สุดและเหมาะสมคือ น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 20 : 1 จึงได้นำน้ำมันนี้ไปทำการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ สูบเดียว 10 แรงม้า เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ซึ่งพบว่าเมื่อทดลองที่ no load เป็นระยะเวลานาน 350 ชั่วโมง มีการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าดใกล้เคียงกับใช้น้ำมันดีเซล

Ghadge, S.V. and Rahemam, H. [13] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคในการผลิตไบโอดีเซลจาก Mahua oil (*Madhuca indica*) ซึ่งมีกรดไขมันอิสระสูงประมาณ 19% โดยในการวิจัยปริมาณกรดไขมันอิสระจะลดลงต่ำกว่า 1% โดยกระบวนการแบบ 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกจะใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.30-0.35 (v/v) ในสถานะที่มีความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 1% v/v เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ 1 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 60 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนแรกจะถูกนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 0.25 (v/v) และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเบส KOH 0.7% w/v สมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยใช้มาตรฐานของอเมริกาและยุโรป

Ramadhass, A.S., Jayaraj, S., and Muraleedharan C. [18] ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่มีกรดไขมันอิสระสูง ซึ่งเป็นกระบวนการที่มี 2 ขั้นตอน โดยในขั้นแรกปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงต่ำกว่า 2% และในขั้นตอนที่สอง จะนำน้ำมันจากขั้นตอนแรกมาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยไบโอดีเซลที่ได้จะมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและค่าความร้อนของการเผาไหม้จะมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 14% นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ที่สำคัญของไบโอดีเซลที่ได้โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

Bunyakiat, K et.al [8] ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซล (Fatty acid methyl esters) แบบต่อเนื่อง โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มเมล็ดใน (Palm kernel oil) ใน Supercritical methanol โดยปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาใดๆ ในการศึกษาได้ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 270, 300 และ 350 °C ที่ความดัน 10 และ 19 Mpa โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ตั้งแต่ 6-42 ผลจากการศึกษาพบว่า สภาพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มเมล็ดในคือ ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยาเท่ากับ 350 °C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืช คือ 42 และเวลา 400 วินาที % methyl ester conversion เท่ากับ 95 และ 96% สำหรับน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มเมล็ดใน ตามลำดับ

ลลิตา อัครนโธ อรเพ็ญ หนูสุวรรณและพิศมัย เจนวนิชปัญญกุล [4] ได้ทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์สมบัติของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี โดยเตรียมเมทิลเอสเทอร์ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันมะพร้าวและเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วจึงนำเมทิลเอสเทอร์มาผ่านขั้นตอนการทำอนุพันธ์เพื่อช่วยเพิ่มการกลายเป็นไอของสารโดยใช้ MSTFA เป็นสารก่ออนุพันธ์ ต่อจากนั้นจึงวิเคราะห์หองค์ประกอบเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งประกอบด้วย DB-5ht capillary column (15 m. x 0.32 mm.) และเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (FID) จากผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ในเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวโดยวิธีการวิเคราะห์นี้ให้ผลดี โดยมีการแยกของสารเมทิลเอสเทอร์ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ เมื่อใช้โปรแกรมอุณหภูมิจาก 50-350 °C



บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 มะพร้าว [3]

มะพร้าวเป็นพืชน้ำมัน มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Cocos nucifera* Linn. ชื่อวงศ์ PALMAE ชื่อสามัญคือ Coconut สำหรับชื่อท้องถิ่นก็จะเรียกแตกต่างกันไปคือ จันทบุรีเรียก ดุง กาญจนบุรีเรียก โพล แม่ฮ่องสอนเรียก คอสำ เป็นต้น

มะพร้าวมีลักษณะทั่วไปดังนี้ เป็นไม้ยืนต้น สูงจะลด 7-10 เมตร เปลือกลำต้นแข็ง ใบออกเป็นใบรวม มีใบย่อยเป็นแผ่นแคบยาว เรียงสลับกันเป็นรูปขนนก ปลายใบแหลม ดอกออกเป็นช่อตามบริเวณกาบที่หุ้ม ดอกย่อยขนาดเล็ก ดอกหนึ่งมีกลีบดอกประมาณ 6 กลีบ ผลเป็นรูปกลมหรือรี เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8-9.5 นิ้ว เปลือกนอกเรียบเกลี้ยง ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่มีสีน้ำตาล เปลือกชั้นกลางเป็นเส้นใยนุ่ม ชั้นในแข็งเป็นกะลา เนื้อผลมีสีขาวนวล และมีน้ำใส รสจืดหรือหวาน มะพร้าวปลูกได้ดีในดินปนทรายและขยายพันธุ์โดยใช้ผล ต้นมะพร้าวและลูกมะพร้าวแสดงอยู่ในภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ต้นมะพร้าวและลูกมะพร้าว

ประโยชน์ของมะพร้าว

- 1) น้ำมันมะพร้าวสามารถนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซล
- 2) ในผลมะพร้าวอ่อนจะมีน้ำอยู่ภายใน เรียกว่าน้ำมะพร้าว ใช้เป็นเครื่องดื่มเกลือแร่ได้ เนื่องจากอุดมไปด้วยโพแทสเซียม นอกจากนี้ น้ำมะพร้าวยังมีสมบัติปลอดเชื้อโรคและเป็นสารละลายไอโซโทนิก (สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากับภายในเซลล์ ซึ่งไม่ทำให้เซลล์เสียรูปทรง) ซึ่งด้วยเหตุนี้จึงสามารถนำน้ำมะพร้าวไปใช้ฉีดเข้าหลอดเลือดแดง (หลอดเลือดดำ) ในผู้ป่วยที่มีอาการขาดน้ำหรือปริมาณเลือดลดลงได้
- 3) น้ำมะพร้าวสามารถนำไปทำวุ้นมะพร้าวได้โดยการเอกรดอ่อนเล็กน้อยลงในน้ำมะพร้าว
- 4) เนื้อในของมะพร้าวแก่ นำไปทำกะทิได้โดยการชูดเนื้อในเป็นเศษเล็กๆ แล้วบีบเอาน้ำกะทิออก
- 5) กากที่เหลือจากการคั้นกะทียังสามารถนำไปทำเป็นอาหารสัตว์ได้
- 6) ยอดของมะพร้าวหรือเรียกอีกชื่อว่า หัวใจมะพร้าว สามารถนำไปใช้ทำอาหารได้ ซึ่งยอดอ่อนมีราคาแพงมาก
- 7) ใบมะพร้าว นำไปใช้ยัดฟูก ทำเสื่อหรือนำไปใช้ในการเกษตร
- 8) น้ำมันมะพร้าวที่ได้จากการหีบหรือคั้นจากมะพร้าวสด นำไปใช้ในการปรุงอาหารหรือนำไปทำเครื่องสำอางก็ได้
- 9) กะลามะพร้าวนำไปใช้ทำภาชนะดักดวงของเหลว ทำสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ เช่น กระบวย โคมไฟ กระดุม เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ทำเชื้อเพลิงและถ่านกัมมันต์ได้อีกด้วย
- 10) ใบมะพร้าวทั้งอ่อนและแก่ ตลอดจนก้านใบใช้มุงหลังคา เครื่องจักสานและใช้ทำไม้กวาดทางมะพร้าว
- 11) ชุมมะพร้าวใช้ทำวัสดุเพาะชำต้นไม้

2.2 ไบโอดีเซล

น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มีองค์ประกอบหลักคือ ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid) ชนิดต่างๆ กับกลีเซอรอล (Glycerol) หรือกลีเซอริน (Glycerin) ไตรกลีเซอไรด์เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้น้ำมันพืชมีความหนืดสูง การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์โดยตรงจะทำให้การฉีดพ่นเป็นละอองฝอยและการผสมกับอากาศของเชื้อเพลิงทำได้ไม่ดี ส่งผลให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เกิดขึ้นได้ไม่ดี ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะต่ำไปด้วย ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้หลายวิธี แต่วิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากคือการนำน้ำมันพืชมาเปลี่ยนให้เป็นไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลคือ โมโนแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาวซึ่งผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์โดยผ่านปฏิกิริยาทางเคมีที่ผันกลับได้ซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการลดความหนืดของไตรกลีเซอไรด์ [17] ในปฏิกิริยานี้ น้ำมันพืชและไขมันสัตว์จะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์อย่างเช่น เมทานอลในสถานะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นเบสแก่ได้แก่ โซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ [14] ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะเป็นของผสมของเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่มีคุณค่าในเชิงพาณิชย์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอางและสบู่ได้ โดยไบโอดีเซลที่ได้จะมีความหนืดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตและมีสมบัติต่างๆ คล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซลเป็นอย่างมาก

2.3 การเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่า 1%

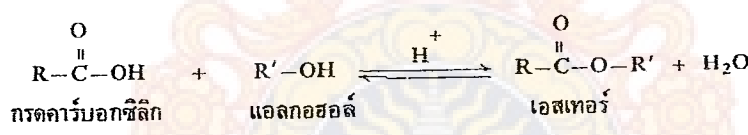
เป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคือ ปริมาณกรดไขมันอิสระและความชื้น [15] ฉะนั้นสารป้อนที่จะเข้าสู่กระบวนการนี้ซึ่งรวมถึงทั้งน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ แอลกอฮอล์และเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์จะต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% [6,13,20] ด้วยเหตุนี้กระบวนการแบบขั้นตอนเดียว (การทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) จึงไม่เหมาะสมสำหรับสารป้อนที่มีกรดไขมันอิสระสูง ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาเบสเกิดเป็นสบู่ซึ่งสบู่ที่เกิดขึ้นนี้จะยับยั้งการแยกของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรินและน้ำล้างในขั้นตอนการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ [9] นอกจากนี้สบู่ยังเพิ่มความหนืดของสารตั้งต้นส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ไม่ดี ซึ่งทำให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ต่ำอีกด้วย [16] ในกรณีนี้กระบวนการทางเลือกอื่นที่สามารถใช้ได้คือ การทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [9] แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้นี้จะต้องใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยายาวนานกว่าการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นกระบวนการทางเลือกอื่นๆ จึงได้ถูกศึกษาค้นคว้าโดยนักวิจัยหลายๆ คนเพื่อนำมาใช้กับน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่มีกรดไขมันอิสระสูงหลากหลายชนิดดังนี้คือ Veljkovic VB et.al [21] ได้นำน้ำมันเมล็ดยาสูบดิบ (crude tobacco seed oil) ที่มีกรดไขมันสูงสามารถนำมาใช้เป็นสารป้อนในการผลิตไบโอดีเซลได้โดยใช้กระบวนการสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่ง แล้วตามด้วยการทำเมทานอลิซิสโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในที่สุดเมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นลงผลได้สูงสุดของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้จะมีค่าประมาณ 91% ภายในเวลา 30 นาที

Berchmans. HJ และ Hirata S [6] ได้เปิดเผยให้ทราบถึงการใช้กระบวนการสองขั้นตอน ในการปรับปรุงผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากการใช้น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ (*Jatropha curcas*) คีบที่มีกรดไขมันอิสระ 15% โดยในขั้นตอนแรก (Acid pretreatment process) จะลดระดับของกรดไขมันอิสระลงเหลือต่ำกว่า 1% ส่วนในขั้นตอนที่สองเป็นกระบวนการ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบส ซึ่งผลได้สุดท้ายของเมทิลเอสเทอร์จะสูงถึง 90%

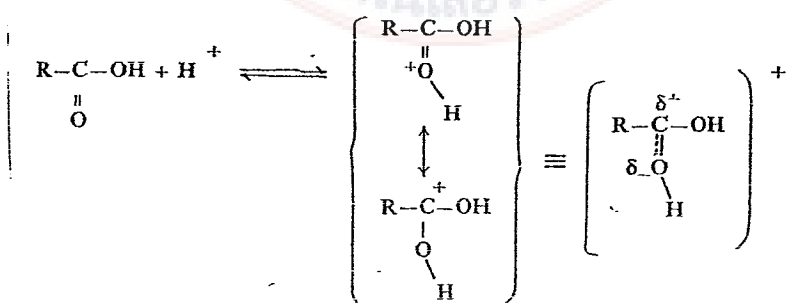
นอกจากนี้ Canakci M และ Van Gerpen J ได้ผลิตไบโอดีเซลเกรดเชื้อเพลิง (Fuel-grade biodiesel) จากสารป้อนที่มีกรดไขมันอิสระสูงอย่างเช่น yellow-grease และ brown grease ที่มี กรดไขมันอิสระ 12% และ 33% ตามลำดับ ซึ่งภายหลังจากลดกรดไขมันอิสระของสารป้อนทั้ง สองชนิดลงเหลือน้อยกว่า 1% โดยใช้ two-step pretreatment reaction แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูก นำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป

2.4 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน [1]

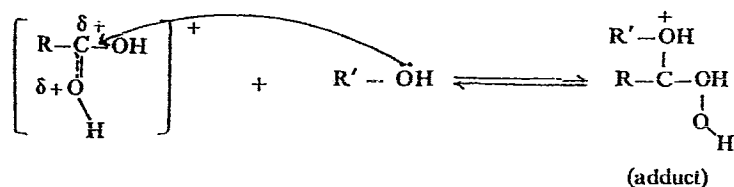
ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญของกรดคาร์บอกซิลิก โดยเป็นปฏิกิริยา การแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของกรดคาร์บอกซิลิก ในปฏิกิริยานี้กรดคาร์บอกซิลิกจะทำปฏิกิริยา กับแอลกอฮอล์ได้เอสเทอร์ (Ester) สมการทั่วไปแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



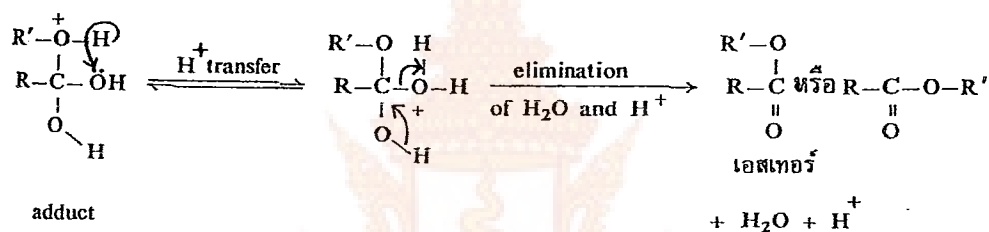
ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการกรดแก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งกลไกในการ เกิดปฏิกิริยาเป็นดังนี้คือ ในขั้นตอนแรกเป็นการรวมตัวของโปรตอนกับหมู่คาร์บอกซิลที่ออกซิเจน ที่มีพันธะคู่



จากนั้นหมู่คาร์บอกซิลซึ่งรวมกับ โปรตอนจะทำปฏิกิริยากับนิวคลีโอไฟล์ (ในที่นี้คือ $R'-OH$) ได้ดีขึ้น เพราะคาร์บอกซิลคาร์บอนจะมีประจุบวกเด่น

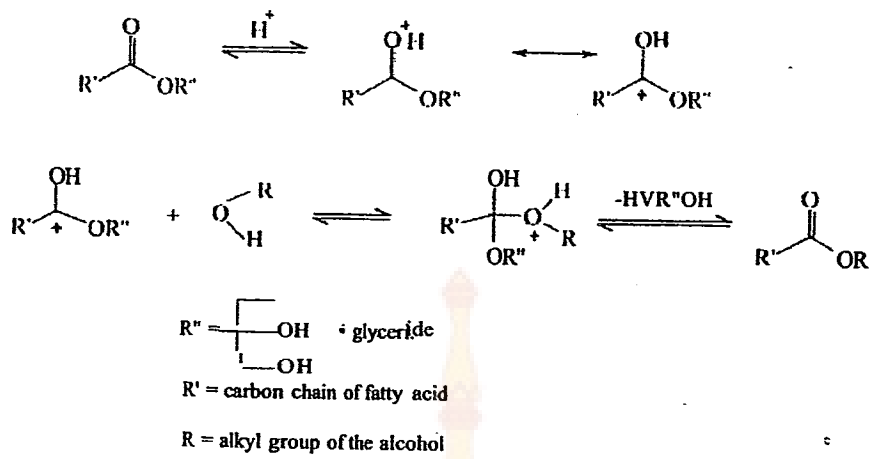


Adduct ที่ได้จะเกิดการเคลื่อนย้ายของไฮโดรเจนไอออน แล้วเกิดปฏิกิริยากำจัดได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์



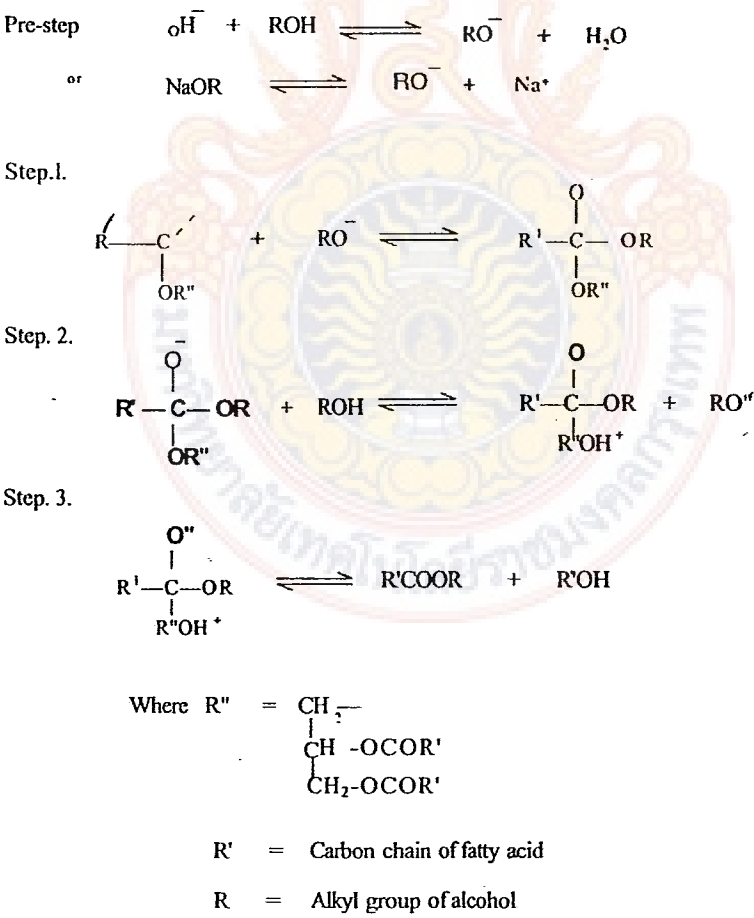
2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [1,17]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแอลกอฮอล์ลิซิส (Alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ (Nucleophilic substitution reaction) ของเอสเทอร์ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นจากการนำเอสเทอร์มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้



นี้

สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นดัง



2.6 มาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นจากวัตถุดิบและกระบวนการที่แตกต่างกันจะมีคุณภาพที่แตกต่างกัน ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐานกลางขึ้น เพื่อให้สามารถนำไบโอดีเซลไปใช้งานได้โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ อีกทั้งยังใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงสำหรับผู้ผลิต ผู้จำหน่ายและผู้ใช้งาน ในปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศในยุโรปได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลขึ้น โดยมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาคือ ASTM D 6751 ในขณะที่ของประเทศในยุโรปคือ DIN EN 14214 ซึ่งมาตรฐานทั้งสองชนิดนี้ได้ระบุหลักเกณฑ์ สมบัติต่างๆ ทั้งทางด้านเคมีและกายภาพที่จำเป็นต้องทดสอบ รวมทั้งวิธีการมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับประเทศไทยได้มีการกำหนดคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลไว้ โดยไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะต้องมีสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของ กรดไขมัน พ.ศ. 2550 ตามที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดรายละเอียดข้อกำหนดจำนวน 24 รายการ ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ พ.ศ. 2550 (กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน)

ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
	ไม่ต่ำกว่า	ไม่สูงกว่า	
1. เมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	96.5	-	EN 14103
2. ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	860	900	ASTM D1298
3. ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (เซนติสโตกซ์)	3.5	5.0	ASTM D445
4. จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	120	-	ASTM D93
5. กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.0010	ASTM D2622
6. คากคาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.30	ASTM D4530
7. จำนวนซีเทน	51	-	ASTM D613
8. เถ้าซัลเฟต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.02	ASTM D874
9. ปริมาณน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.050	ASTM D2709
10. สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.0024	ASTM D12662
11.การกักคร่อนแผ่นทองแดง (หมายเลข)	-	1	ASTM D130

ตารางที่ 2-1 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ พ.ศ. 2550
(กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน) (ต่อ)

ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
	ไม่ต่ำกว่า	ไม่สูงกว่า	
12. เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ชั่วโมง) ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส	6	-	EN 14112
13. ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม)	-	0.50	ASTM D664
14. ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัม)	-	120	EN 14111
15. เมทานอล (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	-	0.20	EN 14110
16. โมโนกลีเซอไรด์ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	-	0.80	EN 14105
17. ไดกลีเซอไรด์ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	-	0.20	EN 14105
18. ไตรกลีเซอไรด์ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	-	0.20	EN 14105
19. กลีเซอรินอิสระ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	-	0.02	EN 14105
20. กลีเซอรินทั้งหมด (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	-	0.25	EN 14105
21. ฟอสฟอรัส (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	-	0.0010	ASTM D4951
22. กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	-	12.0	EN 14103
23. โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	- -	5.0 5.0	EN 14108 EN 14538
24. สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

2.7 ความสำคัญของสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

2.7.1 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester content)

เมทิลเอสเทอร์เป็นองค์ประกอบหลักของไบโอดีเซล โดยปริมาณเอสเทอร์ที่ผลิตได้ใช้เป็นตัววัดความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลหรือใช้เป็นตัววัดผลผลิตที่ได้ไบโอดีเซลที่มีปริมาณเอสเทอร์ต่ำมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเดินเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจากมีสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ปนผสมอยู่ในปริมาณสูง สิ่งสกปรกในที่นี้หมายถึง โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์

และไทรกลีเซอไรด์ กลีเซอรอลอิสระและแอลกอฮอล์ ซึ่งอาจทำให้ไบโอดีเซลมีความหนืดสูงหรือต่ำเกินไป น้ำมันจึงเป็นสอยได้ไม่ดี เกิดการสะสมของคราบสกปรกในเครื่องยนต์ มีตะกอนเกิดขึ้นได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

2.7.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดเป็นสมบัติที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งของเชื้อเพลิง การใช้เชื้อเพลิงเหลวที่มีความหนืดสูงเกินไปจะก่อให้เกิดผลเสียต่อการทำงานของเครื่องยนต์ โดยจะมีผลต่อการไหลของน้ำมันผ่านระบบท่อ หัวฉีดและรูหัวฉีด อันจะมีผลต่อรูปแบบการสเปรย์ของน้ำมันเป็นละอองฝอย การผสมของไอระเหยของน้ำมันกับอากาศและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งถ้าการเผาไหม้เกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์จะเกิดการสะสมของเขม่า และการปนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงในถังน้ำมันหล่อลื่น ปัญหาเหล่านี้จะส่งผลทำให้เครื่องยนต์มีอายุการใช้งานที่สั้นลง ในทางตรงข้ามถ้าหากเชื้อเพลิงที่นำมาใช้มีความหนืดต่ำเกินไปก็อาจทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์ และระบบฉีดเชื้อเพลิงและมีผลทำให้รูดสูญเสียกำลังไปได้

2.7.3 ซีเทนัมเบอร์ (Cetane number)

เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการจุดระเบิดตัวเองของน้ำมันภายใต้การอัด น้ำมันที่มีซีเทนัมเบอร์สูงจะทำให้เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทติดได้ง่ายไม่มีปัญหา เครื่องยนต์เดินเรียบไม่เกิดการน็อก ส่วนน้ำมันที่มีซีเทนัมเบอร์ต่ำจะทำให้การจุดติดไฟยากโดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิต่ำ เครื่องยนต์จะสะดุดและมีโอกาสเกิดการน็อกสูง

2.7.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณของกรดไขมันอิสระ ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นจากการเสื่อมสภาพของกรดไขมันและการเผาไหม้หรืออาจมาจากตัวเร่งปฏิกิริยา กรดที่ทำจัดออกไม่หมดในกระบวนการผลิตและการใช้กรดปรับความเป็นกรด-ด่างระหว่างขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล โดยค่าความเป็นกรดอาจทำให้เกิดปัญหาการเกิดสิ่งสกปรกในเครื่องยนต์ อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันสั้นลง

2.7.5 ความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation stability)

ไบโอดีเซลอาจเกิดการเสื่อมสภาพจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซลมาก เนื่องจากโดยธรรมชาติไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ จะมีปริมาณความไม่อิ่มตัวอยู่สูง (ขึ้นกับชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล) ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นต้องวัดค่าความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อทดสอบถึงความยากง่ายในการ

เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมัน น้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์จะเกิดการเปลี่ยนสี มีปริมาณกรดมากขึ้น เกิดตะกอน คราบยางเหนียว เมื่อนำไบโอดีเซลที่ถูกออกซิไดส์แล้วไปใช้งานจะมีผลทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ ในระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เกิดการอุดตันและเสื่อมสภาพได้ โดยตะกอนที่เกิดขึ้นอาจอุดตันได้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้หัวฉีดอุดตันและเกิดการสะสมของสิ่งสกปรกในห้องเผาไหม้

2.7.6 ปริมาณแอลกอฮอล์ (Alcohol content)

แอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้นชนิดหนึ่งในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาเกิดไปในทิศทางที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่มากขึ้น และเมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลงจะต้องแยกแอลกอฮอล์ที่เหลือและมากเกินไปเหล่านี้ออกจากไบโอดีเซล โดยแอลกอฮอล์ที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลจะทำให้ซีเทนต่ำลง สมบัติในการหล่อลื่นและอุณหภูมิจุดวาบไฟต่ำลง อีกทั้งยังมีผลต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ทำด้วยโลหะประเภทอะลูมิเนียมและสังกะสี โดยจะทำให้เกิดการกัดกร่อน ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องวัดหาปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

2.7.7 ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ (Mono-, Di- and Triglyceride contents)

ตามปกติน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ จะมีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล ไตรกลีเซอไรด์จะเปลี่ยนไปเป็นแอลคิลเอสเทอร์และกลีเซอริน โดยสารตัวกลาง (Intermediate) ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะเป็นโมโนกลีเซอไรด์และไคกลีเซอไรด์ ซึ่งในสถานะที่ไม่เหมาะสมปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ จะมีโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์เหลืออยู่ ฉะนั้นปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลสามารถใช้ในการบอกความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้ โดยส่วนใหญ่แล้วโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์จะตกตะกอนลงมาด้านล่างพร้อมกับกลีเซอริน และถูกแยกออกไปในขั้นตอนการล้าง ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ตกค้างอยู่ในปริมาณมาก จะทำให้ไบโอดีเซลมีความหนืดสูงขึ้นและไม่เป็นไปตามข้อกำหนด มีผลทำให้น้ำมันฉีดเป็นฝอยได้ไม่ดี เกิดคราบสกปรกที่ปลายหัวฉีด ถูกสูบลวแล้วและมีผลต่อความทนทานของเครื่องยนต์ ดังนั้นการหาปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์จึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น

2.7.8 ปริมาณน้ำ (water content)

เป็นการวัดหาปริมาณน้ำที่แยกออกมาได้จากไบโอดีเซล น้ำในไบโอดีเซลส่วนใหญ่ได้มาจากการควบแน่นของน้ำในบรรยากาศลงมาผสมในเนื่อน้ำมัน การมีน้ำปนอยู่ในไบโอดีเซลเป็นระยะเวลานานจะทำให้ไบโอดีเซลมีความเป็นกรดสูง ซึ่งหากนำไปใช้งานจะทำให้ชิ้นส่วนวัสดุในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์เสียหาย

2.7.9 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur content)

กำมะถันจะมีอยู่ทั้งในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล โดยเฉพาะน้ำมันใช้แล้วอาจมีปริมาณกำมะถันสูงถึง 40 พีพีเอ็ม (ppm) โดยมีแหล่งมาจากอาหารที่นำมาทอดในน้ำมันนั้น กำมะถันในน้ำมันจะทำให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไทรออกไซด์ รวมทั้งฝุ่นละอองหลังการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ซึ่งจะมีผลทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นลง

2.7.10 ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorous content)

ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่มาจากกระบวนการขจัดขางเหนียวในน้ำมันพืชโดยการใส่กรดฟอสฟอริก จึงทำให้มีฟอสฟอรัสอยู่ในน้ำมันซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล ซึ่งฟอสฟอรัสจะมีผลทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นลง

2.7.11 ปริมาณเถ้าซัลเฟต (Sulfate ash content)

ปริมาณเถ้าซัลเฟตขึ้นอยู่กับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลและปริมาณโลหะที่หลุดออกมาหลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจอยู่ในรูปของสารประกอบโลหะกับสบู่ที่ละลายน้ำได้ เมื่อเกิดการเผาไหม้ทำให้สิ่งเจือปนเหล่านี้กลายเป็นเถ้าตกค้างอยู่ในเครื่องยนต์ โดยเถ้าที่ตกค้างอยู่ในเครื่องยนต์อาจทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรองทำให้น้ำมันไหลไม่สะดวก ส่วนโลหะที่หลุดออกมาหลังจากการใช้งานและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ ทำให้เกิดรอยสึกที่หัวฉีด ปัมถูกสูบและแวน

2.7.12 สิ่งเจือปนทั้งหมด (Total contamination)

สิ่งเจือปนในไบโอดีเซลส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น กลีเซอริน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ กรดไขมันอิสระ เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ สิ่งปนเปื้อน โดยมากมักถูกขจัดออกในขั้นตอนการล้าง แต่ก็ยังมีบางส่วนที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลซึ่งมีผลต่างๆ ต่อการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น การเสื่อมสภาพของน้ำมัน สมบัติสำหรับใช้งานที่อุณหภูมิต่ำและการเกิดสิ่งสกปรกในเครื่องยนต์

บทที่ 3

เนื้อหาการวิจัย

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 วิเคราะห์สมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

น้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ความหนืด ความหนาแน่น ปริมาณน้ำ ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการมาตรฐาน

3.1.2 เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนนี้น้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบจะถูกนำมาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวลงให้เหลือต่ำกว่า 1% โดยจะมีการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้จะได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาด้วย หลังจากที่ได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วจะทำการสังเคราะห์น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% ในปริมาณมากเพื่อใช้ในการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในขั้นตอนต่อไป

3.1.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนนี้จะนำผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% จากขั้นตอนที่ 3.1.2 มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซล โดยจะมีการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้จะได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาด้วย หลังจากที่ได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว จะทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% ในปริมาณมากเพื่อใช้ในการนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ตามวิธีการมาตรฐานและนำไปใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล

3.1.4 การวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตได้ที่สภาวะที่เหมาะสมจะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ตามวิธีการมาตรฐาน ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด การกักกร่อนแผ่นทองแดง ค่าความเป็นกรด ปริมาณน้ำ การคาร์บอน ค่าไอโอดีน ค่าความร้อนของการเผาไหม้ เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์

3.1.5 ทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ที่สภาวะมาตรฐานจะถูกนำมาทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลที่เดินเครื่องโดยใช้น้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10:90 และ 20:80 โดยปริมาตร

3.2 สารเคมี วัสดุและอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 สารเคมี

น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระสูงได้รับจากบริษัทเสริมสุขอุตสาหกรรม เมทิลเฮปตะเดคะโนเอท (methyl heptadecanoate) เป็นสารมาตรฐานสำหรับ GC สารเคมีอื่นๆ ที่ใช้ในการทดลองได้แก่ 98% เมทานอล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 98% กรดซัลฟิวริก (sulphuric acid) อะซิโตน (acetone) นอร์มัล-เฮปเทน (n-heptane) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (potassium hydrogen phthalate) 99.9% เอทานอล (ethanol) เป็น AR grade

3.2.2 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ขวดสามคอแบบก้นแบน กรวยแยก เตาให้ความร้อนแบบกวนได้ คอนเดนเซอร์ ปีกเกอร์ขนาดต่างๆ กระบอกตวง กรวยแก้วก้านสั้น กระดาษกรอง กระดาษฟอยด์ แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนสาร เครื่องกวนสาร ช้อนตักสาร แท่งแก้วคน ปิเปต และ บิวเรต เป็นต้น

3.2.3 เครื่องมือ

- 1) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีหือ Agilent รุ่น 6890
- 2) เครื่องยนต์ดีเซล Nissan TD 27

3.3 การออกแบบการวิจัย

ในการทดลองนี้ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% โดยกระบวนการแบบ 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% ด้วยเมทานอลโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวให้ลดลงต่ำกว่า 1% โดยในการทดลองนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา พร้อมทั้งได้หาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ โดยในขั้นตอนนี้จะศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ เรียงลำดับดังนี้

- อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันควบคุมกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
- ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาควบคุมกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
- อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาควบคุมกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

โดยในการศึกษาอิทธิพลและหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรแต่ละชนิดนั้น ตัวแปรชนิดอื่นๆ จะถูกกำหนดให้คงที่ และหลังจากที่ได้จุดที่เหมาะสมของตัวแปรหนึ่งแล้ว ค่านี้จะถูกกำหนดให้คงที่ในการศึกษาอิทธิพลและหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรชนิดอื่นต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% จากขั้นตอนที่ 1 ด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล โดยในการทดลองนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อปฏิกิริยา ได้แก่ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา พร้อมทั้งได้หาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ เรียงลำดับดังนี้

- อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันควบคุมกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
- ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาควบคุมกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
- อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาควบคุมกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

โดยในการศึกษาอิทธิพลและหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรแต่ละชนิดนั้น ตัวแปรชนิดอื่นๆ จะถูกกำหนดให้คงที่ และหลังจากที่ได้จุดที่เหมาะสมของตัวแปรหนึ่งแล้ว ค่านี้จะถูกกำหนดให้คงที่ในการศึกษาอิทธิพลและหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรชนิดอื่นต่อไป

3.4 การทดลอง

3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

น้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังนี้

1) องค์ประกอบทางเคมี

ในการหาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันมะพร้าวนั้น น้ำมันมะพร้าวจะถูกส่งไปทดสอบที่สถาบันอาหารด้วยวิธีการมาตรฐาน AOAC (2000), 963.22, 969.33

2) ความหนืด ความหนาแน่นและปริมาณน้ำ

ความหนืด ความหนาแน่นและปริมาณน้ำของน้ำมันมะพร้าวจะวิเคราะห์โดยฝ่ายควบคุมคุณภาพ บริษัท ป.ต.ท. จำกัด มหาชน ด้วยวิธีการมาตรฐานดังนี้คือ ความหนืด ASTM D445-06 ความหนาแน่น ASTM D4052-96 และปริมาณน้ำ EN 12937

3) ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันมะพร้าวจะถูกทดสอบด้วยวิธีการมาตรฐาน AOAC (2000), 940.28 โดยผู้วิจัยที่สาขาวิชาเคมี รายละเอียดของการวิเคราะห์แสดงอยู่ในภาคผนวก ก

3.4.2 เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

อุปกรณ์สำหรับการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยขวดก้นแบน (ขวดสำหรับทำปฏิกิริยา) และเตาให้ความร้อน (Hot plate) ที่กวนได้ ปริมาตรของขวดสำหรับทำปฏิกิริยา 250 ml และเป็นขวดสามคอ ซึ่งคอหนึ่งเอาไว้เสียบคอนเดนเซอร์ ส่วนอีก 2 คอที่เหลือเอาไว้สำหรับเสียบเทอร์โมมิเตอร์และเป็นทางสำหรับเติมสารตั้งต้น สารผสมในขวดสำหรับทำปฏิกิริยาจะถูกให้ความร้อนและคนด้วยอัตราเดียวกันตลอดการทดลอง การจัดตั้งอุปกรณ์สำหรับเอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงอยู่ในภาพที่ 3-1 และค่าเฉลี่ยของผลที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-2 - 4-4 สำหรับวิธีการทดลองเป็นดังนี้

- 1) เติมน้ำมันมะพร้าวที่ทราบจำนวนลงไปในช่วงสำหรับทำปฏิกิริยาและให้ความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่ต้องการ
- 2) เติมนเมทานอลลงไปและคนของผสมเป็นเวลา 2-3 นาที

3) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไปในของผสมและเริ่มจับเวลาในการทำปฏิกิริยาทันที จากนั้นให้ความร้อนและคนต่อไปเรื่อยๆ ที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ กัน

4) เมื่อครบเวลาในการทำปฏิกิริยา เทของผสมลงไปในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง

5) เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้ว ของผสมจะแยกเป็น 2 ชั้น ชั้นบนเป็นชั้นของเมทานอล-น้ำ ส่วนชั้นล่างจะเป็นชั้นของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงและสิ่งเจือปน แยกของผสมในชั้นบนออกไป

6) นำของผสมชั้นล่างมาล้างด้วยน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 60°C จนกระทั่งน้ำล้างมี pH เท่ากับน้ำกลั่นที่นำมาใช้ในการล้าง

7) นำชั้นผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวมาทำให้แห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70°C

8) หาค่าความเป็นกรด (Acid value) ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวโดยใช้วิธีการมาตรฐาน AOAC (2000), 940.28



ภาพที่ 3-1 การจัดตั้งอุปกรณ์สำหรับการเอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันมะพร้าว

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน (0.25-0.4 v/v) ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (0.5-0.8% v/v of oil) อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (32-60 °C) และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (30-120 min) จุดที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละพารามิเตอร์จะถูกพิจารณาโดยปริมาณกรดไขมันอิสระ ผลผลิตก้นน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 1% ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่ใช้ปริมาณเมทานอล กรดซัลฟิวริก อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อยที่สุดจะถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับขั้นตอนที่สอง (การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เมสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) ต่อไปโดยการสังเคราะห์ในปริมาณมาก

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ และหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84%

1) อิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการทดลองตอนนี้จะศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 0.25, 0.30, 0.35 และ 0.4 v/v และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที โดยความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ใช้คือ 0.7% v/v of oil และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาคือ 60°C ซึ่งปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันแสดงอยู่ในตารางที่ 3-1 (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3-1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

อัตราส่วนของ เมทานอลต่อน้ำมัน v/v	ปริมาณน้ำมันมะพร้าว (ml)	ปริมาณเมทานอล (ml)	ปริมาณกรดซัลฟิวริก เข้มข้น (ml)
0.25	80	20	0.56
0.30	77	23	0.54
0.35	74	26	0.52
0.40	71	29	0.50

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 100 ml

เลือกอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าวลดลงต่ำกว่า 2 mg KOH/g oil (เทียบได้เท่ากับปริมาณกรดไขมันอิสระ 1%) โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุด เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อไป

2) ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการทดลองตอนนี้จะศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.50, 0.60, 0.70 และ 0.80% v/v of oil และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที โดยอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้คือ 0.35 v/v และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาคือ 60°C ซึ่งปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันแสดงอยู่ในตารางที่ 3-2 (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3-2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ความเข้มข้นของ ตัวเร่งปฏิกิริยา (% v/v of oil)	ปริมาณน้ำมันมะพร้าว (ml)	ปริมาณเมทานอล (ml)	ปริมาณกรดซัลฟิวริก เข้มข้น (ml)
0.50	74	26	0.37
0.60	74	26	0.45
0.70	74	26	0.52
0.80	74	26	0.60

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 100 ml

เลือกความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยที่สุดที่ทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าวลดลงต่ำกว่า 2 mg KOH/g oil โดยใช้เวลาที่น้อยที่สุดเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อไป

3) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการทดลองตอนนี้จะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ 32, 40, 50 และ 60°C และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที โดยอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้คือ 0.35 v/v และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยากรดคือ 0.70% v/v of oil ซึ่ง

อุณหภูมิและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันแสดงอยู่ในตารางที่ 3-3 (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3-3 อุณหภูมิและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (°C)	ปริมาณน้ำมันมะพร้าว (ml)	ปริมาณเมทานอล (ml)	ปริมาณกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (ml)
32	74	26	0.52
40	74	26	0.52
50	74	26	0.52
60	74	26	0.52

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 100 ml

เลือกอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าวลดลงต่ำกว่า 2 mg KOH/g oil โดยใช้เวลาน้อยที่สุดเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม

สรุปสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวด้วยเมทานอล โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% ในปริมาณมาก (20 l) เพื่อนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

3.4.3 การทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ในขั้นตอนนี้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% จากข้อ 3.4.2 จะถูกนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและการจัดตั้งอุปกรณ์จะเหมือนกับในข้อ 3.4.2 ทุกประการ ภาพแสดงการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% แสดงอยู่ในภาพที่ 3-2 (ก-จ) และวิธีการในการทดลองเป็นดังนี้

- 1) เทผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวจากข้อ 3.4.2 ใส่ลงในขวดทำปฏิกิริยาและให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ
- 2) เตรียมสารละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล (สารละลายนี้ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนใช้งานเพื่อรักษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา) โดยการชั่งโพแทสเซียม

ไฮดรอกไซด์ตามปริมาณที่ต้องการแล้วใส่ลงในเมทานอลตามปริมาตรที่กำหนด กวนจนกระทั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายหมดเป็นสารละลายใสไม่มีสี

3) เติมสารละลายในข้อ 2) ลงในผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวที่ให้ความร้อนไว้ล่วงหน้า หลังจากนั้นให้จับเวลาในการทำปฏิกิริยาทันที

4) ให้ความร้อนและคนสารผสมตลอดเวลาด้วยอัตราเดียวกันตลอดการทดลองที่ความดันบรรยากาศ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

5) เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง เทสารผสมลงในกรวยแยกแล้วตั้งทิ้งไว้ค้างคืน สารผสมจะแยกเป็นสองชั้น ชั้นบนประกอบด้วยเมทิลเอสเทอร์และสิ่งเจือปน ส่วนชั้นล่างประกอบด้วยกลีเซอรินและสิ่งเจือปน

6) แยกเมทิลเอสเทอร์ออกแล้วนำไปล้างด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60°C จนกระทั่งน้ำล้างมี pH เท่ากับน้ำกลั่นที่นำมาใช้ในการล้างไบโอดีเซล

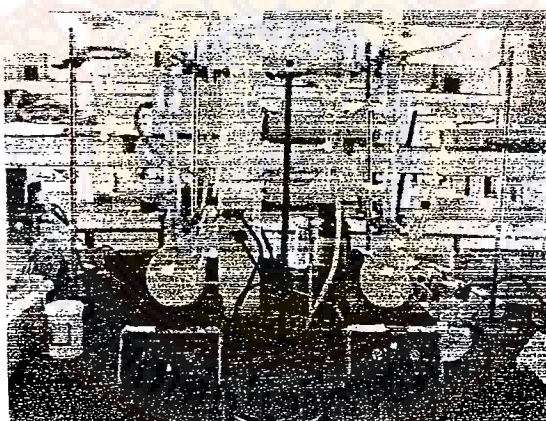
7) นำชั้นเมทิลเอสเทอร์มาทำให้แห้งโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70°C

8) หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลโดยใช้ GC

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน (0.1-0.4 v/v) ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (0.5-2% w/v of oil) อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา ($32-60^{\circ}\text{C}$) และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (5-90 min) จุดที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละตัวแปรจะถูกพิจารณาโดยปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น สภาวะที่ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุด โดยใช้ปริมาณเมทานอล ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุดจะถูกเลือกเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สุดท้ายที่สุดไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะที่เหมาะสมจะถูกนำไปหาสมบัติโดยใช้วิธีการมาตรฐาน และทดสอบเปรียบเทียบกับกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลโดยการสังเคราะห์ในปริมาณมาก สำหรับวิธีการในการหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลแสดงอยู่ในภาคผนวก ค

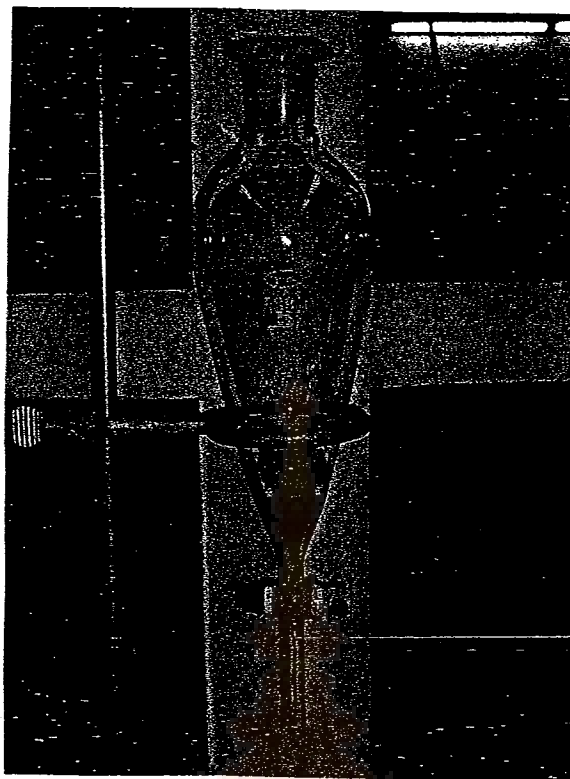


ก. การเตรียมสารละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล

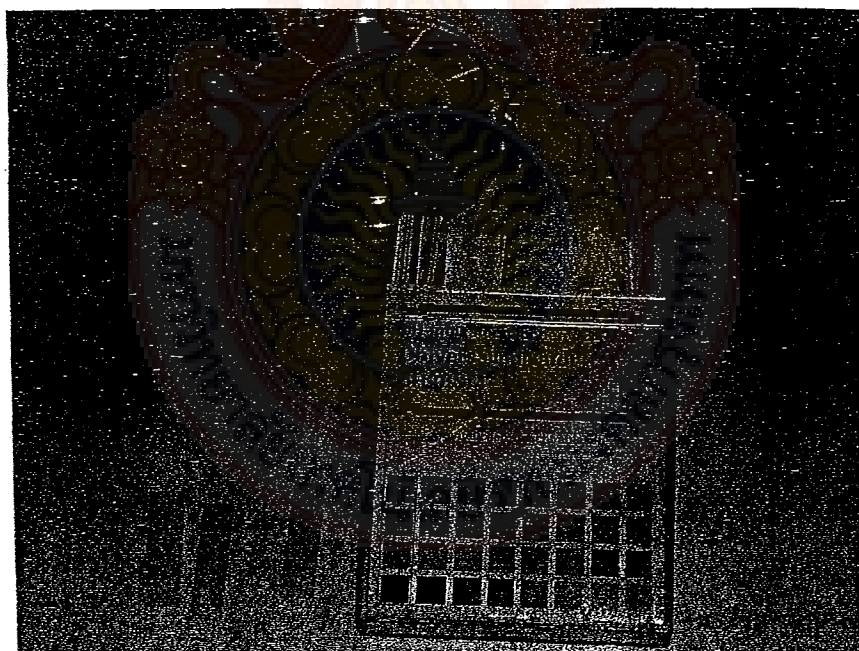


ข. การจัดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ภาพที่ 3-2 การทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1%

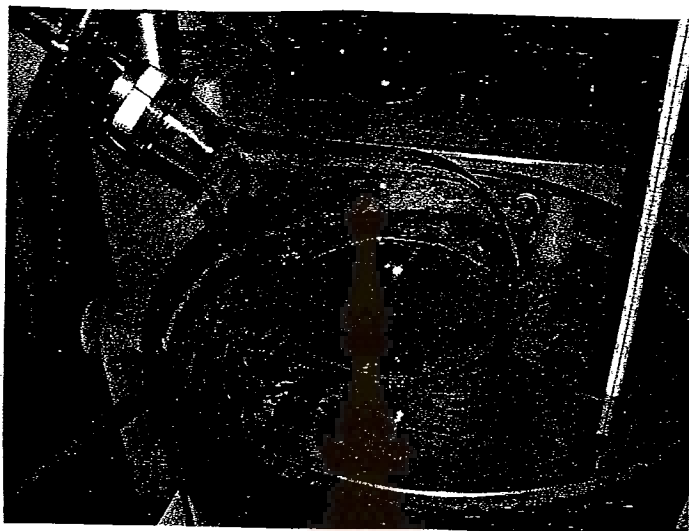


ค. การตั้งของผสมของปฏิกิริยาทั้งไว้ค้างคืนในกรวยแยก



ง. กระดาษ pH สำหรับวัดความเป็นกรด-ด่างในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซล

รูปที่ 3-2 การทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% (ต่อ)



จ. การระเหยแยกน้ำออกจากไบโอดีเซลด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ

รูปที่ 3-2 การทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% (ต่อ)

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรชนิดต่างๆ และหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1%

1) อิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการทดลองตอนนี้จะศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 0.10, 0.20, 0.30 และ 0.40 v/v และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 5, 10, 30, 60 และ 90 นาที โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ 1% w/v of oil และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา คือ 60°C ซึ่งปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแสดงอยู่ในตารางที่ 3-4 (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3-4 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

อัตราส่วนของ เมทานอลต่อน้ำมัน v/v	ปริมาณน้ำมันมะพร้าว (ml)	ปริมาณเมทานอล (ml)	ปริมาณ โพแทสเซียมไฮดรอก ไซด์ (g)
0.10	91.0	9	0.91
0.20	83.0	27	0.83
0.30	77.0	23	0.77
0.40	71.5	28.5	0.715

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 100 ml

เลือกอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่น้อยที่สุดที่ทำให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์
สูงที่สุดโดยใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อยที่สุดเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ใน
การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อไป

2) ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการทดลองตอนนี้จะศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.50,
1.0, 1.50 และ 2.0% w/v of oil และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 5, 10, 30, 60 และ 90 นาที โดย
อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้คือ 0.40 v/v และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาคือ 60°C ซึ่ง
ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการเกิด
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแสดงอยู่ในตารางที่ 3-5 (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3-5 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา
และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ความเข้มข้นของ ตัวเร่งปฏิกิริยา (% w/v of oil)	ปริมาณน้ำมันมะพร้าว (ml)	ปริมาณเมทานอล (ml)	ปริมาณ โพแทสเซียมไฮดรอก ไซด์ (g)
0.50	71.5	28.5	0.3575
1.0	71.5	28.5	0.7150
1.5	71.5	28.5	1.0725
2.0	71.5	28.5	1.4300

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 100 ml

เลือกความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยที่สุดที่ทำให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงสุด โดยใช้เวลาน้อยที่สุดเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อไป

3) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการทดลองตอนนี้จะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 32, 40, 50 และ 60 °C และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 5, 10, 30, 60 และ 90 นาที โดยอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้คือ 0.4 v/v และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยากรดคือ 1.5% w/v of oil ซึ่งอุณหภูมิและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแสดงอยู่ในตารางที่ 3-6 (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3-6 อุณหภูมิและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (°C)	ปริมาณน้ำมันมะพร้าว (ml)	ปริมาณเมทานอล (ml)	ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (g)
32	71.5	28.5	1.0725
40	71.5	28.5	1.0725
50	71.5	28.5	1.0725
60	71.5	28.5	1.0725

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 100 ml

เลือกอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่ทำให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุดเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม

สรุปสถานะที่เหมาะสมสำหรับการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% ด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเตรียมไบโอดีเซลที่สถานะที่เหมาะสมในปริมาณมาก (20 l) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ และทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล

3.4.4 การวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว

ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตได้ที่สภาวะที่เหมาะสมจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ด้วยวิธีการมาตรฐาน โดยการส่งไปวิเคราะห์ที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพ บริษัท ป.ต.ท. จำกัด มหาชน โดยสมบัติที่วิเคราะห์ได้แก่ ความหนาแน่น (ASTM D4052-96) ความหนืด (ASTM D445-06) การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (ASTM D130-94) ค่าความเป็นกรด (ASTM D664-01) ปริมาณน้ำ (EN 12937) กากคาร์บอน (ASTM D4530-00) ค่าไอโอดีน (EN 14111) ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (ASTM D240) เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (EN 14112) ปริมาณไทโรลีนไฮดรอกไซด์ ไคโกลีนไฮดรอกไซด์และ โมโนโกลีนไฮดรอกไซด์ (EN 14105)

3.4.5 ทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ที่สภาวะมาตรฐานจะถูกนำมาทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลมาตรฐาน Nissan TD 27 ที่เดินเครื่องโดยใช้น้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10:90 และ 20:80 โดยปริมาตร ซึ่งการทดสอบนี้ทำโดยอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

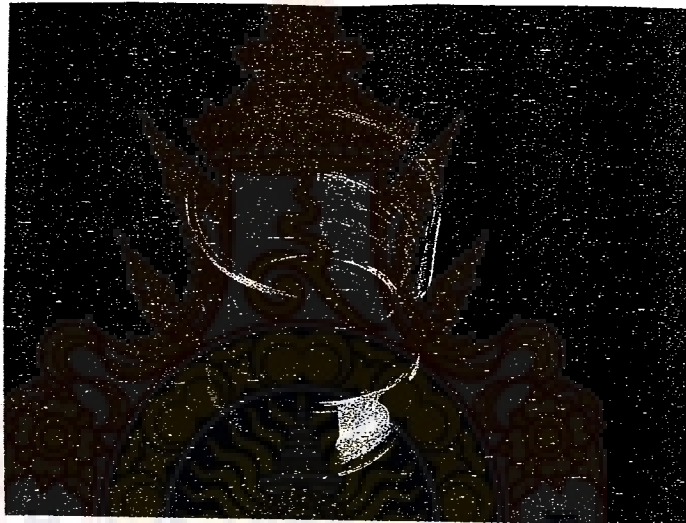


บทที่ 4

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

น้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้ มีลักษณะใสและมีสีน้ำตาล ดังแสดงในภาพที่ 4-1 โดยองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าวและสมบัติที่สำคัญแสดงอยู่ในตารางที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84%

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบของกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าวและสมบัติที่สำคัญ

สมบัติ	น้ำมันมะพร้าว
องค์ประกอบของกรดไขมัน (%)	
(i) กรดคาปริก (Caprylic acid , C8:0)	3.35
(ii) กรดคาปริก (Capric acid , C10:0)	3.21
(iii) กรดลอริก (Lauric acid , C12:0)	32.72
(iv) กรดไมริสติก (Myristic acid , C14:0)	18.38
(v) กรดปาล์มิติก (Palmitic acid , C16:0)	13.13
(vi) กรดสเตียริก (Stearic acid , C18:0)	3.60
(vii) กรดโอเลอิก (Oleic acid , C18:1)	12.88
(viii) กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid , C18:2)	4.35
ความหนาแน่น ที่ 15 °C , Kg/m ³	920.6
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ในรูปกรดลอริก , % w	12.84
ความหนืดที่ 40 °C , mm ² /s	28.05
ปริมาณน้ำ, % w	0.22

หมายเหตุ ปริมาณกรดไขมันอิสระ 12.84% นี้จะมีค่าเทียบเท่ากับค่าความเป็นกรด 25.68 mg KOH/g oil

จากตารางที่ 4-1 จะเห็นได้ว่าน้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว 74.39% ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือ กรดลอริก ไมริสติกและปาล์มิติกและประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว 17.23% ซึ่งประกอบด้วยกรดโอเลอิกและไลโนเลอิก เป็นที่ทราบกันว่าชนิดและเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่มีในน้ำมันพืชจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืชและสภาวะที่ใช้ในการเจริญเติบโต โดยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันอิ่มตัวจะช่วยปรับปรุงความเสถียรของน้ำมันและเพิ่มค่าซีเทนและค่าจุดหมอก (cloud point) ในขณะที่เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะลดความเสถียรของน้ำมัน ค่าซีเทน และค่าจุดหมอก [18]

น้ำมันพืชรวมถึงน้ำมันมะพร้าวจะมีความหนืดสูงและมีความสามารถในการระเหยต่ำ ข้อเสียของน้ำมันพืชนี้จะทำให้การอะตอมไมเซชัน (atomization) และการผสมกับอากาศเกิดขึ้นได้ไม่ดีในขณะที่น้ำมันพืชถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซล ฉะนั้นทางหนึ่งที่เป็นไปได้ที่จะช่วยทำให้น้ำมันพืชสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพคือ การนำ

น้ำมันพืชมาผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตเป็น ไบโอดีเซล ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

4.2 เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมไบโอดีเซล จะพบว่ามีค่าสูงกว่าขีดจำกัดปริมาณกรดไขมันอิสระ (1%) ที่สามารถมีได้ในวัตถุดิบสำหรับนำมาเตรียมไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการขั้นตอนเดียว (ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) ฉะนั้นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% คือ กระบวนการแบบ 2 ขั้นตอน โดยการนำน้ำมันมะพร้าวมาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนที่ 1 มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

ในขั้นตอนนี้กรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวจะลดลงจาก 12.84 % เหลือต่ำกว่า 1% โดยการนำน้ำมันมะพร้าวมาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันมะพร้าวจะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์ดังแสดงในสมการทั่วไป



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ฉะนั้นจะต้องใช้เมทานอลจำนวนมากเกินพอเติมลงไปเพื่อผลักดันให้สมดุลเลื่อนไปทางขวา ซึ่งจะทำได้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น

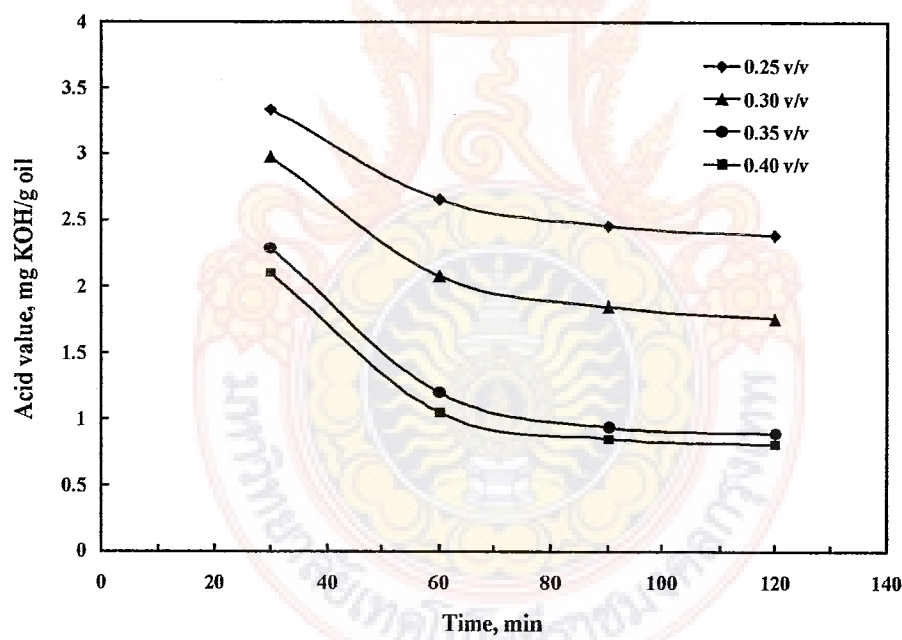
4.2.1 อิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน คือ ปริมาณเมทานอล ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่อการลดลงของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันมะพร้าว โดยอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้คือ 0.25, 0.3, 0.35, และ 0.4 v/v และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้คือ 30, 60, 90, และ 120 นาที ในการทดลองจะใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7 % v/v of oil และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 °C ผลที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-2 ซึ่งเป็นกราฟที่พลอตระหว่างค่าความเป็นกรดกับเวลาที่อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันต่างๆ

จากภาพที่ 4-2 จะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรด ของน้ำมันจะลดลงจาก 25.68 เหลือ 1.85 และ 0.94 mg KOH/g oil ภายในเวลา 90 นาทีที่อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.30 และ

0.35 v/v ตามลำดับ ผลเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้นี้เป็นไปตามผลการวิจัยของนักวิจัยหลายๆ คน [7,13,21] ค่าความเป็นกรด จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 60 นาทีแรก หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงในขณะที่เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระเป็นตัวยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา การเพิ่มอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันสูงถึง 0.4 v/v เป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง เพราะที่ 0.4 v/v นี้ การลดลงของค่าความเป็นกรดไม่แตกต่างจากเมื่อใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.35 v/v มากนักอีกทั้งด้วยเหตุผลในแง่ของต้นทุนในการผลิตด้วย

ฉะนั้น 0.35 v/v จึงเป็นอัตราส่วนที่ต่ำที่สุดที่ทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าว ลดลงต่ำกว่า 2 mg KOH/g oil โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุด ด้วยเหตุนี้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.35 v/v จึงถูกเลือกให้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด



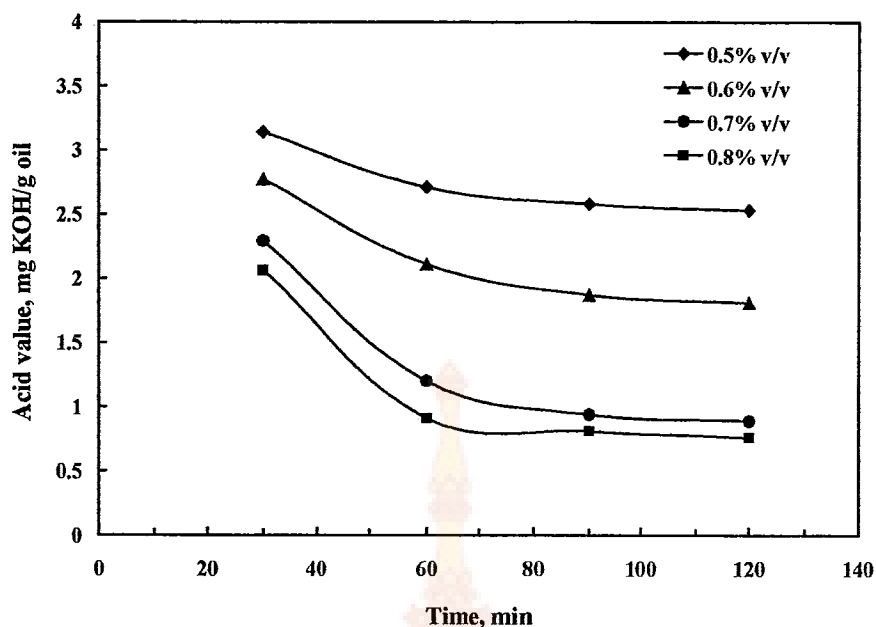
ภาพที่ 4-2 อิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อการลดลงของค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าว (ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7% v/v of oil และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60 °C)

4.2.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

ตัวแปรอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการลดลงของค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าวในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งคือ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ในการวิจัยนี้จะใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่อการลดลงของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันมะพร้าว โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ 0.5, 0.6, 0.7, และ 0.8 % v/v of oil และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาคือ 30, 60, 90, และ 120 นาที ในการทดลองจะใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 0.35 v/v และ 60 °C ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-3 ซึ่งเป็นกราฟที่พลอตระหว่างค่าความเป็นกรดกับเวลาที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ

ภาพที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วในการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ฉะนั้นเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 0.5, 0.6, 0.7% v/v of oil ค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าวจะลดลงเหลือ 2.58 1.87 และ 0.94 mg KOH/g oil ตามลำดับภายในเวลา 90 นาที ซึ่งผลที่ได้นี้เป็นไปตามผลที่รายงานโดยนักวิจัยคนอื่นๆ [7,10,21] อย่างไรก็ตามก็定会เห็นว่าที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาดำ (0.5% v/v of oil) ค่าความเป็นกรดของน้ำมันจะไม่ลดลงต่ำกว่า 2 mg KOH/g oil แม้ว่าจะหลังจาก 120 นาทีแล้วก็ตาม

ฉะนั้นในการทดลองตอนนี้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7% v/v of oil จะถูกเลือกให้เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่ทำให้ค่าความเป็นกรดลดลงเหลือต่ำกว่า 2 mg KOH/g oil โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุด สำหรับความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงกว่า 0.7% v/v of oil จะทำให้ขั้นตอนการล้างผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวทำได้ยากมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น

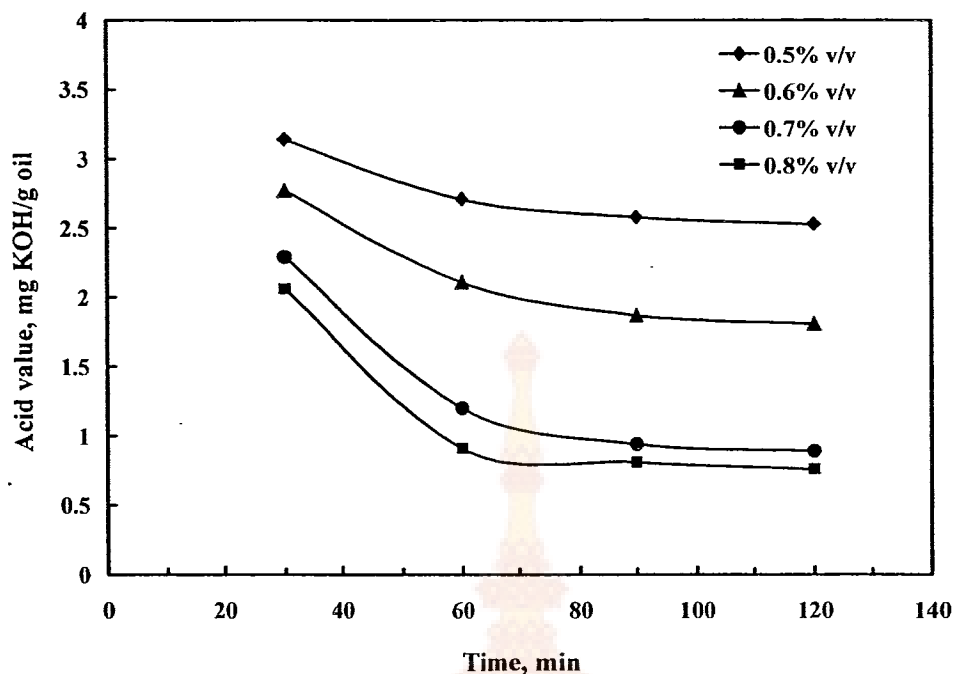


ภาพที่ 4-3 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่อการลดลงของค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าว (อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.35 v/v และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60 °C)

4.2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อการเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าที่แตกต่างกัน 4 ค่าคือ 32, 40, 50, และ 60 °C และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา คือ 30, 60, 90, และ 120 นาที ในขณะที่อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ 0.35 v/v และ 0.7% v/v of oil ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-4 ซึ่งเป็นกราฟที่พล็อตระหว่างค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าวและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

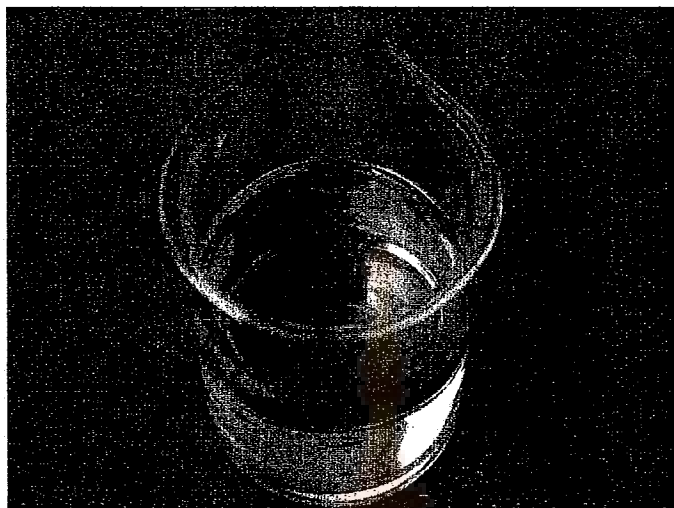
ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยามีบทบาทที่สำคัญต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าว โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังที่เห็นจากกราฟอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ผลการทดลองที่ได้นี้เป็นไปตามผลการวิจัยที่ได้รายงานไว้ก่อนหน้านี้ [7,18] ฉะนั้นที่เวลา 90 นาที ค่าความเป็นกรดจะลดลง 89.92 และ 96.08 % เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 40 และ 60 °C ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ก็ต้องสังเกตได้ว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันมะพร้าวสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิห้อง (32 °C) แต่ค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าวจะไม่ลดต่ำกว่า 2 mg KOH/g oil



ภาพที่ 4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อการลดลงของค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะพร้าว (อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.35 v/v และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7% v/v of oil)

แม้แต่หลังจาก 120 นาทีไปแล้วก็ตาม อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่สูงที่สุดจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 60°C และค่าความเป็นกรดจะลดลงจาก 25.68 ไปเป็น 1.2 mg KOH/g oil ภายในเวลา 60 นาที สำหรับอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่สูงกว่า 60°C ควรจะหลีกเลี่ยงเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะมีโอกาสในการสูญเสียเมทานอลสูงด้วย รวมทั้งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซลสูงขึ้นด้วย ด้วยเหตุนี้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดจึงเป็น 60°C เนื่องจากค่าความเป็นกรดของน้ำมันลดลงต่ำกว่า 2 mg KOH/g oil โดยใช้เวลาน้อยที่สุด

ฉะนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับขั้นเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 0.35 v/v ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7% v/v of oil อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60°C และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที ซึ่งที่สภาวะนี้ปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวจะลดลงจาก 12.84 เหลือเพียง 0.6 % ผลตกตะกอนน้ำมันมะพร้าวที่ได้จากขั้นเอสเทอริฟิเคชันนี้มีลักษณะใสและมีสีเหลือง โดยมีปริมาณน้ำเท่ากับ 0.0146% w น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.6% แสดงอยู่ในภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.6%

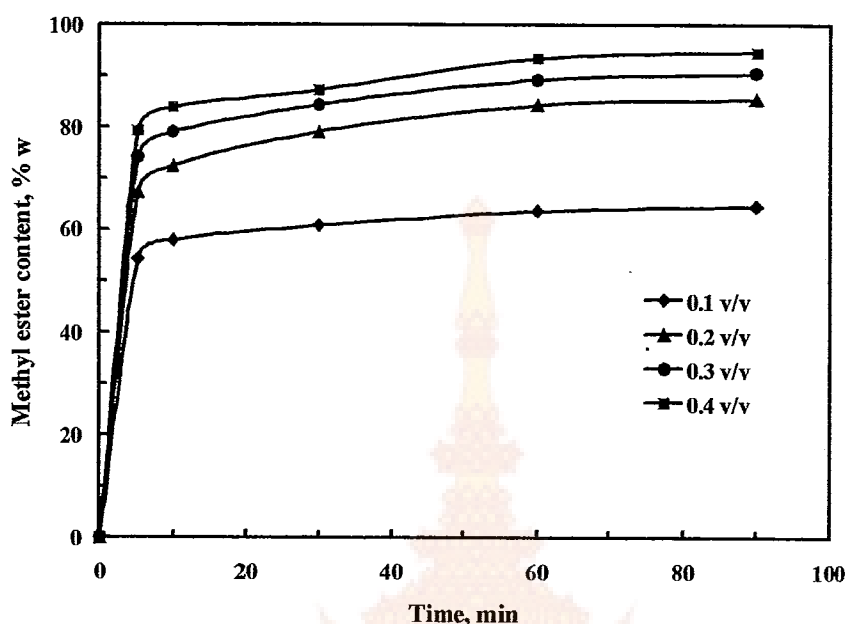
4.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ในขั้นตอนนี้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวที่เตรียมขึ้นจากสถานะที่เหมาะสมของขั้นตอนการเอสเทอร์ฟิเคชัน จะถูกนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวให้เป็นเมทิลเอสเทอร์

4.3.1 อิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ตัวแปรที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคือ ปริมาณแอลกอฮอล์ จากการที่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงต้องใช้แอลกอฮอล์ปริมาณมากเกินพอเพื่อผลักดันให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปทางขวาได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ โดยอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้คือ 0.10, 0.20, 0.30, และ 0.4 v/v และเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 5, 10, 30, 60, และ 90 นาที สำหรับความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ 1% w/v of oil และ 60 °C ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-6 ซึ่งเป็นกราฟที่พลอตระหว่าง

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์กับเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4-6 อิทธิพลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว (ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1% w/v of oil และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60 °C)

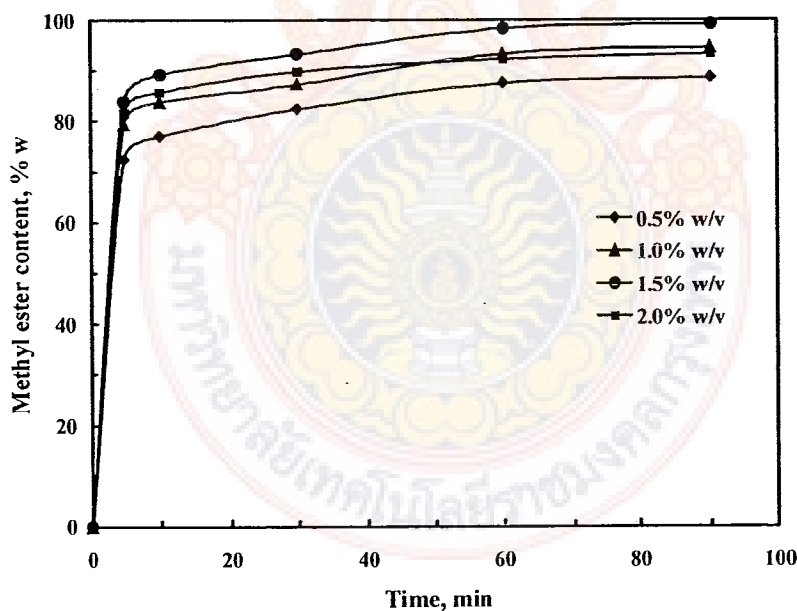
ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ที่อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.1 v/v แม้ว่าภายหลัง 90 นาทีไปแล้วก็ตาม ที่อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีค่าเท่ากับ 79.3% w ภายใน 5 นาที ในขณะที่จะต้องใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาถึง 30 นาทีสำหรับอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 0.2 v/v เพื่อให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกัน ผลที่ได้นี้ชี้ให้เห็นว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอล ผลที่ได้นี้เป็นไปตามผลที่สังเกตได้โดยนักวิจัยคนอื่นๆ [11,16,18] ปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะสูงถึง 93.4% w ที่อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v ในเวลา 60 นาที หลังจากนั้นปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ให้ผลที่ดีที่สุดคือ 0.4 v/v

ในการผลิตในทางอุตสาหกรรมเมทานอลที่มากเกินไปในเฟสของกลีเซอรินจะสามารถแยกกลับมาเพื่อรีไซเคิลเข้าสู่ระบบได้อีกครั้งหนึ่งโดยใช้เครื่องมือในการกลั่น ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนในการผลิตลงได้

4.3.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวแปรอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญซึ่งมีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่ง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยเร่งการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันไปเป็นแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอล จากรายงานของนักวิจัยก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำน้ำมัน *Cynara Cardunculus L.* มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา (0% NaOH) จะพบว่าค่าการเปลี่ยนจากไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นเมทิลเอสเทอร์มีค่าเท่ากับ 0% เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 120 นาที

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกิดการศึกษาได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% w/v of oil และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ 5, 10, 30, 60, และ 90 นาที ในทดลองนี้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้คือ 0.4 v/v และ 60°C ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-7 ซึ่งเป็นกราฟที่พลอตระหว่างปริมาณเมทิลเอสเทอร์กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ



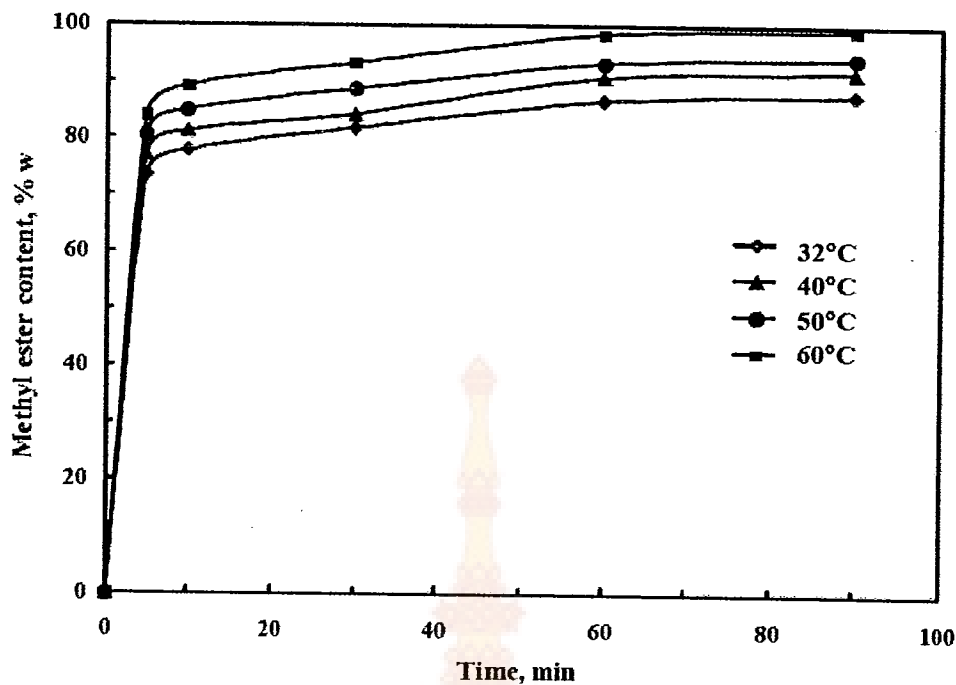
ภาพที่ 4-7 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของใบ โอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว (อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v และ อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60°C)

ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเพิ่มขึ้นด้วย ฉะนั้นที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/v of oil จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 93.3% w ภายในเวลา 30 นาที ในขณะที่เมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1% w/v of oil จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เพียง 87.3% w ภายในเวลาเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้นี้จะเป็นไปตามผลที่ได้มีการรายงานไว้แล้วโดยนักวิจัยคนอื่น [11,16] เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 w/v of oil จะพบว่าอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาจะช้าที่สุด โดยปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะสูงถึง 98.4% w เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.5 % w/v of oil ภายในเวลา 60 นาที แต่เมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงถึง 2% w/v of oil ปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะลดลง โดยจะมีค่าต่ำกว่าปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/v of oil ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลที่ค้นพบโดยนักวิจัยคนอื่นๆ [11,16] ที่เป็นเช่นนี้เนื่องการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสภาวะที่มีความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเบสสูงจะทำให้มีสบู่เกิดขึ้น ซึ่งสบู่จะทำให้ความหนืดของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจึงเกิดได้น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ลดต่ำลง ดังนั้นความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 1.5 % w/v of oil

4.3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.6% โดยอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาได้แก่ 32, 40, 50, และ 60 °C และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาคือ 5, 10, 30, 60, และ 90 นาที ในการทดลองส่วนนี้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ 0.4 v/v และ 1.5% w/v of oil ผลการทดลองที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-8 ซึ่งเป็นกราฟที่พลอตระหว่างปริมาณเมทิลเอสเทอร์กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ

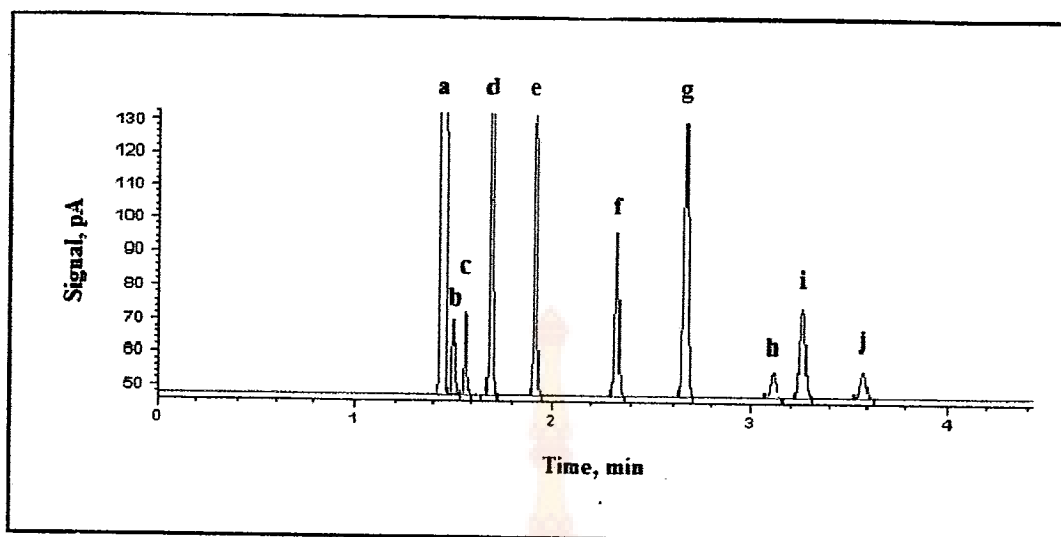
ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยามีอิทธิพลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น โดยจะสังเกตเห็นว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่างๆ แม้แต่ที่อุณหภูมิห้อง (32 °C) อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิห้องปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ช้าที่สุดและเมทิลเอสเทอร์จะเกิดขึ้นเพียง 87% w แม้แต่จะหลังจาก 90 นาทีไปแล้วก็ตาม เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C ปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะเป็น 83.9% w หลังจาก 5 นาทีแล้ว ในขณะที่จะต้องใช้เวลาถึง 30 นาทีในกรณีที่ใช้อุณหภูมิ 40 °C เพื่อให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกัน ผลที่ได้นี้ชี้ให้เห็นว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็น



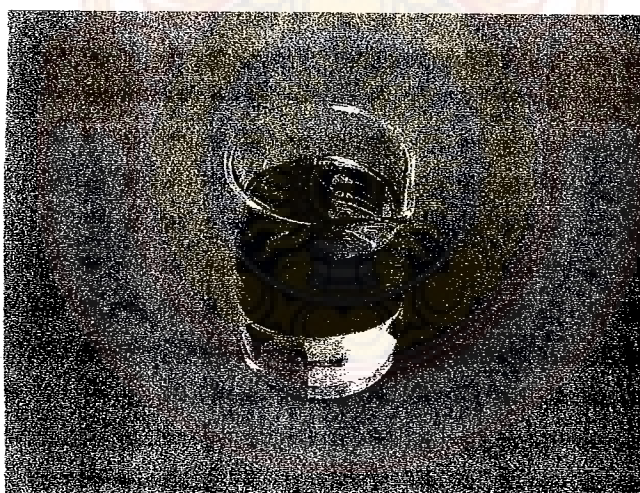
ภาพที่ 4-8 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว (อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/v of oil)

ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็วกว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่สูงกว่า และในกรณีที่ใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำกว่า จะต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ยาวนานกว่าเพื่อให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกัน ผลที่ได้นี้เป็นไปตามผลงานวิจัยที่ได้รายงานไว้ก่อนหน้านี้ [11,12,16] ซึ่งผลที่ได้เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวนี้นี้สามารถเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 60°C โดย ณ อุณหภูมินี้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีค่าสูงถึง 98.4% w ในเวลา 60 นาที ด้วยเหตุนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 60°C

ฉะนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.6% คือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/v of oil อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวนี้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีค่าเท่ากับ 98.4% w สำหรับโครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวและไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่เตรียมได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-9 และ 4-10 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-9 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากมะพร้าว : (a) นอร์มัล-เฮปเทน (b) เมทิลคาพริเลท (methyl caprylate) (c) เมทิลคาเพรท (methyl caprate) (d) เมทิลลอเรท (methyl laurate) (e) เมทิลไมริสเทท (methyl myristate) (f) เมทิลปาลมิเตท (methyl palmitate) (g) เมทิลเฮปตะเดคะโนเอท (methyl heptadecanoate) (h) เมทิลสเตียเรท (methyl stearate) (i) เมทิลโอลีเอท (methyl oleate) (j) เมทิลไลโนลีเอท (methyl linoleate)



ภาพที่ 4-10 ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว

4.4 สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว

ไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระสูง 12.84% ที่สภาวะที่เหมาะสมได้ถูกทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีด้วยวิธีการมาตรฐาน โดยผลที่ได้เทียบกับข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ พ.ศ. 2550 แสดงอยู่ในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวเปรียบเทียบกับข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550

การทดสอบ	ระดับจำกัด	ผลที่ได้
ความหนาแน่น ที่ 15 °C , Kg/m ³	860-900	874.8
ความหนืดที่ 40 °C , mm ² /s	3.5-5.0	2.937
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (3hrs. at 50 °C)	max No.1	1a
ปริมาณกรดทั้งหมด (mg KOH/g)	max 0.50	0.29
ปริมาณน้ำ, % w	report	0.028
กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)	max 0.30	0.24
% w		
ค่าไอโอดีน , g I ₂ /100g	max 120	30
ความร้อนของการเผาไหม้ , MJ/kg	report	38.1
เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 110 °C, hours	Min 6	14.98
ไทโรกลีเซอไรด์ , % w	max 0.50	0.000
ไดกลีเซอไรด์ , % w	max 0.50	0.000
โมนोगลิเซอไรด์ , % w	max 0.50	0.2049

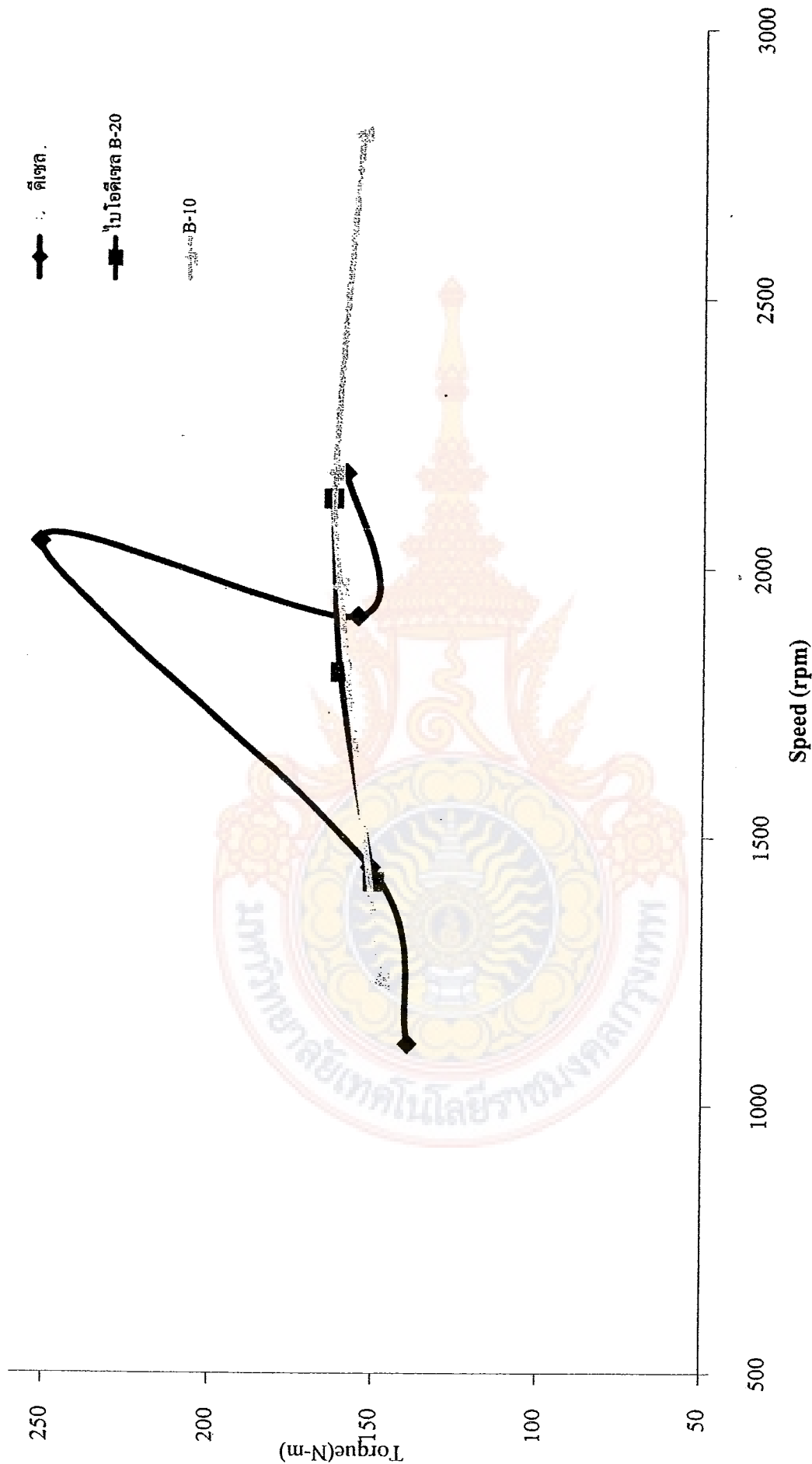
จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าต่ำกว่าน้ำมันมะพร้าวที่เป็นวัตถุดิบประมาณ 9.55 เท่า ซึ่งความหนืดของไบโอดีเซลจากมะพร้าวมีค่าใกล้เคียงกับความหนืดของน้ำมันดีเซล (1.8-4.1 mm²/s) สำหรับข้อได้เปรียบของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวเหนือไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดอื่นอย่างหนึ่งคือ การมีความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันสูง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบชี้ให้เห็นว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวมีความคงทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวประกอบไปด้วยเมทิลเอสเทอร์ที่มีความอึดตัวอยู่ในปริมาณสูงนั่นเอง

ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันนั้น โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เป็นสารตัวกลาง (Intermediat) ที่เกิดขึ้นในระหว่างที่ปฏิกิริยากำลังดำเนินไป ฉะนั้นปริมาณของสารทั้งสองชนิดนี้รวมทั้งปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่จึงเป็นสิ่งที่บ่งชี้ให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ของการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบที่ได้จะพบปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์เพียงเล็กน้อย ในขณะที่ไม่พบไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์เลย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวด้วยเมทานอลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ที่สภาวะที่เหมาะสม นอกจากนี้สมบัติต่างๆ ที่ทำการวิเคราะห์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวเป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ พ.ศ. 2550 ทุกประการ

4.5 การทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระสูง 12.84% ที่สภาวะที่เหมาะสมได้ถูกนำมาทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลมาตรฐาน Nissan TD 27 โดยการเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ซึ่งไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะถูกนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10:90 และ 20:80 โดยปริมาตร ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงอยู่ในภาพที่ 4-11

ภาพที่ 4-11 แสดงให้เห็นว่า เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดเกิดการเผาไหม้จะให้พลังงานในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยสามารถพิจารณาได้จากการที่เครื่องยนต์ผลิต Torque ได้แตกต่างกันที่ Engine speed 2,000 rpm ซึ่งที่ Engine speed 2,000 rpm นี้เครื่องยนต์จะผลิต Torque ได้เท่ากับ 250, 164 และ 165 N-M⁻¹ สำหรับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10:90 และ 20:80 โดยปริมาตรตามลำดับ ซึ่งจากผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าหลังการเผาไหม้น้ำมันดีเซลจะให้พลังงานสูงสุดในขณะที่ไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10:90 และไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20:80 โดยปริมาตรให้พลังงานความร้อนใกล้เคียงกันแต่จะมีค่าต่ำกว่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ดังนั้นไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% จึงสมควรนำไปใช้ในการผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20:80 โดยปริมาตร เนื่องจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลลงได้มากกว่า



ภาพที่ 4-11 กราฟการเปรียบเทียบ Torque กับ Engine speed เมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมัน ดีเซล ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลด้วยอัตราส่วน 10:90 และ 20:80 โดยปริมาตร

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบนี้มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงเกินกว่า 1% ดังนั้นจึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลได้โดยตรงด้วยกระบวนการแบบขั้นตอนเดียว (การทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) ฉะนั้นจึงต้องใช้กระบวนการแบบสองขั้นตอนคือ นำน้ำมันมะพร้าวมาทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนแล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่ง โดยในขั้นตอนแรกจะสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงได้ โดยกรดไขมันอิสระจะเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเตอร์ ส่วนในขั้นตอนที่สอง ไทรกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ในน้ำมันมะพร้าวจะเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์ สำหรับไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพดีและเป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550

ข้อสรุปเฉพาะของการวิจัยในครั้งนี้

1) สภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.35 v/v ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7% v/v of oil อุณหภูมิ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60°C และ 60 นาที ตามลำดับ ในขั้นตอนนี้สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้เหลือเพียง 0.6%

2) สภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.6% คือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/v of oil อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60°C และ 60 นาที ตามลำดับ ในขั้นตอนนี้จะมีเมทิลเอสเตอร์เกิดขึ้นสูงถึง 98.4% w

3) ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาในทั้งสองขั้นตอน โดยการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาจะมีผลในการเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาในทั้งสองขั้นตอน อย่างไรก็ตามในกรณีของการเกิดปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น เมื่อใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันสูงกว่าค่าที่เหมาะสมจะพบว่ามีปริมาณของกรดไขมันอิสระจะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น การใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงเกินกว่าค่าที่เหมาะสม

จะทำให้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ลดลง นอกจากนี้การใช้ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ต่ำจะทำให้ปฏิกิริยาในทั้งสอง ขั้นตอนเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ในช่วงเวลาทำการทดลอง

4) น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมไบโอดีเซลจากมะพร้าวกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20 : 80 โดยปริมาตร เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการทดแทนน้ำมัน ดีเซล



บรรณานุกรม

1. เกษร พะลัง. (2526). เคมีอินทรีย์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช
2. พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล. 2550. ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือก?. สืบค้นเมื่อ 4 กุมภาพันธ์ 2550. จาก http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?il=90&i2=10000
3. ผลไม้ในประเทศไทย. 2550. สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2550, จาก <http://www.culture.go.th/knowledge/thaifruit/coconut.htm>.
4. ลลิตา อัครนโก, อรเพ็ญ หนูสุวรรณและพิสมัย เจนวนิชปัญญกุล. 2550. การศึกษาในเบื้องต้นถึงวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันมะพร้าวโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี PRELIMINARY STUDY ON THE ANALYSIS OF COCONUT OIL METHYL ESTER BY CAPILLARY GAS CHROMATOGRAPHY. สืบค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2550, จาก http://www.scisoc.or.th/stt/28/web/content/A_01/A02.htm
5. สุนันทา ภิญญวรินทร์. (2539). ชีวเคมี 1 Biochemistry 1 CH 351. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์
6. Berchmans. HJ, Hirata S. (2008). "Biodiesel production from crude *jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids." Bioresource Technology. 99(6):1716-21.
7. Berrios M, siles J, Martin M.A, Martin A. (2007). "A kinetic study of esterification of free fatty acids(FFA) in sunflower oil." Fuel. 86:2383-8.
8. Bunyakiat, K., Makmee, S., Sawangkeaw, R and Ngamprasertsith. S. (2006). "Continuous Production of Biodiesel via Transesterification from Vegetable Oils in Supercritical Methanol." Energy Fuels. 20(2): 812-817.
9. Canakci M, Van Gerpen J. (1999). "Biodiesel production via acid catalyst." Trans ASAE. 42(5):1203-10.
10. Canakci M, Van Gerpen J. (2001). "Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids." Trans ASAE. 44(6):1429-36.
11. Encinar JM, Gonzalez JF, Sabio E, Ramiro MJ. (1999). "Preparation and Properties of Biodiesel from *Cynara cardunculus* L.Oil." Ind. Eng. Chem. Res. 38:2927-31.

บรรณานุกรม (ต่อ)

12. Freedman B, Pryde EH, Mounts TL. (1984). "Variables affecting the yield of fatty esters from transesterified vegetable oils." J Am Oil Chem Soc. 61(10):1638-43
13. Ghadge SV, Raheman H. (2005). "Biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil having high free fatty acid." Biomass and Bioenergy. 28:601-5.
14. Gerpen JV. (2005). "Biodiesel processing and production." Fuel Processing Technology. 86:1097-1107
15. Ma F, Hanna MA. (1999). "Biodiesel production: a review." Bioresource Technology 70:1-15.
16. Meher LC, Dharmagadda Vidaya SS, Naik SN. (2006). "Optimization of alkali-catalyzed transesterification of Pongamia pinnata oil for production of biodiesel." Bioresource Technology. 97:1392-7.
17. Meher LC, Sagar DV, Naik SN. (2006). "Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review." Renewable and Sustainable Energy Reviews. 10(3):248-268.
18. Ramadhas AS, Jayaraj S, Muraleedharan C. (2005). "Biodiesel production from high FFA rubber seed oil." Fuel. 84:335-40.
19. Ramadhas AS, Muraleedhaean C, Jayaraj S. (2005). "Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil." Renewable Energy. 30:1789-1800.
20. Tiwari AK, Kumar A, Raheman H. (). "Biodiesel production from jatropha oil (*jatropha curcas*) with high FFAs: An optimized process." Biomass & Bioenergy
21. Veljkovic VB, Lakicevic SH, Stamenkovic OS, Todorovic Z.B, Lazic ML. (2006). Biodiesel production from tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seed oil with a high content of free fatty acids." Fuel. 85:2671-5.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ตามวิธีการมาตรฐาน AOAC 940.28

1. อุปกรณ์

- 1.1 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml
- 1.2 ปิเปตขนาด 50 ml
- 1.3 บิวเรตขนาด 50 ml

2. วิธีการเตรียมสารเคมีที่ใช้

- 2.1 สารละลาย 0.1 นอร์มัล โซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1 N NaOH)

ละลาย NaOH 4 กรัมด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml ด้วยขวดวัดปริมาตร

- 2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogen phthalate standard solution : $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)

ชั่ง $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ประมาณ 15-20 กรัม บดให้ละเอียด นำไปอบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดสิเคเตอร์ (Desicator) จากนั้นชั่งมา 10.0000 กรัมพอดี นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml ด้วยขวดวัดปริมาตร

- 2.3 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้น 1%

ชั่งฟีนอล์ฟทาลีน 1 กรัมละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยเอทานอล 95%

3. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย 0.1 N NaOH

- 3.1 บรรจุน้ำสารละลาย 0.1 N NaOH ลงในบิวเรตขนาด 50 ml

3.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 40 ml ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml หยดฟีนอล์ฟทาลีน ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด

- 3.3 ไทเทรตจนได้สารละลายสีชมพูอ่อน

4. การคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

$$(N) \text{ NaOH} = \frac{A \times B}{204 \times C}$$

เมื่อ A = น้ำหนักเป็นกรัมของสารมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต
ที่ใช้เป็นสารละลาย

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต
ที่นำมาไทเทรต (ml)

C = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)

5. การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวอย่างน้ำมัน

5.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันประมาณ 7.0500 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml

5.2 บีบดนิวทริลไลซ์แอลกอฮอล์ 50 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ ในข้อที่ 5.1

5.3 หยดฟีนอล์ฟทาเลอินซึ่งใช้เป็นอินดิเคเตอร์ประมาณ 3-4 หยด

5.4 ไทเทรตด้วยสารละลาย 0.1 N NaOH จนได้สารละลายสีชมพูอ่อนๆ ปรากฏนาน
อย่างน้อย 1 นาที จดปริมาตรสุดท้าย

6. การคำนวณ

$$\% \text{ FFA} = \frac{V \times N \times \text{MW} \times 100}{W \times 1000}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลาย NaOH (ml)

N = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (N)

MW = มวลโมเลกุลของกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณมากที่สุดในตัวอย่งน้ำมัน

W = น้ำหนักของน้ำมัน (g)

ภาคผนวก ข

1. การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84%

1.1 อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน

ตัวอย่างเช่น 0.4 v/v

ในการทดลองใช้ปริมาตรรวมของสารผสม 100 ml

อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v หมายถึง ใช้เมทานอล 4 ส่วนปริมาตร และน้ำมัน 10 ส่วนปริมาตร ดังนี้

$$\frac{\text{เมทานอล}}{\text{น้ำมัน}} = \frac{4 \text{ ปริมาตร}}{10 \text{ ปริมาตร}}$$

ดังนั้นตามอัตราส่วนนี้สารผสมจะมีปริมาตรรวม 14 นั่นคือ

ถ้าปริมาตรรวม = 14 ml จะต้องใช้เมทานอล 4 ml และน้ำมัน

10 ml

นั่นคือ	ปริมาตรรวม 14 ml	ใช้น้ำมัน	10 ml
	ปริมาตรรวม 100 ml	ใช้น้ำมัน	$\frac{10 \times 100}{14}$ ml
			71 ml

และใช้เมทานอล 100-71 ml = 29 ml

เพราะฉะนั้นในกรณีที่ใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v จะต้องใช้น้ำมัน 71 ml และใช้เมทานอล 29 ml

1.2 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการเอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวนี้ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเนื่องจากกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นของเหลว ดังนั้นจึงใช้ความเข้มข้นในหน่วย % v/v of oil

ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.7% v/v of oil (ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.7% v/v of oil)

ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.7% v/v of oil หมายถึงปริมาตรรวมของสารผสม 100 ปริมาตร จะต้องใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.7 ส่วนปริมาตรและน้ำมัน 99.3 ส่วนปริมาตร

ดังนั้นในกรณีที่ใช้ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v จะต้องใช้น้ำมัน 71 ml จะคำนวณปริมาณของกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ใช้ได้ดังนี้

ถ้าใช้น้ำมัน 99.3 ml

จะใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.7 ml

ถ้าใช้น้ำมัน 71 ml

จะใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น $\frac{0.7 \times 71}{99.3}$

0.50 ml

เพราะฉะนั้นในกรณีที่ใช้ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v และความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ใช้ 0.7% v/v of oil จะต้องใช้น้ำมัน 71 ml เมทานอล 29 ml และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.50 ml

1.3 ปริมาณสารตั้งต้นที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์ในปริมาณมาก

ภายหลังจากที่เลือกสถานะที่เหมาะสมในการเอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 12.84% แล้ว จะต้องทำการสังเคราะห์ในปริมาณมาก (20l) เพื่อนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในขั้นตอนที่ 2

ในการสังเคราะห์ปริมาณมากนี้ขอทำปฏิกิริยาได้เปลี่ยนเป็นขวดขนาด 500 ml ซึ่งปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้สามารถคำนวณได้ดังแสดงในภาคผนวก ข หัวข้อที่ 1.1 และ 1.2 ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณแสดงดังในตารางภาคผนวก ข-1

ตารางภาคผนวก ข-1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% ในปริมาณมาก

ปริมาณน้ำมันมะพร้าว (ml)	ปริมาณเมทานอล (ml)	ปริมาณกรดซัลฟิวริก เข้มข้น (ml)
259	91	1.83

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 350 ml

2. การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมัน 0.6%

2.1 อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน

จะคำนวณเหมือนที่แสดงในภาคผนวก ข หัวข้อที่ 1.1

2.2 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

การทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% นี้จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการนำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มาละลายในเมทานอล เนื่องจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นของแข็ง ดังนั้นจึงใช้ความเข้มข้นในหน่วย % w/v of oil

ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % w/v of oil

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % w/v of oil หมายถึงถ้าใช้น้ำมันมะพร้าว 100 ส่วนปริมาตรจะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 ส่วนน้ำหนักละลายในเมทานอล

ดังนั้นในกรณีที่ใช้ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v จะต้องใช้น้ำมัน 71 ml และจะคำนวณปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ได้ดังนี้

ถ้าใช้น้ำมัน	100 ml	จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หนัก	1 กรัม
ถ้าใช้น้ำมัน	71 ml	จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หนัก	$\frac{1 \times 71}{100}$ กรัม
			0.7100 กรัม

เพราะฉะนั้นในกรณีที่ใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 0.4 v/v และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ 1 % w/v of oil จะต้องใช้น้ำมัน 71 ml เมทานอล 29 ml และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.7100 กรัม

1.3 ปริมาณสารตั้งต้นที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์ในปริมาณมาก

ภายหลังจากที่เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันมะพร้าวที่มีไขมันอิสระ 0.6 % แล้ว จะได้ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว จากนั้นจะต้องสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวในปริมาณมาก (20 l) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ รวมทั้งการทดสอบเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลมาตรฐาน

ในการสังเคราะห์ปริมาณมากนี้ขวดทำปฏิกิริยาได้เปลี่ยนเป็นขวดขนาด 500 ml ซึ่งปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้สามารถคำนวณได้ดังแสดงในภาคผนวก ข ในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณแสดงดังในตารางภาคผนวก ข-2

ตารางภาคผนวก ข-2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.6% ในปริมาณมาก

ปริมาณน้ำมันมะพร้าว (ml)	ปริมาณเมทานอล (ml)	ปริมาณโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (g)
250	100	3.7500

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 350 ml



ภาคผนวก ก

การหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล

1. วิธีการ

การหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลจะใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี โดยเครื่อง GC ที่ใช้เป็น Agilent 6890N ซึ่งจะเชื่อมต่อด้วย Flame ionization detector และ Capillary column of crosslinked polyethylene glycol (HP-INNOWAX, 25 m x 0.20 mm x 0.2 μ m) . ความร้อนของเตา GC จะตั้งไว้ที่ 200 °C เป็นเวลา 5 นาที แก๊สพาที่ใช้เป็นแก๊สฮีเลียมซึ่งไหลด้วยอัตราเร็ว 0.5 ml/min ในการวิเคราะห์นี้จะฉีดสารละลายตัวอย่างปริมาณ 1 μ l เข้าเครื่อง GC โดยในการเตรียมสารละลายตัวอย่างจะใช้ นอร์มัล-เฮปเทนเป็นตัวทำละลายและใช้เมทิลเฮปตะเดคะโนเอทเป็น Internal standard ในการหาปริมาณวิเคราะห์

2. การเตรียมตัวอย่าง

2.1 ชั่งสารมาตรฐานเมทิลเฮปตะเดคะโนเอทหนัก 0.010 $\pm$ 0.001 g ใส่ขวดไวแอล (vial) ขนาด 5 ml บันทึกน้ำหนักที่ชั่งจริงเอาไว้

2.2 ชั่งตัวอย่างไบโอดีเซล 0.050 $\pm$ 0.003 g ใส่ลงในขวดไวแอลในข้อ 2.1 บันทึกน้ำหนักที่ชั่งจริงเอาไว้

2.3 บีบปิเปต นอร์มัล-เฮปเทน 1.25 ml ใส่ลงในไวแอลเดิมแล้วปิดฝา เขย่าให้ของผสมละลายเข้ากัน

2.4 นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ไปฉีดเข้าเครื่อง GC

3. การคำนวณ

จากโครมาโทแกรมที่ได้จะสามารถคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ได้โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$C = \frac{((\sum A - A_{EI} - A_H) \times M_{17} \times 100)}{(A_{EI} \times M_i)}$$

เมื่อ	C	=	ปริมาณเมทิลเอสเทอร์, % w
	ΣA	=	พื้นที่ใต้พีคทั้งหมด
	A_{EI}	=	พื้นที่ใต้พีคของเมทิลเฮปตะเดคะ โนเอท
	A_H	=	พื้นที่ใต้พีคของนอร์มัล-เฮปเทน
	M_{17}	=	น้ำหนักของเมทิลเฮปตะเดคะ โนเอท , mg
	M_s	=	น้ำหนักของตัวอย่างไบโอดีเซล , mg

