



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง

Biodiesel Production from *Hibiscus sabdariffa* Linn. oil

คณะผู้วิจัย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปยุต นาคพงศ์
2. นางศศิวิมล วุฒิกนกกาญจน์

RMUTK - CARIT



โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณผลประโยชน์ปี พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

คำนำ

รายงานเล่มนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อรายงานผลการทำโครงการวิจัยเรื่อง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง ซึ่งคณะผู้วิจัยได้รับเงินสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ด้วยงบประมาณผลประโยชน์ปี พ.ศ. 2552 จำนวน 170,000 – บาท ในการดำเนินการวิจัย ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการหาแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม โดยในงานวิจัยได้นำน้ำมันกระเจียบแดงมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากเมล็ดกระเจียบแดงมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบประมาณ 18% ซึ่งในปัจจุบันน้ำมันกระเจียบแดงยังไม่ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายรวมทั้งไม่ได้นำมาใช้ในการประกอบอาหาร จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีคุณภาพดีมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและสมบัติอื่นๆ เป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 และมาตรฐานระหว่างประเทศ EN 14214:2008 (E) และ ASTM D 6751-07b ยกเว้นค่าการถ่านซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานและเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้รวบรวมทฤษฎีและข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยไว้ด้วย คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้สนใจ ซึ่งจะสามารถนำข้อมูลที่มีในรายงานนี้ไปใช้ในการวิจัยหรือการเรียนการสอนหรือนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดงในระดับอุตสาหกรรมต่อไป หากรายงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

27 มกราคม 2553

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหลวงตาทวี วัดพยัคฆราม จังหวัดสุพรรณบุรีซึ่งเป็นผู้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้น้ำมันกระเจี๊ยบแดงและข้อแนะนำต่างๆ ในการนำน้ำมันกระเจี๊ยบแดงมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล และคุณสุริยะ พรตังจิตลิขิต ช่างเทคนิค ฝ่ายวิจัยเชื้อเพลิงและหล่อลื่น สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ป.ต.ท บริษัท ป.ต.ท จำกัด มหาชน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ตามวิธีมาตรฐาน EN 14103 ที่ให้คำแนะนำเบื้องต้นในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้รวมทั้งข้อแนะนำอื่นๆ เกี่ยวกับสมบัติของไบโอดีเซลซึ่งทำให้คณะผู้วิจัยสามารถนำความรู้และประสบการณ์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยรวมทั้งขอขอบคุณคุณภริตา โพธิสุข พนักงานควบคุมคุณภาพอาวุโส บริษัท ป.ต.ท จำกัด ซึ่งได้ให้คำแนะนำต่างๆ เกี่ยวกับการทดสอบสมบัติของไบโอดีเซล นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับสถานที่ในการทำวิจัย อุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบิดา-มารดาที่ได้ให้กำลังใจในการทำวิจัยจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยได้ศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อปฏิกิริยาได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ในช่วงระหว่าง 4:1-10:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงระหว่าง 0.25-2.0% w/w of oil อุณหภูมิในช่วงระหว่าง 32°-60°C และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาในช่วงระหว่าง 5-80 นาที ซึ่งเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์จะถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้เทคนิค GC ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ด้วยวิธีการมาตรฐาน จากการวิจัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/w of oil อุณหภูมิ 60°C และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที ซึ่งปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับ 99.4% w/w โดยสมบัติที่ทดสอบของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลทั้งหมดเป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล (B 100) ของประเทศไทยและมาตรฐานระหว่างประเทศ EN 14214:2008 (E) และ ASTM D 6751-07b ยกเว้นค่าการถ่านซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานและเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน



Abstract

The present research concerns the study of biodiesel production from the transesterification of roselle oil with methanol by using potassium hydroxide as catalyst. The effects of reaction parameters such as methanol to oil molar ratios of 4:1 to 10:1, catalyst concentrations of 0.25-2.0% w/w of oil, temperatures of 32^o-60^oC, and reaction times of 5-80 minutes were studied. The methyl ester content in the product was determined by GC technique. The properties of biodiesel product were determined by standard methods. The results from this research showed that the optimum conditions were methanol to oil molar of 8:1, catalyst concentration of 1.5% w/w of oil, reaction temperature of 60^oC, and reaction time of 60 minutes. The methyl ester content in the product under the optimum conditions was 99.4% w/w. The measured properties of biodiesel product met the Thai biodiesel (B100) specifications and international standard standards EN 14214:2008 (E) and ASTM D 6751-07b, with the exception of a higher carbon residue and lower oxidation stability.



สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	6
2.1 กระเจียบแดง	6
2.2 ไบโอดีเซล	8
2.3 ปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	9
2.3.1 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับปฏิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน	9
2.3.2 ตัวแปรที่มีผลต่อปฏิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิริยา	11
2.4 มาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซล	12

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

2.5	ความสำคัญของสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ	14
2.5.1	ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester content)	14
2.5.2	ความหนืด (Viscosity)	14
2.5.3	ซีเทนัมเบอร์ (Cetane number)	14
2.5.4	ค่าความเป็นกรด (Acid value)	15
2.5.5	ความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน (Oxidation stability)	15
2.5.6	ปริมาณแอลกอฮอล์ (Alcohol content)	15
2.5.7	ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และ ไตรกลีเซอไรด์ (Mono-, Di- and Triglyceride contents)	16
2.5.8	ปริมาณน้ำ (water content)	16
2.5.9	ปริมาณกำมะถัน (Sulfur content)	16
2.5.10	ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorous content)	17
2.5.11	ปริมาณเถ้าซัลเฟต (Sulfate ash content)	17
2.5.12	สิ่งเจือปนทั้งหมด (Total contamination)	17
บทที่ 3	เนื้อหาการวิจัย	18
3.1	วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1.1	วิเคราะห์สมบัติของน้ำมันกระเจี๊ยบแดง ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	18
3.1.2	ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา	18

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

3.1.3	การวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ ไบโอดีเซล	18
3.2	สารเคมี วัสดุและอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ ในการวิจัย	19
3.2.1	สารเคมี	19
3.2.2	วัสดุและอุปกรณ์	19
3.2.3	เครื่องมือ	19
3.3	การออกแบบการวิจัย	19
3.4	การทดลอง	20
3.4.1	วิธีการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมัน กระเจี๊ยบแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	20
3.4.2	วิธีการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมัน กระเจี๊ยบแดงโดยใช้โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	21
3.4.3	การวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซล จากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง	29
บทที่ 4	ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	31
4.1	สมบัติของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	31
4.2	การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงโดยใช้โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	33
4.2.1	ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล ต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา	34

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2.2 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา	35
4.2.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิด ปฏิกิริยา	37
4.3 สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	50
ภาคผนวก ค	53



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2-1	ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเทอร์ พ.ศ. 2550 (กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน)	12
ตารางที่ 3-1	ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาผลของ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์- เอสเทอร์ฟิเคชัน	27
ตารางที่ 3-2	ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาผลของ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการ เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	28
ตารางที่ 3-3	อุณหภูมิและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษา ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	29
ตารางที่ 4-1	องค์ประกอบของกรดไขมันที่มีในน้ำมันกระเจี๊ยบ แดงและสมบัติที่สำคัญ	32
ตารางที่ 4-2	สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง เปรียบเทียบกับข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพ ของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 และมาตรฐานระหว่างประเทศ EN 14214:2008 (E) และ ASTM D 6751-07b	42
ตารางภาคผนวก ข-1	การคำนวณน้ำหนักและปริมาตรของเมทานอล และน้ำมันกระเจี๊ยบแดง	50
ตารางภาคผนวก ข-2	ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงในปริมาณมาก	52

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 2-1	ต้นและดอกกระเจี๊ยบแดง	7
ภาพที่ 2-2	ดอกกระเจี๊ยบแดงแห้ง	7
ภาพที่ 2-3	เมล็ดกระเจี๊ยบแดง	8
ภาพที่ 2-4	กลไกในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์- ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	10
ภาพที่ 3-1	การเตรียมสารละลายของโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ในเมทานอล	23
ภาพที่ 3-2	การจัดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทรานส์เอส- เทอร์ฟิเคชัน	24
ภาพที่ 3-3	สารผสมที่ได้หลังจากปฏิกิริยาลิ้นสุดลง	24
ภาพที่ 3-4	การล้างชั้นของเมทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำกลั่นที่ อุณหภูมิ 60°C	25
ภาพที่ 3-5	กระดาษ pH สำหรับวัดความเป็นกรด-ด่างใน ขั้นตอนการล้างชั้นเมทิลเอสเทอร์	25
ภาพที่ 3-6	การระเหยแยกน้ำออกจากชั้นของเมทิลเอสเทอร์ ด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ	26
ภาพที่ 4-1	น้ำมันกระเจี๊ยบแดง	31
ภาพที่ 4-2	ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิล เอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง (ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/w of oil และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60 °C)	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4-3	ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง (อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60 °C)	36
ภาพที่ 4-4	ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง (อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/w of oil)	38
ภาพที่ 4-5	GC โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง	39
ภาพที่ 4-6	ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง	39



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันแหล่งปิโตรเลียม(น้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาติ) เป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากของโลก โดยปิโตรเลียมจะเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนสำหรับการคมนาคมขนส่ง อุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้า และการให้ความอบอุ่นภายในครัวเรือน เป็นต้น นอกจากนี้ปิโตรเลียมยังถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมีอีกด้วยเช่น อุตสาหกรรมยา ตัวทำละลาย ปุ๋ย ยาฆ่าแมลงและพลาสติก เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันความต้องการสารป้อนสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันแก๊สโซลีนและน้ำมันดีเซลเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องไปทั่วโลก [1] อย่างไรก็ตามแหล่งปิโตรเลียมนี้มีจำนวนจำกัดและเป็นแหล่งพลังงานแบบไม่หมุนเวียน [2,3] และถ้าแหล่งทรัพยากรเหล่านี้ยังคงถูกใช้ด้วยอัตราดังเช่นในปัจจุบัน แหล่งทรัพยากรนี้ก็จะหมดไปในเวลาไม่ช้า ยิ่งไปกว่านั้นการใช้เชื้อเพลิงที่มาจากปิโตรเลียมกันอย่างกว้างขวางยังเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาโลกร้อนและมลภาวะในด้านต่างๆ ดังนั้นจากปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นเหล่านี้จึงกระตุ้นให้นักวิจัยสนใจในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือกเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม ซึ่งหนึ่งในเชื้อเพลิงทางเลือกที่เป็นที่สนใจเป็นอย่างมากคือ ไบโอดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล สาเหตุที่ไบโอดีเซลได้รับความสนใจมากเนื่องจากไบโอดีเซลไม่เป็นพิษ เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน สามารถย่อยสลายได้ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสามารถผลิตได้ภายในประเทศ [2,4,5] นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ร่วม (co-product) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลคือ กลีเซอริน (Glycerin) หรือ (Glycerol) เป็นสารที่มีคุณค่า สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสบู่ เครื่องสำอางและยาอีกด้วย [6] สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่มีแหล่งแก๊สธรรมชาติอุดมสมบูรณ์ในอ่าวไทย แต่ขาดแคลนแหล่งน้ำมันดิบสำหรับใช้ภายในประเทศ ดังนั้นจึงต้องมีการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ทำให้ประเทศต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศไปเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกยังมีความผันผวนอยู่ตลอดเวลาอีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอีกด้วย ด้วยเหตุนี้การใช้ไบโอดีเซลในลักษณะของการผสมกับน้ำมันดีเซลหรือการใช้แบบไม่ต้องผสมกับน้ำมันดีเซลจึงเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลภายในประเทศลงไปได้ จึงเป็นการช่วยเศรษฐกิจของชาติโดยการ

รักษาเงินตราต่างประเทศที่ใช้สำหรับการนำเข้าน้ำมันและช่วยให้คนไทยมีงานทำเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งเกษตรกรยังมีรายได้เพิ่มมากขึ้นจากการปลูกพืชน้ำมันเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ที่มีเป็นจำนวนมากและมีราคาถูกภายในประเทศ รวมทั้งน้ำมันพืชที่ใช้แล้วก็สามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้อีกด้วย น้ำมันพืชดังกล่าวนี้จะไม่สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงเนื่องจากโมเลกุลมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลหลายเท่า ดังนั้นในกรณีที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลจึงต้องมีการนำน้ำมันพืชเหล่านี้มาทำปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลงและมีความหนืดต่ำใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวนี้คือไบโอดีเซลที่มีสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงหรือดีกว่าน้ำมันดีเซลนั่นเอง

สำหรับพืชน้ำมันที่มีการปลูกในประเทศไทยนั้นมีหลายชนิดได้แก่ ปาล์ม ละหุ่ง มะพร้าว ทานตะวันและถั่วเหลือง เป็นต้น ซึ่งพืชน้ำมันแต่ละชนิดนี้จะให้ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน รวมทั้งองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของน้ำมันก็แตกต่างกันไปด้วย โดยในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเพื่อใช้ภายในประเทศ แต่ในบางครั้งราคาของน้ำมันปาล์มเริ่มมีความผันผวนเช่นกัน นอกจากพืชน้ำมันที่กล่าวมาแล้วนี้ยังมีพืชที่ให้น้ำมันอีกชนิดหนึ่งได้แก่ กระเจี๊ยบแดง โดยมีน้ำมันอยู่ในส่วนของเมล็ด ซึ่งเมล็ดกระเจี๊ยบแดงมีปริมาณน้ำมันอยู่ประมาณ 18% [7] ซึ่งเมื่อนำมาสกัดเอาน้ำมันออกแล้วจะได้น้ำมันกระเจี๊ยบแดงเป็นจำนวนมากและวิธีการในการสกัดไม่ยุ่งยาก นอกจากนี้น้ำมันกระเจี๊ยบแดงไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการประกอบอาหารและยังไม่ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ฉะนั้นน้ำมันกระเจี๊ยบแดงจึงเป็นน้ำมันพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตไบโอดีเซลได้

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงนำเสนอโครงการวิจัยเรื่องการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง เพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกสำหรับทดแทนน้ำมันดีเซล โดยไบโอดีเซลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ที่สำคัญด้วยวิธีการมาตรฐานระหว่างประเทศคือ EN 14214:2008 (E) และ ASTM D 6751-07b ASTM เช่น ความหนืด ค่าไอโอดีนและจุดวาบไฟ เป็นต้น เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล (B100) ของประเทศไทยและมาตรฐานระหว่างประเทศคือ EN 14214:2008 (E) และ ASTM D 6751-07b ASTM ซึ่งจะสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปสู่การพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเปลี่ยนสมบัติทางเคมีของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้ไบโอดีเซล
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซล
- 1.2.3 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง
- 1.2.4 เพื่อวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงตามวิธีการมาตรฐาน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยมีขอบเขตของโครงการดังนี้

- 1.3.1 เตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาดังนี้คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันกระเจี๊ยบแดง ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
- 1.3.2 วิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีและเปรียบเทียบเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลที่ผลิตได้ที่สภาวะต่างๆ เพื่อนำมาพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง
- 1.3.3 วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลที่เตรียมขึ้นที่สภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการมาตรฐาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง ซึ่งสามารถพัฒนาไปถึงขั้นการผลิตในระดับอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่สามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล
- 1.4.2 ได้รับความรู้เกี่ยวกับผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 1.4.3 ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลภายในประเทศลงได้ ซึ่งจะทำให้ปริมาณการ

นำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศลดลง ส่งผลให้ประเทศไทยมีการขาดดุลทาง การค้าลดลงด้วย

- 1.4.4 ช่วยลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการเผาไหม้ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบ แดงนี้จะไม่ก่อให้เกิดสารที่เป็นมลพิษต่างๆ เช่น ออกไซด์ของกำมะถัน เนื่องจาก ในน้ำมันพืชจะมีปริมาณของกำมะถันต่ำมาก เป็นต้น
- 1.4.5 สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรที่ปลูกกระเจียบแดง เกิดการกระจายรายได้สู่ชุมชน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเดินทางเข้ามาหางานในเมืองหลวง
- 1.4.6 ได้ผลงานวิจัยซึ่งสามารถนำไปเผยแพร่ได้ (วารสารทางวิชาการและ/หรือการประชุม วิชาการ)

1.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

Encinar, J. M. และคณะ (1999) [8] ได้ศึกษาการเตรียมและสมบัติของไบโอดีเซลจาก *Cynara cardunculus* L. oil ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของ *Cynara cardunculus* L. oil ด้วยเมทานอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และ โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ที่ทำการศึกษได้แก่ ความเข้มข้นของเมทานอล (5-21 % w/w of oil) ความเข้มข้นของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (0.1-1% w/w of oil) และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (25°-60°C) โดยการหาความ เข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ กันจะใช้เทคนิค GC และสมบัติ ต่างๆ ของไบโอดีเซลที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด ความร้อนของการ เผาไหม้ ดัชนีซีเทน จุดไหลเทและแรมส์บอททอม คาร์บอนเรซิดิว เป็นต้น ผลจากการศึกษา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการเตรียมเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีสมบัติต่างๆ ที่ดีที่สุดคือ เมทานอล เข้มข้น 15% % w/w of oil ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์เข้มข้น 1% % w/w of oil และ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60°C โดยไบโอดีเซลที่ได้จะมีสมบัติต่างๆ คล้ายคลึงกับน้ำมัน ดีเซล

Dorado, M.P. และคณะ (2004) [9] ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจาก *Brassica Carinato* oil ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งใน การวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทรานส์เอส- เทอริฟิเคชันของ *Brassica Carinato* oil และใช้เทคนิค GC ในการหาองค์ประกอบของกรดไขมัน

ที่มีใน *Brassica Carinato* oil และเอสเทอร์ของกรดไขมันที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ผลการวิจัยที่ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันจะมีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นอย่างมาก ซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของ *Brassica Carinato* oil ที่มีปริมาณกรดอีรูจิก (Erucic acid) สูงจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้และสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของ *Brassica Carinato* oil ที่ปราศจากกรดอีรูจิกคือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1.4% ปริมาณเมทานอล 16% และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วงระหว่าง 20°-45 °C

Meher, L.C. และคณะ (2006) [3] ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของ *Pongamia pinnata* oil ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการวิจัยนี้ได้นำ *Pongamia pinnata* oil มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอล โดยได้หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาได้แก่ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเบส อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและอัตราในการคน ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่เกิดขึ้นในของผสมของปฏิกิริยาจะถูกหาโดยวิธี HPLC และ ¹H NMR ปริมาณเมทิลเอสเทอร์จาก *Pongamia pinnata* oil ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเท่ากับ 97-98%

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 กระเจี๊ยบแดง [7,10,11]

กระเจี๊ยบแดงมีชื่อภาษาอังกฤษคือ Roselle และชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Hibiscus sabdariffa* Linn. ชื่อวงศ์ Malvaceae สำหรับชื่ออื่นๆของกระเจี๊ยบแดงคือ Jamaica sorrel สำหรับในประเทศไทยจะมีชื่อเรียกอื่นๆได้แก่ กระเจี๊ยบ กระเจี๊ยบเปรี้ยว ผักแก้งเค็ง ส้มแก้งเค็ง ส้มตะเลงเครงและส้มปู้

กระเจี๊ยบแดงมีลักษณะทั่วไปดังนี้ เป็นพืชล้มลุก ลำต้นสูง 1 – 2 เมตร ลำต้นตั้งตรงมีสีแดงอมม่วง ใบออกสลับกัน ก้านใบยาวประมาณ 5 ซม. ตัวใบรีแหลม อาจมีรอยเว้าลึก แบ่งตัวใบออกเป็น 3 แฉก ดอกเดี่ยวออกบริเวณซอกใบ กลีบเลี้ยงสีม่วงแดง 5 กลีบ ขอบน้ำติดกับฐานดอกและคงอยู่จนเป็นผล กลีบดอก 5 กลีบ เกสรตัวผู้เชื่อมติดกันเป็นแท่ง มีอับเรณูติดทั่วทั้งแท่ง ผลมีลักษณะเป็นรูปไข่ป้อมๆ มีจอยสั้นๆ มีขนหยาบๆ สีเหลืองปกคลุม เมล็ดมีจำนวนมาก ลักษณะเป็นรูปไตเกลี้ยง สีดำหรือน้ำตาล ในเมล็ดจะมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 18%

ถิ่นกำเนิดของกระเจี๊ยบแดงอยู่แถบแอฟริกาตะวันตก แล้วจึงมีการนำมาปลูกในประเทศแถบศูนย์สูตรทั่วไป กระเจี๊ยบแดงชอบพื้นที่แห้งแล้ง มีอากาศร้อน แดดจัดและมีฝนตกชุ่มชื้นพอเหมาะ แต่ไม่มีน้ำขังแช่ สามารถขึ้นได้ในดินทุกชนิด กระเจี๊ยบต้องการน้ำในช่วง 1 เดือนแรกเท่านั้น ต่อจากนั้นจะทนความแห้งแล้งได้เป็นอย่างดี เริ่มปลูกในปลายฤดูฝน คือปลายเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนสิงหาคม และจะออกดอกในระหว่างเดือนตุลาคม-เดือนพฤศจิกายน แล้วเก็บผลที่แก่จัดไปได้เรื่อยๆจนถึงกลางเดือนธันวาคม สำหรับในประเทศไทยจะมีการปลูกกระเจี๊ยบในภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้และภาคกลาง โดยประเทศไทยและจีนเป็นแหล่งผลิตกระเจี๊ยบแดงรายใหญ่ ต้นและดอกกระเจี๊ยบแดงแสดงอยู่ในภาพที่ 2-1 ส่วนดอกแห้งและเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแสดงอยู่ในภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ประโยชน์ของกระเจี๊ยบแดง

- 1) น้ำมันกระเจี๊ยบแดงสามารถนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้
- 2) กลีบรองดอก และกลีบเลี้ยง ใช้เป็นยาขับปัสสาวะและยาขับเสมหะ
- 3) ยอดและใบอ่อน ใช้ปรุงอาหาร

- 4) ใช้ทำเครื่องดื่ม แยม แต่งสีเหล้าองุ่น เยลลี่ มีรสอมเปรี้ยว
- 5) น้ำมันกระเจี๊ยบแดงใช้เป็น Medicinal vehicle
- 6) กากที่เหลือหลังจากการสกัดเอาน้ำมันออกแล้วใช้เป็นอาหารสัตว์
- 7) น้ำมันกระเจี๊ยบแดงใช้ประกอบอาหารในบางประเทศในทวีปแอฟริกา



ภาพที่ 2-1 ต้นและดอกกระเจี๊ยบแดง



ภาพที่ 2-2 ดอกกระเจี๊ยบแดงแห้ง



ภาพที่ 2-3 เมลดกระเจี๊ยบแดง

2.2 ไบโอดีเซล

น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มีองค์ประกอบหลักคือ ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid) ชนิดต่างๆ กับกลีเซอรอล ไตรกลีเซอไรด์เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้น้ำมันพืชมีความหนืดสูง การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์โดยตรงจะทำให้การฉีดพ่นเป็นละอองฝอยและการผสมกับอากาศของเชื้อเพลิงทำได้ไม่ดี ส่งผลให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เกิดขึ้นได้ไม่ดี ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะต่ำไปด้วย [5] ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้หลายวิธี แต่วิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากคือ การนำน้ำมันพืชมาเปลี่ยนให้เป็นไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลคือ โมโนแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว (Monoalkyl esters of long chain fatty acids) ซึ่งผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์โดยผ่านปฏิกิริยาทางเคมีที่ผันกลับได้ที่เรียกว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการลดความหนืดของไตรกลีเซอไรด์ [2,5,12] ในปฏิกิริยานี้ น้ำมันพืชและไขมันสัตว์จะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์อย่างเช่น เมทานอลในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นเบสแก่ได้แก่ โซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ [4] ผลิตรวมที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะเป็นของผสมของเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่มีคุณค่าในเชิงพาณิชย์ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว โดยไบโอดีเซลที่ได้จะมีความหนืดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตและมีสมบัติต่างๆ คล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซลเป็นอย่างมาก ในปัจจุบันประเทศไทยใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลโดยใช้ไบโอดีเซล 5% โดยปริมาตรและดีเซล 95% โดยปริมาตร (B5)

สำหรับไบโอดีเซลนั้นจัดว่าเป็นพลังงานสะอาด เป็นเชื้อเพลิงที่ให้ประโยชน์ทั้งกับเครื่องยนต์และสิ่งแวดล้อม ดังนี้

- 1) ช่วยลดมลพิษทางอากาศ
- 2) ลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก เพราะผลิตจากพืชที่ย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติ
- 3) การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว จะช่วยลดการนำกลับมาประกอบอาหารซ้ำซึ่งมีสารไดออกซินที่เป็นสารก่อมะเร็ง
- 4) ช่วยเพิ่มสมรรถนะเครื่องยนต์ให้หล่อลื่นดีขึ้น
- 5) สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซลได้ถึง 2 เท่า
- 6) ช่วยการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้ดีขึ้นและไม่ทำให้แรงเครื่องยนต์ตก

2.3 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

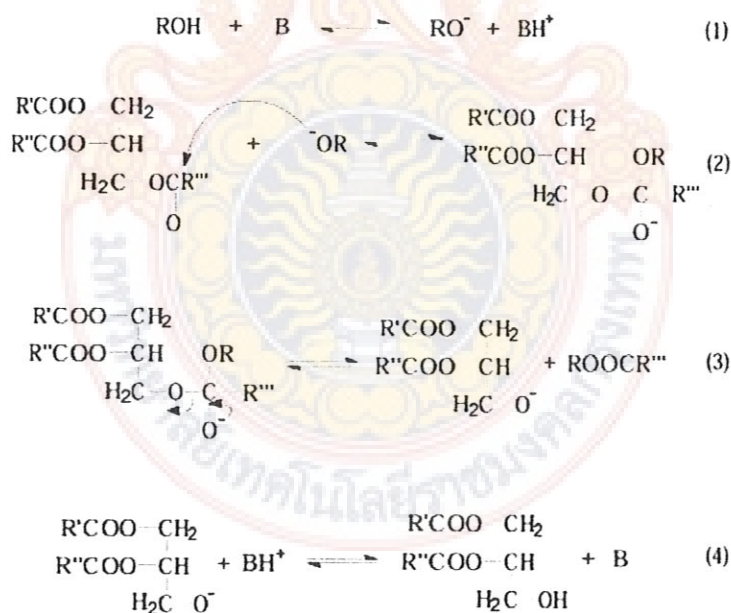
2.3.1 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแอลกอฮอล์ิซิส (Alcoholysis) ซึ่งเป็นปฏิกริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ (Nucleophilic substitution reaction) ของเอสเทอร์ โดยปฏิกริยาจะเกิดขึ้นจากการนำเอสเทอร์มาทำปฏิกริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา [2] ในกรณีที่แอลกอฮอล์เป็นเมทานอลจะเรียกว่าปฏิกริยาเมทานอลิซิส (Methanolysis) และเมื่อแอลกอฮอล์เป็นเอทานอลจะเรียกว่าปฏิกริยาเอทานอลิซิส (Ethanolysis) ซึ่งสมการทั่วไปแสดงปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังสมการที่ (1)



น้ำมันจากพืชเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอล (Glycerol) กับกรดไขมัน (Fatty acid) ชนิดต่างๆ ทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว โมเลกุลของน้ำมันพืชเป็นเอสเทอร์ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นน้ำมันพืชจึงมีความหนืดสูง โดยทั่วไปน้ำมันพืชจะมีความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11- 17 เท่า [2] ซึ่งถ้านำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงจะทำให้การฉีดพ่นเป็นละอองฝอยของน้ำมัน การระเหยของน้ำมันและการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้ไม่ดี ซึ่งจะทำให้กระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ [5] ฉะนั้นการเปลี่ยนสมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชจึงมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้น้ำมันพืชมีความหนืดที่

ลดลงและมีสมบัติต่างๆ ทางด้านเชื้อเพลิงที่ดีขึ้นเหมาะต่อการนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชดังกล่าวสามารถทำได้โดยการนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งจะให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ชนิดใหม่ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงและกลีเซอรอล เอสเทอร์ชนิดใหม่ที่เกิดขึ้นนี้จะมีความหนืดที่ลดลงเป็นอย่างมากและมีสมบัติต่างๆ คล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซลซึ่งคือ ไบโอดีเซลนั่นเอง สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเบสเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารประกอบคาร์บอเนต (Carbonates) และสารประกอบแอลคอกไซด์ (Alkoxides) [13,14] แต่โดยทั่วไปเบสที่นิยมใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ [4,12] ส่วนการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้กรดนั้นจะไม่นิยมเนื่องจากต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานมากและจะมีปัญหาเกี่ยวกับการกัดกร่อนของ reactor ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา [13,15,16] สำหรับแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล (Propanol) บิวทานอล (Butanol) และเอมิลแอลกอฮอล์ (Amyl alcohol) แต่แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ เมทานอล เนื่องจากมีราคาถูกและมีข้อได้เปรียบทางด้านสมบัติทางกายภาพและทางเคมี [13] ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้โดยประกอบด้วยขั้นตอนย่อยๆ ที่ผันกลับได้ดังแสดงในภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 กลไกในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.2 ตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีหลายชนิดได้แก่ ปริมาณกรดไขมันอิสระและน้ำ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา [2,3,8,13,17] สำหรับปริมาณกรดไขมันอิสระและน้ำนั้นเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เมื่อน้ำมันพืชที่นำมาใช้เป็นสารป้อนมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% [18,19] และสารป้อนทุกชนิดต้องปราศจากน้ำหรือความชื้น [2] ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระที่มากเกินไปและน้ำจะทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยสบู่จะก่อให้เกิดผลเสียต่อปฏิกิริยาโดยจะทำให้สารผสมของปฏิกิริยานี้คั่งขึ้น ทำให้เกิดเจล ส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้สบู่ที่เกิดขึ้นยังทำให้การแยกของกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลทำได้ยาก ซึ่งจะมีผลทำให้ยี่ลด์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้นลดลง [2,3,19]

ตัวแปรที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่งคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน จากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่าในทางทฤษฎีอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันจะเท่ากับ 3:1 แต่เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นการที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์จึงต้องใช้เมทานอลมากเกินไปเพื่อผลักดันให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปทางขวาได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลมากขึ้น [2,13] สำหรับความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นก็เป็นตัวแปรอีกชนิดหนึ่งที่มีผลต่อปฏิกิริยา โดย Encinar และคณะได้รายงานว่เมื่อนำน้ำมัน *Cynara cardunculus* L. มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยปราศจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส (0% NaOH) จะได้ Ester conversion เท่ากับ 0% เมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที [15] ในกรณีของผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยานั้นจะพบว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิที่ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้ [3, 8, 9,17] โดยปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำอย่างเช่นที่ 25°C [8] และ 32°C [17] อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงกว่า 60°C ควรจะหลีกเลี่ยงเนื่องจากอุณหภูมิสูงจะช่วยให้ปฏิกิริยาซาฟอนิฟิเคชันของกลีเซอไรด์ที่มีในน้ำมันโดยตัวเร่งปฏิกิริยาเบสเกิดขึ้นได้ดีก่อนที่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ [9] สำหรับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นก็มีความสำคัญเช่นกัน โดยได้มีการรายงานว่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งจะสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วภายในเวลา 10 นาที และหลังจากนั้นปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงค่าสูงสุด [3,8,20]

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

ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ
	ไม่ต่ำกว่า	ไม่สูงกว่า	
10. สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.0024	ASTM D12662
11. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (หมายเลข)	-	1	ASTM D130
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 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.20	EN 14110
16. โมโนกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.80	EN 14105
17. ไดกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.20	EN 14105
18. ไตรกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.20	EN 14105
19. กลีเซอรินอิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.02	EN 14105
20. กลีเซอรินทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.25	EN 14105
21. ฟอสฟอรัส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.0010	ASTM D4951
22. กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	12.0	EN 14103
23. โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	-	5.0	EN 14108
โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	-	5.0	EN 14538
24. สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

2.5 ความสำคัญของสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

2.5.1 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester content)

เมทิลเอสเทอร์เป็นองค์ประกอบหลักของไบโอดีเซล โดยปริมาณเอสเทอร์ที่ผลิตได้ใช้เป็นตัววัดความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลหรือใช้เป็นตัววัดผลผลิตที่ได้ ไบโอดีเซลที่มีปริมาณเอสเทอร์ต่ำมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเดินเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจากมีสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ปนผสมอยู่ในปริมาณสูง สิ่งสกปรกในที่นี้หมายถึง โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรอลอิสระและแอลกอฮอล์ ซึ่งอาจทำให้ไบโอดีเซลมีความหนืดสูงหรือต่ำเกินไป น้ำมันจึงเป็นฝอยได้ไม่ดี เกิดการสะสมของคราบสกปรกในเครื่องยนต์ มีตะกอนเกิดขึ้นได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

2.5.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดเป็นสมบัติที่มีความสำคัญมาอย่างหนึ่งของเชื้อเพลิง การใช้เชื้อเพลิงเหลวที่มีความหนืดสูงเกินไปจะก่อให้เกิดผลเสียต่อการทำงานของเครื่องยนต์ โดยจะมีผลต่อการไหลของน้ำมันผ่านระบบท่อ หัวฉีดและรูหัวฉีด อันจะมีผลต่อรูปแบบการสเปรย์ของน้ำมันเป็นละอองฝอย การผสมของไอระเหยของน้ำมันกับอากาศและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งถ้าการเผาไหม้เกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์จะเกิดการสะสมของเขม่า และการปนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงในถังน้ำมันหล่อลื่น ปัญหาเหล่านี้จะส่งผลทำให้เครื่องยนต์มีอายุการใช้งานที่สั้นลง ในทางตรงข้ามถ้าหากเชื้อเพลิงที่นำมาใช้มีความหนืดต่ำเกินไปก็อาจทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์ และระบบฉีดเชื้อเพลิงและมีผลทำให้รถสูญเสียกำลังไปได้

2.5.3 ซีเทนัมเบอร์ (Cetane number)

เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการจุดระเบิดตัวเองของน้ำมันภายใต้การอัด น้ำมันที่มีซีเทนัมเบอร์สูงจะทำให้เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทติดได้ง่ายไม่มีปัญหา เครื่องยนต์เดินเรียบไม่เกิดการน็อก ส่วนน้ำมันที่มีซีเทนัมเบอร์ต่ำจะทำให้การจุดติดไฟยากโดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิต่ำ เครื่องยนต์จะสะดุดและมีโอกาสเกิดการน็อกสูง

2.5.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณของกรดไขมันอิสระ ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นจากการเสื่อมสภาพของกรดไขมันและการเผาไหม้หรืออาจมาจากตัวเร่งปฏิกิริยา กรดที่กำจัดออกไม่หมด ในกระบวนการผลิตและการใช้กรดปรับความเป็นกรด-ด่างระหว่างขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล โดยค่าความเป็นกรดอาจทำให้เกิดปัญหาการเกิดสิ่งสกปรกในเครื่องยนต์ อายุการใช้งานของปั๊ม และไส้กรองน้ำมันลดลง

2.5.5 ความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation stability)

ไบโอดีเซลอาจเกิดการเสื่อมสภาพจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซลมาก เนื่องจากโดยธรรมชาติไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ จะมีปริมาณความไม่อิ่มตัวอยู่สูง (ขึ้นกับชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล) ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นต้องวัดค่าความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อทดสอบถึงความยากง่ายในการเกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมัน น้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์จะเกิดการเปลี่ยนสี มีปริมาณกรดมากขึ้น เกิดตะกอน คราบยางเหนียว เมื่อนำไบโอดีเซลที่ถูกออกซิไดส์แล้วไปใช้งานจะมีผลทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ ในระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เกิดการอุดตันและเสื่อมสภาพได้ โดยตะกอนที่เกิดขึ้นอาจอุดตันไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้หัวฉีดอุดตันและเกิดการสะสมของสิ่งสกปรกในห้องเผาไหม้

2.5.6 ปริมาณแอลกอฮอล์ (Alcohol content)

แอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้นชนิดหนึ่งในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาเกิดไปในทิศทางที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่มากขึ้น และเมื่อปฏิกิริยาล้นสุดลงจะต้องแยกแอลกอฮอล์ที่เหลือและมากเกินไปเหล่านี้ออกจากไบโอดีเซล โดยแอลกอฮอล์ที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลเฟสจะทำให้สีเทาน้ำมันเบอร์ สมบัติในการหล่อลื่นและอุณหภูมิจุดวาบไฟต่ำลง อีกทั้งยังมีผลต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ทำด้วยโลหะประเภทอะลูมิเนียมและสังกะสี โดยจะทำให้เกิดการกัดกร่อน ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องวัดหาปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

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

ตามปกติน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ จะมีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล ไตรกลีเซอไรด์จะเปลี่ยนไปเป็นแอลคิล เอสเทอร์และกลีเซอริน โดยสารตัวกลาง (Intermediate) ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะเป็นโมโน-กลีเซอไรด์และไคกลีเซอไรด์ ซึ่งในสภาวะที่ไม่เหมาะสมปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ จะมีโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์เหลืออยู่ ฉะนั้นปริมาณของ โมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลสามารถใช้ในการบอก ความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ โดยส่วนใหญ่แล้วโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์จะตกตะกอนลงมาด้านล่างพร้อมกับกลีเซอรินและถูกแยกออกไป ในขั้นตอนการล้าง ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ตกค้างอยู่ในปริมาณมาก จะทำให้ไบโอดีเซลมีความหนืดสูงขึ้นและไม่เป็นไปตามข้อกำหนด มีผลทำให้น้ำมันฉีดเป็นฝอยได้ไม่ดี เกิดคราบสกปรกที่ปลายหัวฉีด ลูกสูบ วาล์วและมีผลต่อความ ทนทานของเครื่องยนต์ ดังนั้นการหาปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ จึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น

2.5.8 ปริมาณน้ำ (water content)

เป็นการวัดหาปริมาณน้ำที่แยกออกมาได้จากไบโอดีเซล น้ำในไบโอดีเซลส่วนใหญ่ ได้มาจากการควบแน่นของน้ำในบรรยากาศลงมาผสมในเนื่อน้ำมัน การมีน้ำปนอยู่ในไบโอดีเซล เป็นระยะเวลานานจะทำให้ไบโอดีเซลมีความเป็นกรดสูง ซึ่งหากนำไปใช้งานจะทำให้ชิ้นส่วนวัสดุ ในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์เสียหาย

2.5.9 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur content)

กำมะถันจะมีอยู่ทั้งในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล โดยเฉพาะน้ำมันใช้แล้วอาจมีปริมาณกำมะถันสูงถึง 40 พีพีเอ็ม (ppm) โดยมีแหล่งมาจาก อาหารที่นำมาทอดในน้ำมันนั้น กำมะถันในน้ำมันจะทำให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และ

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ รวมทั้งฝุ่นละอองหลังการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ซึ่งจะมีผลทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นลง

2.5.10 ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorous content)

ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่มาจากกระบวนการขจัดยางเหนียวในน้ำมันพืชโดยการใช้กรดฟอสฟอริก จึงทำให้มีฟอสฟอรัสอยู่ในน้ำมันซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล ซึ่งฟอสฟอรัสจะมีผลทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นลง

2.5.11 ปริมาณเถ้าซัลเฟต (Sulfate ash content)

ปริมาณเถ้าซัลเฟตขึ้นอยู่กับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลและปริมาณโลหะที่หลุดออกมากหลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจอยู่ในรูปของสารประกอบโลหะกับสบู่ที่ละลายน้ำได้ เมื่อเกิดการเผาไหม้ทำให้สิ่งเจือปนเหล่านี้กลายเป็นเถ้าตกค้างอยู่ในเครื่องยนต์ โดยเถ้าที่ตกค้างอยู่ในเครื่องยนต์อาจทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรองทำให้น้ำมันไหลไม่สะดวก ส่วนโลหะที่หลุดออกมากหลังจากการใช้งานและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ ทำให้เกิดรอยสีที่หัวฉีด ปัม ลูกสูบและแหวน

2.5.12 สิ่งเจือปนทั้งหมด (Total contamination)

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

บทที่ 3

เนื้อหาการวิจัย

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 วิเคราะห์สมบัติของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

น้ำมันกระเจี๊ยบแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ความหนืด ความหนาแน่น ปริมาณน้ำ ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการมาตรฐาน

3.1.2 ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนนี้จะนำน้ำมันกระเจี๊ยบแดง มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตไบโอดีเซล โดยจะมีการศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อปฏิกิริยา ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังได้หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาด้วย ซึ่งหลังจากที่ได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว จะทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงในปริมาณมากเพื่อใช้ในการนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ตามวิธีการมาตรฐาน

3.1.3 การวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงที่ผลิตได้ทีสภาวะที่เหมาะสมจะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ตามวิธีการมาตรฐาน ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด การกักต่อน้ำมันของแดง ค่าความเป็นกรด ปริมาณน้ำ คากถ่าน ค่าไอโอดีน ค่าความร้อนของการเผาไหม้ เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปริมาณไทโรลีนไฮดรอกไซด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ เป็นต้น

3.2 สารเคมี วัสดุและอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 สารเคมี

น้ำมันกระเจี๊ยบแดงซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากวัดพยุหคณาราม จังหวัดสุพรรณบุรี 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 เป็นต้น

3.2.2 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ขวดสามคอแบบก้นแบน กรวยแยก เตาให้ความร้อนแบบกวนได้ คอนเดนเซอร์ ปีกเกอร์ขนาดต่างๆ กระจกบด กรวยแก้วก้านสั้น กระจกทรง กระจกฟอยด์ แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนสาร เครื่องกวนสาร ช้อนตักสาร แท่งแก้วคน ปิเปต และ บิวเรต เป็นต้น

3.2.3 เครื่องมือ

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ Agilent รุ่น 6890

3.3 การออกแบบการวิจัย

ในการทดลองนี้ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง โดยกระบวนการแบบ 1 ขั้นตอนคือ ทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันน้ำมันกระเจี๊ยบแดงด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล โดยในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อปฏิกิริยาได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา พร้อมทั้งได้หาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยาดัง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ เรียงลำดับดังนี้

ACM 665.3 ป231ก 2552 ฉ.2

ปิยนช นาคพงศ์

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระ

เจี๊ยบแดง : รายงานการวิจัย =

32000000943482

1246

- อัตราส่วนโดยโมลของเนทานอลต่อน้ำมันควบคู่กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

- ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาควบคู่กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
- อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาควบคู่กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

โดยในการศึกษาผลและหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรแต่ละชนิดนั้น ตัวแปรชนิดอื่นๆ จะถูกกำหนดให้คงที่ และหลังจากที่ได้จุดที่เหมาะสมของตัวแปรหนึ่งแล้ว ค่านี้จะถูกกำหนดให้คงที่ในการศึกษาผลและหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรชนิดอื่นต่อไป

3.4 การทดลอง

3.4.1 วิธีการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันกระเจียบแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

น้ำมันกระเจียบแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังนี้

1) องค์ประกอบทางเคมี

ในการหาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันกระเจียบแดงนั้น น้ำมันกระเจียบแดงจะถูกส่งไปทดสอบที่สถาบันอาหารด้วยวิธีการมาตรฐาน AOAC (2000), 963.22, 969.33

2) ความหนืด ความหนาแน่นและปริมาณน้ำ

ความหนืด ความหนาแน่นและปริมาณน้ำของน้ำมันกระเจียบแดงจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการมาตรฐานดังนี้คือ ความหนืด ASTM D445-06 ความหนาแน่น ASTM D4052-96 และปริมาณน้ำ EN 12937

3) ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันกระเจียบแดงจะถูกทดสอบด้วยวิธีการมาตรฐาน AOAC (2000), 940.28 โดยผู้วิจัยที่สาขาวิชาเคมี รายละเอียดของการวิเคราะห์แสดงอยู่ในภาคผนวก ก

3.4.2 วิธีการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันกระเจี๊ยบแดงโดยใช้ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1) วิธีการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันกระเจี๊ยบแดง

ในขั้นตอนนี้น้ำมันกระเจี๊ยบแดงจะถูกนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยชุดอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะประกอบด้วยขวดกันแบน (ขวดสำหรับทำปฏิกิริยา) และเตาให้ความร้อน (Hot plate) ที่กวนได้ ปริมาตรของขวดสำหรับทำปฏิกิริยา 250 ml และเป็นขวดสามคอ ซึ่งคอหนึ่งเอาไว้ใส่เบส คอนเดนเซอร์ ส่วนอีก 2 คอที่เหลือเอาไว้สำหรับใส่เบสเทอร์โมมิเตอร์และเป็นทางสำหรับเติมสารตั้งต้น สารผสมในขวดสำหรับทำปฏิกิริยาจะถูกให้ความร้อนและคนด้วยอัตราเดียวกันตลอดการทดลอง (600 rpm) [3,20] การจัดตั้งอุปกรณ์สำหรับทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันกระเจี๊ยบแดงโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงอยู่ในภาพที่ 3-2 และวิธีการในการทดลองเป็นดังนี้

ก. เติมน้ำมันกระเจี๊ยบแดงใส่ลงในขวดทำปฏิกิริยาและให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

ข. เตรียมสารละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล (สารละลายนี้ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนใช้งานเพื่อรักษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา) [2,3] โดยการชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณที่ต้องการแล้วใส่ลงในเมทานอลตามปริมาณที่กำหนด กวนจนกระทั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายหมดเป็นสารละลายใสไม่มีสี การเตรียมสารละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลแสดงอยู่ในภาพที่ 3-1

ค. เติมสารละลายในข้อ ข. ลงในน้ำมันกระเจี๊ยบแดงที่ให้ความร้อนไว้ล่วงหน้า หลังจากนั้นให้จับเวลาในการทำปฏิกิริยาทันที

ง. ให้ความร้อนและคนสารผสมตลอดเวลาด้วยอัตราเดียวกันตลอดการทดลองที่ความดันบรรยากาศ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

จ. เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง สารผสมที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 3-3 เทสารผสมลงในกรวยแยกแล้วตั้งทิ้งไว้ค้างคืน ชั้นบนประกอบด้วยเมทิลเอสเทอร์และสิ่งเจือปน ส่วนชั้นล่างประกอบด้วยกลีเซอรินและสิ่งเจือปน

ช. แยกเมทิลเอสเทอร์ออกแล้วนำไปล้างด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จนกระทั่งน้ำล้างมี pH เท่ากับน้ำกลั่นที่นำมาใช้ในการล้าง การล้างชั้นของเมทิลเอสเทอร์แสดงอยู่ใน

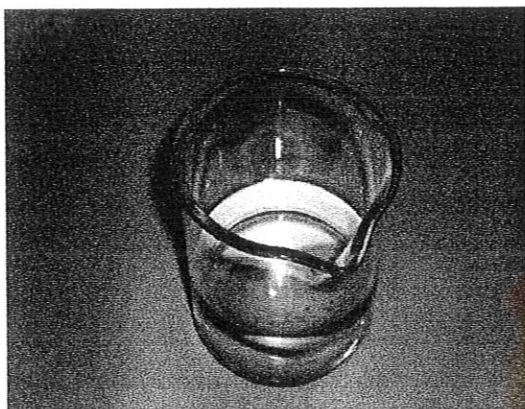
ภาพที่ 3-4 ส่วนกระดาศ pH สำหรับวัดความเป็นกรด-ด่างในขั้นตอนการล้างชั้นเมทิลของเอสเทอร์แสดงอยู่ในภาพที่ 3-5

ข. นำชั้นเมทิลเอสเทอร์มาทำให้แห้งโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70°C การระเหยเพื่อแยกน้ำออกจากชั้นของเมทิลเอสเทอร์แสดงอยู่ในภาพที่ 3-6

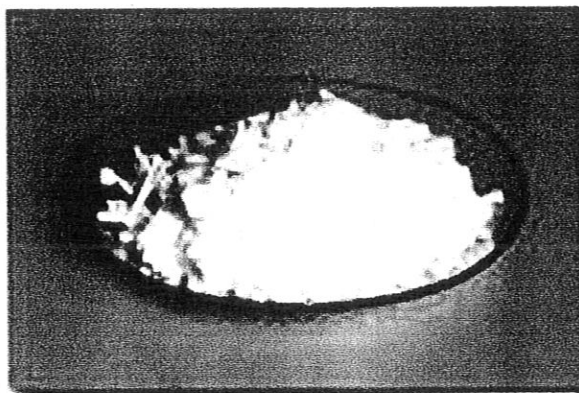
ญ. หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลโดยใช้ GC

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (4:1-10:1) ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (0.25-2% w/w of oil) อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (32°C - 60°C) และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (5-80 นาที) จุดที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละตัวแปรจะถูกพิจารณาโดยปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น สภาวะที่ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุด โดยใช้ปริมาณเมทานอล ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุดจะถูกเลือกเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นจะสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดงที่สภาวะที่เหมาะสมในปริมาณมากเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ โดยใช้วิธีการมาตรฐาน สำหรับวิธีการในการหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลแสดงอยู่ในภาคผนวก ค





ก. เมทานอล

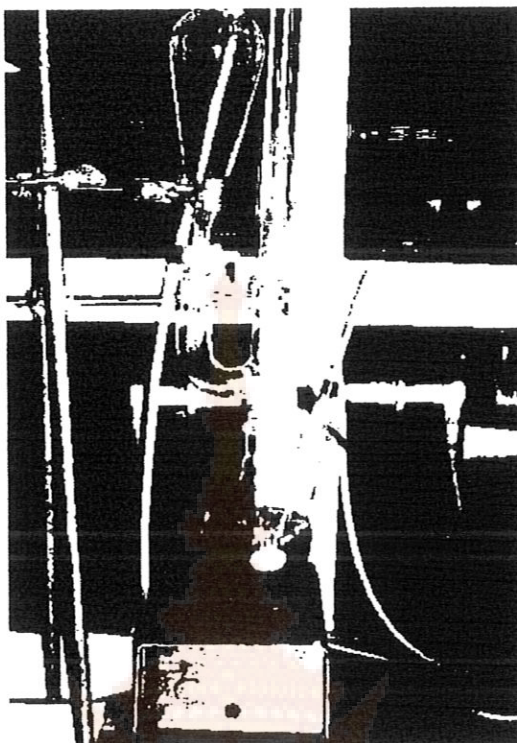


ข. โพลีเอทิลีนไกลคอล



ค. สารละลายผสมของโพลีเอทิลีนไกลคอลในเมทานอล

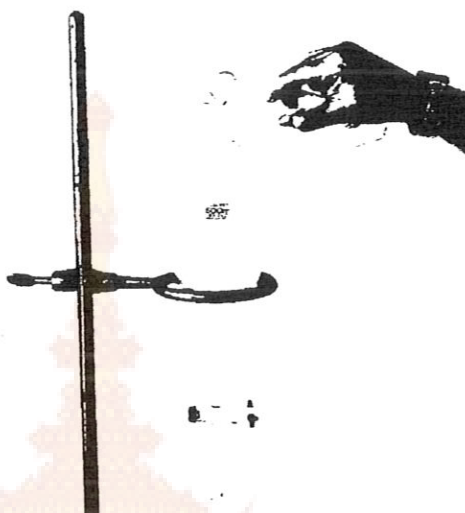
ภาพที่ 3-1 การเตรียมสารละลายของโพลีเอทิลีนไกลคอลในเมทานอล



ภาพที่ 3-2 การจัดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



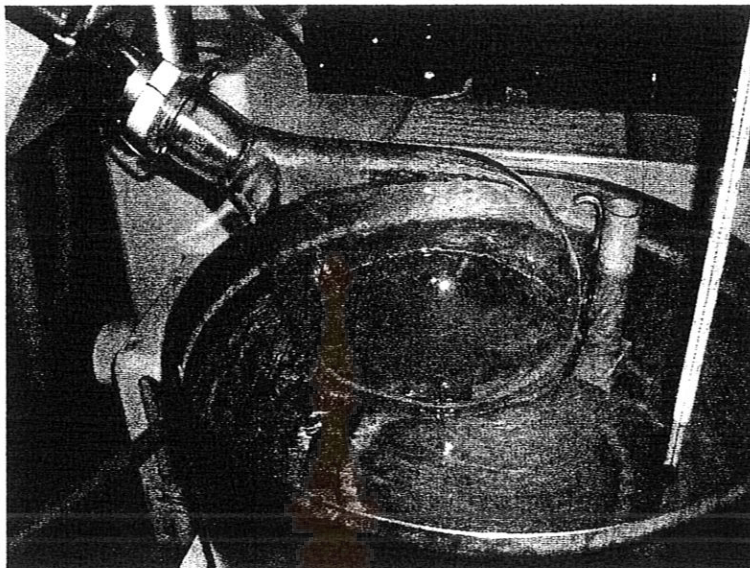
ภาพที่ 3-3 สารผสมที่ได้หลังจากปฏิกิริยาลิ้นสุดลง



ภาพที่ 3-4 การล้างชั้นของเมทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60°C



ภาพที่ 3-5 กระดาษ pH สำหรับวัดความเป็นกรด-ด่างในขั้นตอนการล้างชั้นเมทิลเอสเทอร์



ภาพที่ 3-6 การระเหยแยกน้ำออกจากเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ

2) การศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ และหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกระเจียบแดง

ก. ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการทดลองตอนนี้จะศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 4:1, 6:1, 8:1, 10:1 และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 5, 20, 40, 60 และ 80 นาที โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ 1.5% w/w of oil และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาคือ 60°C ซึ่งปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแสดงอยู่ในตารางที่ 3-1 (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3-1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน	ปริมาตรน้ำมัน กระเจียบแดง (ml)	ปริมาตรเมทานอล (ml)	ปริมาณโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (g)
4:1	85	15	1.19073
6:1	79	21	1.1068
8:1	74	26	1.0366
10:1	69	31	0.9666

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 100 ml

เลือกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่น้อยที่สุดที่ทำให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงสุดโดยใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อยที่สุดเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อไป

ข. ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการทดลองตอนนี้จะศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.25, 0.50, 1.0, 1.50 และ 2.0% w/w of oil และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 5, 20, 40, 60 และ 80 นาที โดยอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้คือ 8:1 และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาคือ 60°C ซึ่งปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแสดงอยู่ในตารางที่ 3-2 (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3-2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ความเข้มข้นของ ตัวเร่งปฏิกิริยา (% w/w of oil)	ปริมาณน้ำมัน กระเจียบแดง (ml)	ปริมาณเมทานอล (ml)	ปริมาณโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (g)
0.25	74	26	0.1728
0.50	74	26	0.3455
1.0	74	26	0.6911
1.50	74	26	1.0366
2.0	74	26	1.3821

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 100 ml

เลือกความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยที่สุดที่ทำให้ได้ปริมาณเมทิล เอสเทอร์สูงสุด โดยใช้เวลาน้อยที่สุดเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการศึกษา ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อไป

ค. ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการทดลองตอนนี้จะศึกษาผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ 32°, 40°, 50° และ 60°C และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 5, 20, 40, 60 และ 80 นาที โดยอัตราส่วน โดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้คือ 8:1 และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยากรดคือ 1.5% % w/w of oil ซึ่งอุณหภูมิและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแสดงอยู่ในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 อุณหภูมิและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (°C)	ปริมาตรน้ำมันกระเจียบแดง (ml)	ปริมาตรเมทานอล (ml)	ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (g)
32	74	26	1.0366
40	74	26	1.0366
50	74	26	1.0366
60	74	26	1.0366

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 100 ml

เลือกอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ทำให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุดเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม

สรุปสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันกระเจียบแดงด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นเตรียมไบโอดีเซลที่สภาวะที่เหมาะสมในปริมาณมาก (10 l) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ

3.4.3 การวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง

ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดงที่ผลิตได้ที่สภาวะที่เหมาะสมจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ด้วยวิธีการมาตรฐาน โดยการส่งไปวิเคราะห์ที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพ บริษัท ป.ต.ท. จำกัด มหาชน โดยสมบัติที่วิเคราะห์ได้แก่ ความหนืด (Viscosity) จุดวาบไฟ (Flash point) ปริมาณกำมะถัน (Sulphur content) คาร์บอน (Carbon residue) ปริมาณแอสซ์เฟต (Sulfated ash content) น้ำและตะกอน (Water and sediment) การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion) ค่าความเป็นกรด (Acid number) ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorous content) เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation stability) ปริมาณน้ำ (Water content) สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total contamination) ค่าไอโอดีน (Iodine value) ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไลโนเลนิก (Linolenic acid methyl ester) ปริมาณเมทานอล (MeOH content) ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride content) ปริมาณไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride content) ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride content) กลีเซอ-

รชดอิสระ (Free glycerol) กลีเซอรอลทั้งหมด (Total glycerol) โลหะหมู่ I (Na+K) {Group I metals (Na+K)} โลหะหมู่ II (Ca+Mg) {Group II metals (Ca+Mg)} ความหนาแน่น (Density) จุดไหลเท (Pour point) ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Gross heat of combustion)



บทที่ 4

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 สมบัติของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

น้ำมันกระเจี๊ยบแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้ มีลักษณะใส หนืดและมีสีเหลือง โดยน้ำมันกระเจี๊ยบแดงที่ใช้นี้ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Refining) น้ำมันกระเจี๊ยบแดงที่ใช้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-1 ก่อนที่จะนำน้ำมันกระเจี๊ยบแดงไปผลิตไบโอดีเซล นั้นจะต้องมีการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงก่อน ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นสิ่งที่ใช้บอกถึงความเหมาะสมของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลรวมทั้งยังเป็นสิ่งที่ใช้ในการตัดสินใจในการเลือกกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงอีกด้วย โดยองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีในไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงและสมบัติที่สำคัญแสดงอยู่ในตารางที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 น้ำมันกระเจี๊ยบแดง

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบของกรดไขมันที่มีในน้ำมันกระเจี๊ยบแดงและสมบัติที่สำคัญ

สมบัติ	น้ำมันกระเจี๊ยบแดง
องค์ประกอบของกรดไขมัน (%)	
(i) กรดไมริสติก (Myristic acid, C14:0)	0.20
(ii) กรดปาล์มิติก (Palmitic acid, C16:0)	18.15
(iii) กรดสเตียริก (Stearic acid, C18:0)	4.09
(iv) กรดอะราซิดิก (Arachidic acid, C20:0)	0.66
(v) กรดเบฮีนิก (Behenic acid, C22:0)	0.35
(vi) กรดลิกโนซีริก (Lignoceric acid, C24:0)	0.19
(vii) กรดปาล์มิโตเลอิก (Palmitoleic acid, C16:1)	0.34
(viii) กรดโอเลอิก (Oleic acid, C18:1)	33.31
(ix) กรดอีรูคิก (Erucic acid, C22:1)	0.37
(x) กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid, C18:2)	38.17
(xi) กรดไลโนเลนิก (Linolenic acid, C18:3)	2.09
ความหนาแน่นที่ 15 °C , Kg/m ³	919.9
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ในรูปกรดไลโนเลอิก, % w/w)	0.67
ความหนืดที่ 40 °C , mm ² /s	36.35
ปริมาณน้ำ, % w/w	0.087

หมายเหตุ ปริมาณกรดไขมันอิสระ 0.67% w/w นี้จะมีค่าเทียบเท่ากับค่าความเป็นกรด 1.34 mg KOH/g oil

จากตารางที่ 4-1 จะเห็นได้ว่าน้ำมันกระเจี๊ยบแดงประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว 74.28% ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบหลักได้แก่ กรดไลโนเลอิกและกรดโอเลอิก ส่วนกรดไขมันอิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันกระเจี๊ยบแดงมีปริมาณ 23.64% ซึ่งกรดปาล์มิติกจะเป็นไขมันอิ่มตัวที่มีปริมาณมากที่สุด ดังเป็นที่ทราบกันว่าชนิดและเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่มีในน้ำมันพืชจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืชและสภาวะที่ใช้ในการเจริญเติบโต โดยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันอิ่มตัวจะช่วยปรับปรุงความเสถียรของน้ำมันและเพิ่มค่าซีเทนและค่าจุดหมอก (Cloud point) ในขณะที่เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะลดความเสถียรของน้ำมัน ค่าซีเทน และค่าจุดหมอก [21,22] จากปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไตรกลีเซอ-

ไรต์ของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงจะสามารถคำนวณหาโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีในน้ำมันกระเจี๊ยบแดงได้เท่ากับ 854.1 g/mole

ผลที่ได้ในตารางที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันกระเจี๊ยบแดงมีความหนืดมากกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำมันดีเซลของประเทศไทย ($3.068 \text{ mm}^2/\text{s}$) ประมาณ 11.8 เท่า ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงผลเสียที่จะเกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันกระเจี๊ยบแดงในเครื่องยนต์ดีเซล จึงต้องลดความหนืดของน้ำมันลงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้เพื่อที่จะช่วยทำให้น้ำมันพืชสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีการหนึ่งที่เป็นไปได้คือการนำน้ำมันพืชมาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซลซึ่งมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

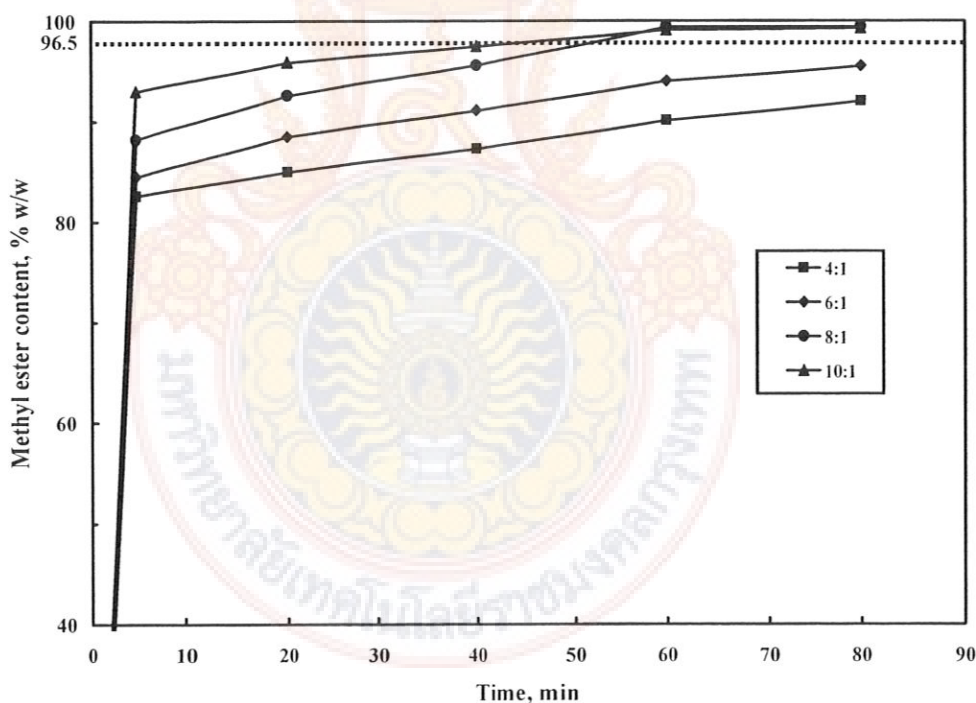
ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าปริมาณกรดไขมันอิสระและน้ำที่มีในน้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยน้ำมันควรจะมีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% และน้ำมันรวมทั้งสารตั้งต้นชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในปฏิกิริยาควรจะแห้ง สำหรับผลจากวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าน้ำมันกระเจี๊ยบแดงมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% w/w และมีปริมาณน้ำต่ำ ฉะนั้นน้ำมันกระเจี๊ยบแดงจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการแบบ 1 ขั้นตอน ซึ่งก็คือปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2 การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

น้ำมันกระเจี๊ยบแดงจะถูกนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารวมทั้งการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงด้วย โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (4:1-10:1) ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (0.25-2.0% w/w of oil) อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (32°C - 60°C) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (5-80 นาที) ซึ่งการเลือกสภาวะที่เหมาะสมจะพิจารณาจากปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

4.2.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ตัวแปรที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน โดยในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์นั้น เมทานอล 3 โมลจะทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมลและกลีเซอรอล 1 โมล แต่เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่มีสมดุล ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณของเมทานอลมากเกินไป เพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันมากขึ้น [2] ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ โดยอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ทำการศึกษาคือ 4:1, 6:1, 8:1, 10:1 และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาคือ 5, 20, 40, 60 และ 80 นาที โดยผลที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-2



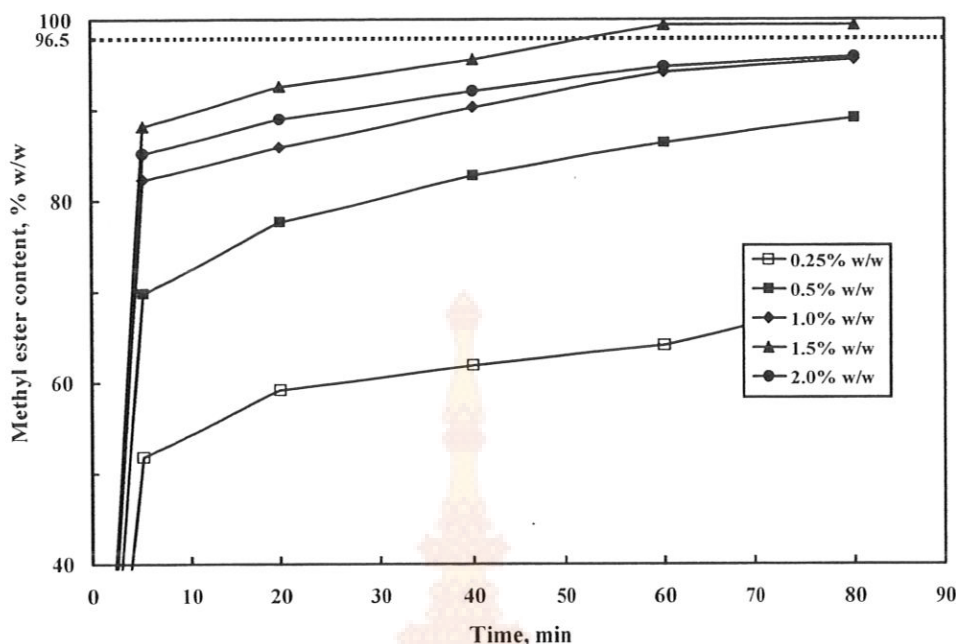
ภาพที่ 4-2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง (ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/w of oil และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60 °C)

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรก และอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ซึ่งผลที่ได้จะเป็นเช่นเดียวกับผลที่ได้จากนักวิจัยท่านอื่น [3] จะสังเกตได้ว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 4:1 แต่ในกรณีที่ต้องการยีสต์สูงจะต้องใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานาน จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะมีค่าสูงมาก เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 8:1 ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับ 99.4% w/w ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที ซึ่งปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะมีค่าสูงกว่าค่าต่ำสุดของข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรมฯ ของประเทศไทยและมาตรฐานระหว่างประเทศ EN 14214:2008 (E) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงภายในระยะเวลาสั้น แต่อัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่ควรหลีกเลี่ยงเนื่องจากจะต้องใช้เมทานอลเป็นจำนวนมาก อันจะเป็นผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันกระเจียบแดง 8:1 จึงถูกเลือกให้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม

การผลิตไบโอดีเซลในทางอุตสาหกรรมนั้น เมทานอลที่มากเกินไปในวัฏภาคของกลีเซอรินและไบโอดีเซลจะสามารถแยกออกมาเพื่อรีไซเคิลเข้าสู่กระบวนการได้อีกครั้งหนึ่งโดยใช้เครื่องมือในการกลั่น ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมได้

4.2.2 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวแปรอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญซึ่งมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยเร่งการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันไปเป็นแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอล ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ศึกษาได้แก่ 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% w/w of oil และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ 5, 20, 40, 60 และ 80 นาที ในการทดลองนี้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้คือ 8:1 และ 60 °C ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-3 ซึ่งเป็นกราฟที่พลอตระหว่างปริมาณเมทิลเอสเทอร์กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ



ภาพที่ 4-3 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง (อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60°C)

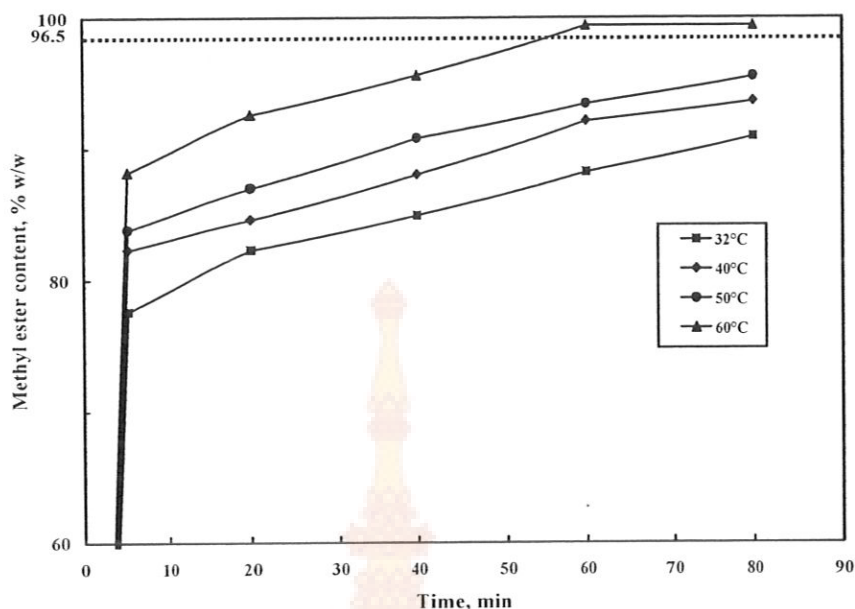
ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปตามผลการวิจัยที่เคยรายงานไว้แล้ว [3,8] เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.25 w/w of oil จะพบว่าปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ช้าที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า 0.25 w/w of oil เป็นความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำเกินไป ไม่เพียงพอที่จะเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกระเจียบแดงให้สมบูรณ์ได้ โดยปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะสูงที่สุดโดยมีค่า 99.4% w/w เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.5 % w/w of oil ภายในเวลา 60 นาที ซึ่งค่านี้จะมีค่าสูงกว่าค่าต่ำสุดของข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันของประเทศไทยและมาตรฐานระหว่างประเทศ EN 14214:2008 (E) แต่เมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็น 2% w/w of oil ปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะลดลง โดยจะมีค่าต่ำกว่าปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% w/w of oil ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลที่ค้นพบโดยนักวิจัยคนอื่นๆ [3,8] ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสถานะที่มีความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเบสสูงจะทำให้มีสบู่เกิดขึ้น ซึ่งสบู่จะทำให้ความหนืด

ของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น ปฏิกริยาจึงเกิดได้น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ลดต่ำลง [3] ดังนั้นความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกริยาที่เหมาะสมและให้ผลดีที่สุดคือ 1.5 % w/w of oil

4.2.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกริยา

ผลจากการสืบค้นข้อมูลแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการเกิดปฏิกริยาเป็นตัวแปรอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา [3,8, 17] ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกริยาที่มีต่อปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันกระเจียบแดง โดยอุณหภูมิในการเกิดปฏิกริยาที่ทำการศึกษาได้แก่ 32°, 40°, 50°, และ 60 °C และเวลาในการเกิดปฏิกริยา คือ 5, 20, 40, 60 และ 80 นาที ในการทดลองส่วนนี้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกริยาที่ใช้ คือ 8:1 และ 1.5% w/w of oil ผลการทดลองที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-4 ซึ่งเป็นกราฟที่พลอตระหว่างปริมาณเมทิลเอสเทอร์กับเวลาในการเกิดปฏิกริยา ที่อุณหภูมิในการเกิดปฏิกริยาต่างๆ

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการเกิดปฏิกริยามีผลในเชิงบวกต่อปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันกระเจียบแดงโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา โดยอัตราเร็วในการเกิดเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกริยาเพิ่มขึ้น ผลที่ได้นี้เป็นไปตามผลที่ได้โดยนักวิจัยท่านอื่น [3,8,17] จะสังเกตได้ว่าปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่างๆ แม้แต่ที่อุณหภูมิต่ำ (32°C) แต่ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์แม้แต่จะหลังจาก 80 นาทีไปแล้วก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำน้ำมันกระเจียบแดงจะมีความหนืดสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาในการกวนสารผสมของปฏิกริยาและส่งผลให้น้ำมันกับสารละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลผสมกันไม่ดี [12] จากการทดลองจะพบว่าปฏิกริยาจะสามารถเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกริยา 60°C โดยที่อุณหภูมิดังกล่าวนี้อัตราปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะสูงถึง 99.4% w/w หลังจาก 60 นาที ซึ่งค่านี้จะมีค่าสูงกว่าค่าต่ำสุดของข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรมไขมันของประเทศไทยและมาตรฐานระหว่างประเทศ EN 14214:2008 (E) ดังนั้นอุณหภูมิ 60°C จึงถูกเลือกเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกริยาที่เหมาะสม

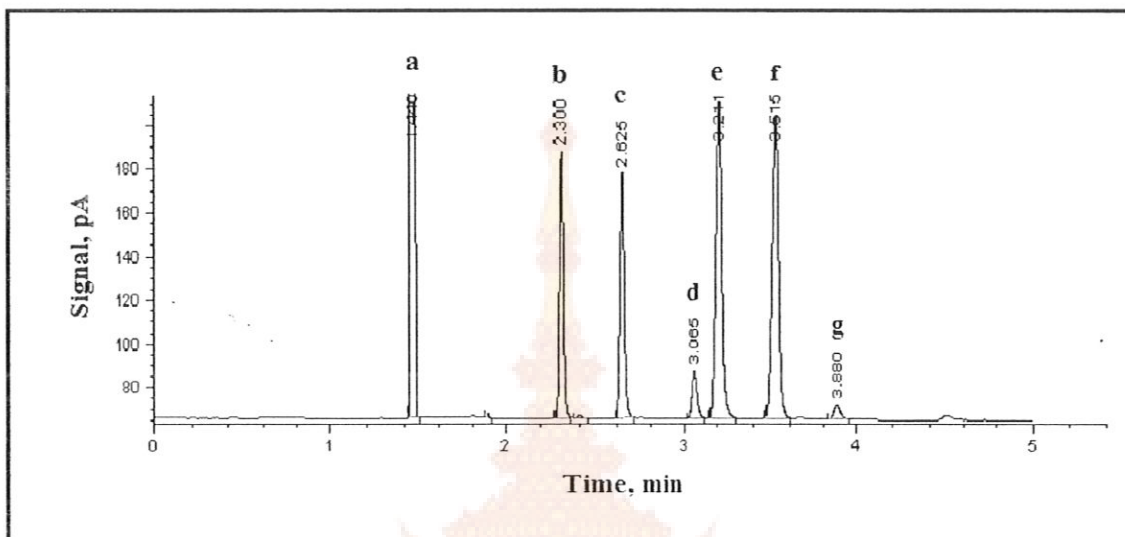


ภาพที่ 4-4 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง (อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5 % w/w of oil)

ฉะนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันกระเจี๊ยบแดงคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5 % w/w of oil อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60°C และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวนี้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีค่าเท่ากับ 99.4% w/w สำหรับ GC โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงและผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงที่เตรียมได้แสดงอยู่ในภาพที่ 4-5 และ 4-6 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิจัยนี้กับงานวิจัยของนักวิจัยอื่น ซึ่งทำการผลิตไบโอดีเซลจาก karanja oil จะพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลรวมทั้งผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงและ karanja oil มีค่าใกล้เคียงกัน โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจาก karanja oil คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0 % w/w of oil อุณหภูมิและเวลาในการเกิด

ปฏิกิริยา 60°C และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวนี้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีค่าเท่ากับ 97-98 % [3] ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดงมีประสิทธิภาพและให้ผลสำเร็จเช่นเดียวกับผลที่ได้จากงานวิจัยของนักวิจัยอื่น



ภาพที่ 4-5 GC โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง : (a) นอร์มัล-เฮปเทน (b) เมทิลปาลมิเตท (Methyl palmitate) (c) เมทิลเฮปตะเดคะโนเอท (Methyl heptadecanoate) (d) เมทิลสเตียเรท (Methyl stearate) (e) เมทิลโอลีเอท (Methyl oleate) (f) เมทิลไลโนลียเอท (Methyl linoleate) (g) เมทิลไลโนลีนเอท (Methyl linolenate)



ภาพที่ 4-6 ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจี๊ยบแดง

4.3 สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง

ไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมันกระเจียบแดงที่สภาวะที่เหมาะสมได้ถูกทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีด้วยวิธีการมาตรฐาน โดยผลที่ได้เทียบกับข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดีไบมัน พ.ศ. 2550 และมาตรฐานระหว่างประเทศ EN 14214:2008 (E) และ ASTM D 6751-07b แสดงอยู่ในตารางที่ 4-2

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งสามารถลดความหนืดของน้ำมันกระเจียบแดงลงได้จากค่าเริ่มต้น $36.35 \text{ mm}^2/\text{s}$ เหลือเพียง $4.588 \text{ mm}^2/\text{s}$ (ซึ่งก็ลดลงเหลือประมาณหนึ่งในแปดของค่าเริ่มต้น) โดยค่าที่ได้นี้จะมีความใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของความหนืดของน้ำมันดีเซลของประเทศไทย จุดไหลเทของไบโอดีเซลเป็นสมบัติที่มีความสำคัญซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการนำไบโอดีเซลไปใช้งานในสภาพอากาศหนาวเย็น [2,9] และผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดงสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในสภาวะอากาศเย็นได้ จุดวาบไฟของไบโอดีเซลจะมีค่าสูงกว่าของน้ำมันดีเซล โดยน้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟ 67.5°C ดังนั้นการผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลแม้แต่เพียงปริมาณเล็กน้อยจะช่วยเพิ่มจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลได้ [5,21] ฉะนั้นไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดงหรือสารผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดงจึงมีความปลอดภัยในการใช้งาน การเก็บรักษาและการขนส่งมากกว่าน้ำมันดีเซล ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันนั้น โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เป็นสารมัธยันต์ (Intermediat) ที่เกิดขึ้นในระหว่างที่ปฏิกิริยากำลังดำเนินไป ฉะนั้นปริมาณของสารทั้งสองชนิดนี้รวมทั้งปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลจึงเป็นสิ่งที่บ่งชี้ให้เห็นถึงความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน นอกจากนี้โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่มีในไบโอดีเซลจะก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ กับเครื่องยนต์ได้ [2] ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบที่ได้จะพบปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่ไม่พบไตรกลีเซอไรด์เลยอีกทั้งปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมาก ซึ่งสิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันกระเจียบแดงด้วยเมทานอลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ที่สภาวะที่เหมาะสมและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์อันเนื่องมาจากสารมัธยันต์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาและไตรกลีเซอไรด์ ในท้ายที่สุดเมื่อพิจารณาปริมาณกลีเซอรอลอิสระ จะพบว่าตรวจไม่พบกลีเซอรอลอิสระในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลเลย ซึ่งเป็นการชี้ให้เห็นว่าขั้นตอนในการแยกและล้างไบโอดีเซลนั้นมีประสิทธิภาพดีเยี่ยม นอกจากนี้สมบัติต่างๆ ที่ทำการวิเคราะห์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดงเป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะ

และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ พ.ศ. 2550 และมาตรฐานระหว่างประเทศ EN 14214:2008 (E) และ ASTM D 6751-07b ยกเว้นค่ากากถ่านที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานและเสถียรภาพต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน



ตารางที่ 4-2 สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดงเปรียบเทียบกับข้อกำหนดลักษณะ
และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 และมาตรฐาน
ระหว่างประเทศ EN 14214:2008 (E) และ ASTM D 6751-07b

Property	Method	Roselle biodiesel	Biodiesel specification		
			Thai specification	ASTM D 6751-07b	EN 14214:2008 (E)
Viscosity at 40°C, mm ² /s	ASTM D 445-06	4.588	3.50-5.00	1.9-6.0	-
Flash point, °C	ASTM D 93-02a	> 130	Min. 120	Min. 130	-
Sulfur content, w/w	ASTM D 5453-06	0.00021	Max. 0.001	Max. 0.0015	-
Carbon residue, % w/w (on 10% distillation residue)	ASTM D 4530-00	0.84	Max. 0.30	Max. 0.050	-
Sulfated ash content, % w/w	ASTM D 874-00	< 0.005	Max. 0.020	Max. 0.020	-
Water and sediment, % volume	ASTM D 2709-96	< 0.005	Max. 0.20	Max. 0.050	-
Copper strip corrosion (3 h at 50°C)	ASTM D 130-94	1a	Max. No. 1	Max. No. 3	-
Acid number, mg KOH/g	ASTM D 664-01	0.43	Max. 0.50	Max. 0.50	-
Phosphorous content, % w/w	ASTM D 4951-02	Nil	Max. 0.001	Max. 0.001	-
Oxidation stability, 110°C, hours	EN 14112	2.58	Min. 6.0	Min. 3.0	Min. 6.0
FAME content, % w/w	EN 14103	99.4	Min. 96.5	-	Min. 96.5
Water content, mg/kg	EN ISO 12937	450	Max. 500	-	Max. 500
Total contamination, mg/kg	EN 12662	13	Max. 24	-	Max. 24
Iodine value, g iodine/100g	EN 14111	62	Max. 120	-	Max. 120
Linolenic acid methyl ester, % w/w	EN 14103	2.1	Max. 12.0	-	Max. 12.0
MeOH content, % w/w	EN 14110	0.01	Max. 0.20	-	Max. 0.20
Monoglyceride content, % w/w	EN 14105	0.5733	Max. 0.80	-	Max. 0.80
Diglyceride content, % w/w	EN 14105	0.0163	Max. 0.20	-	Max. 0.20
Triglyceride content, % w/w	EN 14105	0	Max. 0.20	-	Max. 0.20
Free glycerol, % w/w	EN 14105	0	Max. 0.02	-	Max. 0.02
Total glycerol, % w/w	EN 14105	0.11	Max. 0.25	-	Max. 0.25
Group I metals (Na+K), ppm	ASTM D 5185-02	2.0	Max. 5.0	-	-
Group II metals (Ca+Mg), ppm	ASTM D 5185-02	Nil	Max. 5.0	-	-
Density at 15°C, kg/m ³	ASTM D 4052-96	880.1	860-900	-	-
Pour point, °C	ASTM D 5950-02	-1	Report	-	-
Gross heat of combustion, MJ/kg	ASTM D 240	39.5	Report	-	-

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลที่มีคุณภาพดีจากน้ำมันกระเจียบแดง ซึ่งเป็นน้ำมันจากส่วนของเมล็ดกระเจียบแดง โดยน้ำมันกระเจียบแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบนี้มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (% as Linoleic acid) เท่ากับ 0.67% w/w ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยตรง ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวนี้อาจเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นเมทิลเอสเตอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอรอล สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าตัวแปรทั้ง 4 ชนิดนี้มีผลในเชิงบวกต่อความสมบูรณ์ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของน้ำมันกระเจียบแดง โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 8 : 1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.5% w/w of oil อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 60 °C และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวนี้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้จะมีปริมาณเมทิลเอสเตอร์สูงถึง 99.4 % w/w โดยไบโอดีเซลที่ได้จะมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สำหรับสมบัติต่างๆ ที่ทำการวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นเป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล (B100) ของประเทศไทยและมาตรฐานระหว่างประเทศ EN 14214:2008 (E) และ ASTM D 6751-07b ยกเว้นแต่ค่ากากถ่านซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานและเสถียรภาพต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นน้ำมันกระเจียบแดงจึงเป็นน้ำมันที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

บรรณานุกรม

1. Speight JG. The Chemistry and Technology of Petroleum. 4th ed. New York: CRC Press Taylor & Francis Group; 2007.
2. Meher LC, Sagar DV, Naik SN. Technical aspects of biodiesel production by Transesterification—a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2006;10(3): 248-68.
3. Meher LC, Dharmagadda VSS, Naik SN. Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Pongamia pinnata* oil for production of biodiesel. Bioresource Technology 2006;97:1392-7.
4. Van Gerpen J. Biodiesel processing and production. Fuel Processing Technology 2005;86:1097-107.
5. Ramadhas AS, Muraleedharan C, Jayaraj S. Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil. Renewable Energy 2005;30: 1789-800.
6. Lewis RJ, Sr. Hawley's Condensed Chemical Dictionary. 12th ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company; 1993.
7. Ramanvongse S. Production of roselle seed oil and its physical and chemical Properties. Bangkok: Applied Scientific Research Corporation of Thailand; 1976.
8. Encinar JM, González JF, Sabio E, Ramiro MJ. Preparation and properties of biodiesel from *Cynara cardunculus* L. oil. Ind Eng Chem Res 1999;38:2927-31
9. Dorado MP, Ballesteros E, López FJ, Mittelbach M. Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Brassica Carinata* oil for biodiesel production. Energy & Fuels 2004;18:77-83.

บรรณานุกรม (ต่อ)

10. Phuphathanaphong L, Siriruksa P, Nuvongsri G. The genus *Hibiscus* in Thailand. Thai forest bulletin 1989;18:43-79.
11. Bown D. The Royal Horticultural Society New Encyclopedia of Herbs & Their Uses. London: Dorling Kindersley Limited; 2002.
12. Darnoko D, Cheryan M. Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. JAOCS 2000;77(12):1263-7.
13. Ma F, Hanna MA. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology 1999;70:1-15.
14. Fukuda H, Kondo A, Noda H. REVIEW Biodiesel fuel production by transesterification of oils. Journal of Bioscience and Bioengineering 2001;92(5):405-16.
15. Canakci M, Van Gerpen J. Biodiesel production via acid catalysis. Transactions of the ASAE 1999;42(5):1203-10.
16. De Oliveira JS, Leite PM, De Souza LB, Mello VM, Silva EC, Rubim JC, Meneghetti SM.P., Suarez PA.Z. Characteristics and composition of *Jatropha gossypifolia* and *Jatropha curcas* L. oils and application for biodiesel production. Biomass Bioenergy 2009; 33: 449-53.
17. Freedman B, Pryde EH, Mounts TL. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. JAOCS 1984;61(10):1638-43.
18. Tiwari AK, Kumar A, Raheman H. Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process. Biomass and Bioenergy 2007;31:569-75.

บรรณานุกรม (ต่อ)

19. Ghadge SV, Raheman H. Biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil having high free fatty acids. *Biomass and Bioenergy* 2005;28:601-5.
20. Vicente G, Martinez M, Aracil J, Esteban A. Kinetics of Sunflower Oil Methanolysis. *Ind Eng Chem Res* 2005;44:5447-54.
21. Ramadhas AS, Jayaraj S, Muraleedharan C. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel* 2005;84:335-40.
22. Park JY, Kim DK, Lee JP, Park SC, Kim YJ, Lee JS. Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties. *Bioresource Technology* 2008;99:1196-203.



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 ด้วย
ขวดวัดปริมาตร
- 2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (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 ด้วยขวดวัด
ปริมาตร
- 2.3 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้น 1%
ชั่งฟีนอล์ฟทาลีน 1 กรัมละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรเป็น 100
ml ด้วยเอทานอล 95%

3. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย 0.1 N NaOH

- 3.1 บรรจุสารละลาย 0.1 N NaOH ลงในบิวเรตขนาด 50 ml
- 3.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต 40 ml ลงใน
ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml หยดฟีนอล์ฟทาลีน ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด
- 3.3 ไทเทรตจนได้สารละลายสีชมพูอ่อน

4. การคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH

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

เมื่อ A = น้ำหนักเป็นกรัมของสารมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต
ที่ใช้เป็นสารละลาย

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต
ที่นำมาไทเทรต (ml)

C = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)

5. การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวอย่างน้ำมัน

5.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันประมาณ 7.0500 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml

5.2 บีบดิวทิลไลซ์แอลกอฮอล์ 50 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ ในข้อที่ 5.1

5.3 หยดฟีนอล์ฟทาลีนซึ่งใช้เป็นอินดิเคเตอร์ประมาณ 3-4 หยด

5.4 ไทเทรตด้วยสารละลาย 0.1 N NaOH จนได้สารละลายสีชมพูอ่อนๆ ปรากฏ
นานอย่างน้อย 1 นาที จุดปริมาตรสุดท้าย

6. การคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ

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

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลาย NaOH (ml)

N = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (N)

MW = มวลโมเลกุลของกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณมากที่สุดในตัวอย่างน้ำมัน

W = น้ำหนักของน้ำมัน (g)

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมัน
กระเจียบแดง

1. อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน

มวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีน้ำมันกระเจียบแดง = 854.1 g/mole

มวลโมเลกุลของเมทานอล = 32.04 g/mole

ความหนาแน่นของน้ำมันกระเจียบแดง = .9199 g/ml

ความหนาแน่นของเมทานอล = 0.79 g/ml

ยกตัวอย่างในกรณีอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 การคำนวณ
น้ำหนักและปริมาตรของเมทานอลและน้ำมันกระเจียบแดงที่ใช้แสดงอยู่ในตารางภาคผนวก ข-1

ตารางภาคผนวก ข-1 การคำนวณน้ำหนักและปริมาตรของเมทานอลและน้ำมัน
กระเจียบแดง

รายการ	เมทานอล	น้ำมันกระเจียบแดง
จำนวนโมล	8	1
น้ำหนัก (g)	$8 \times 32.04 = 256.32$	$1 \times 854.1 = 854.1$
ปริมาตร (ml)	$256.32/0.79 = 324.4$	$854.1/.9199 = 928.5$

ฉะนั้นปริมาตรรวมของเมทานอลและน้ำมัน = $324.4 + 928.5 = 1252.9$ ml

ดังนั้นปริมาตรรวม 1252.9 ml ใช้เมทานอล = 324.4 ml

ถ้าปริมาตรรวม 100 ml ใช้เมทานอล = $324.4/1252.9 \times 100 = 26$ ml

ฉะนั้นต้องใช้น้ำมันกระเจียบแดง = $100 - 26 = 74$ ml

ดังนั้นในกรณีที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 จะต้องใช้เมทานอล
26 ml และน้ำมันกระเจียบแดง 74 ml

2. ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

การทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันกระเจียบแดง นี้จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการนำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มาละลายในเมทานอล โดยใช้ความเข้มข้นในหน่วย % w/w of oil

ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5 % w/w of oil

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5 % w/w of oil หมายถึงถ้าใช้น้ำมันกระเจียบแดง 98.5 g จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 g ละลายในเมทานอล

ดังนั้นในกรณีที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 จะต้องใช้น้ำมัน 74 ml และจะคำนวณปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{น้ำมันกระเจียบแดง } 74 \text{ ml หนัก} &= 74 \text{ ml} \times .9199 \text{ g/ml} \\ &= 68.0726 \text{ g}\end{aligned}$$

ถ้าใช้น้ำมันกระเจียบแดง 98.5 g จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หนัก 1.5 g

ถ้าใช้น้ำมันกระเจียบแดง 68.0726 g จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หนัก

$$= 1.5/98.5 \times 68.0726$$

$$= 1.0366 \text{ g}$$

เพราะฉะนั้นในกรณีที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ 15 % w/w of oil จะต้องใช้น้ำมัน 74 ml เมทานอล 26 ml และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0366 กรัม

3. ปริมาณสารตั้งต้นที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดงในปริมาณมาก

ภายหลังจากที่เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันกระเจียบแดงแล้ว จะได้ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง จากนั้นจะต้องสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดงในปริมาณมาก (10 l) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ

ในการสังเคราะห์ปริมาณมากนี้ขนาดทำปฏิกิริยาได้เปลี่ยนเป็นขวดขนาด 500 ml ซึ่งปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้สามารถคำนวณได้ดังแสดงในภาคผนวก ข ในหัวข้อที่ 2 ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณแสดงดังในตารางภาคผนวก ข-2

ตารางภาคผนวก ข-2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันกระเจียบแดง ในปริมาณมาก

ปริมาตรน้ำมันกระเจียบแดง (ml)	ปริมาตรเมทานอล (ml)	น้ำหนักโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (g)
259	91	3.6281

หมายเหตุ ปริมาตรรวมของสารผสม 350 ml



ภาคผนวก ค

การหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล

1. วิธีการ

การหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลจะใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี โดยเครื่อง GC ที่ใช้เป็น Agilent 6890N ซึ่งจะเชื่อมต่อกับ 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 ในการทำปริมาณวิเคราะห์

2. การเตรียมตัวอย่าง

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

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

2.3 บีบเพนอร์มัล-เฮปเทน 1.25 ml ใส่ลงในไวแอลเดิมแล้วปิดฝา เขย่าให้ของผสมละลายเข้ากัน

2.4 นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ไปฉีดเข้าเครื่อง GC

3. การคำนวณ

จากโครมาโทแกรมที่ได้จะสามารถคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ได้โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$C = \frac{((\Sigma A - A_{Ei} - A_H) \times M_{17} \times 100)}{(A_E \times M_s)}$$

เมื่อ	C	=	ปริมาณเมทิลเอสเทอร์, % w/w
	ΣA	=	พื้นที่ใต้พีคทั้งหมด
	A_{Ei}	=	พื้นที่ใต้พีคของเมทิลเฮปตะเดคะโนเอท
	A_H	=	พื้นที่ใต้พีคของนอร์มัล-เฮปเทน
	M_{17}	=	น้ำหนักของเมทิลเฮปตะเดคะโนเอท, mg
	M_s	=	น้ำหนักของตัวอย่างไบโอดีเซล, mg



