



รายงานการวิจัย

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบก

Synthesis of biodiesel from *Irvingia malayana* seed oil

คณะผู้วิจัย

นางสาวอุษารัตน์ คำทับทิม

นางสาวอติทยา ศิริวิญญานนท์

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณรายได้ ปี พ.ศ. 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบอง โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยเมทานอลและใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบองนี้ได้ทำการศึกษาดัชนีแปรผันต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ได้แก่ อัตราส่วนโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบองคือ อัตราส่วนโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 8:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1 % น้ำหนักโดยปริมาตร, อุณหภูมิเท่ากับ 60°ซ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 120 นาที โดยที่สภาวะดังกล่าว ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 98 %โดยน้ำหนัก

Abstract

In this research project, the study of synthesis biodiesel from Krabok oil by transesterification reaction with methanol and potassium hydroxide as catalyst were investigated. The parameters that effect on transesterification reaction consist of the ratio of methanol and krabok oil, the concentration of catalyst, temperature and reaction time were studies. The result shown that the optimum conditions for the synthesis biodiesel from Krabok oil by transesterification reaction were the mole ratio of methanol and krabok oil 8:1, the concentration of catalyst 1%, reaction temperature of 60 °C and reaction time of 120 minutes. The content of methylester of biodisel at optimum condition was 98%w/w.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีงบประมาณ 2556 และได้รับความสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทางด้านเคมีจาก สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และ ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลในการดำเนินงานวิจัย

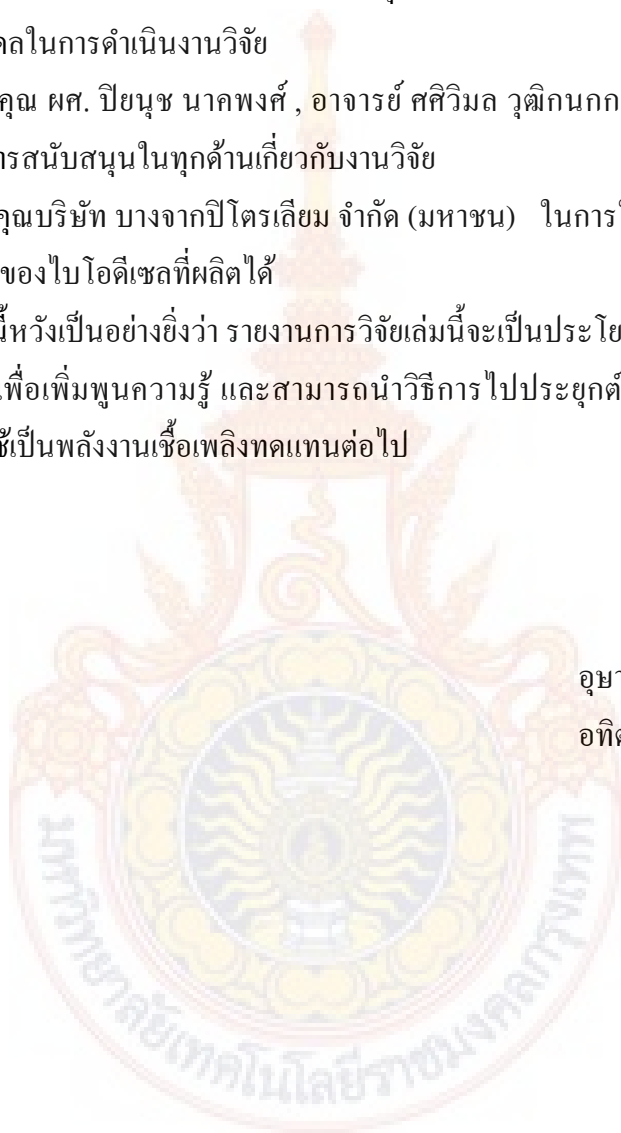
ขอขอบคุณ ผศ. ปิยนุช นาคพงศ์ , อาจารย์ ศศิวิมล วุฒิกนกกาญจน์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และการสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ในการให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้

สุดท้ายนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานการวิจัยเล่มนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจหรือผู้ที่ต้องการศึกษาเพื่อเพิ่มพูนความรู้ และสามารถนำวิธีการไปประยุกต์ใช้ในการผลิตและพัฒนาไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนต่อไป

อุษารัตน์ คำทับทิม

อติตยา ศิริวิญญานนท์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	๗
กิตติกรรมประกาศ	๘
สารบัญ	๙
สารบัญตาราง	๑๑
สารบัญภาพ	๑๒
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 กระบกก	4
2.2 ไบโอดีเซล	7
2.3 ประเภทของไบโอดีเซล	8
2.4 วัตถุดิบในการผลิตของไบโอดีเซล	9
2.5 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	13
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	14
2.7 สมบัติของไบโอดีเซล	16
2.8 ผลของการใช้ไบโอดีเซล	21
2.9 การเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล	23
2.10 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 การทบทวนวรรณกรรม	
3.1 กรอบแนวทางการดำเนินโครงการ	28

สารบัญ

	หน้า
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	28
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	29
3.4 สารเคมี	29
3.5 วัสดุดิบ	29
3.6 วิธีดำเนินการวิจัย	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	
4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดกระบะบก	45
4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติที่สำคัญของน้ำมันจากเมล็ดกระบะบกที่สกัดได้	45
4.3 ผลของตัวแปรต่างๆต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมัน เมล็ดกระบะบก	47
4.3.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน	47
4.3.2 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา	50
4.4.3 ผลอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน	51
4.3.4 ผลของเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน	53
4.4 สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์น้ำมันเมล็ดกระบะบก	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	58

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดกระบองและน้ำมันจากพืชบางชนิด	7
2.2	องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชบางชนิด	10
2.3	กรดไขมันที่พบในเมล็ดพืชต่างชนิด	12
2.4	ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน	22
2.5	ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์ไบโอดีเซล	27
3.1	การศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	37
3.2	การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบองที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	38
3.3	การศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	39
3.4	การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	39
3.5	การศึกษาผลของเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	39
3.6	การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล ด้วยวิธีมาตรฐาน	44
4.1	องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition) ในน้ำมันเมล็ดกระบอง	46
4.2	การเปรียบเทียบองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดกระบองที่สกัดได้และน้ำมันจากพืชบางชนิด	47
4.3	ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบองต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	49
4.4	ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	50
4.5	ผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	52

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.6	ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน	53
4.7	สมบัติบางประการของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบก	54



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	ตั้งกระบอก (ก) ผลกระบอก (ข) เมล็ดกระบอก (ค)
2.2	องค์ประกอบของเมล็ดกระบอก
2.3	กรดไขมันที่พบในน้ำมันเมล็ดกระบอก
2.4	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
2.5	โครงสร้างของ Triglyceride
2.6	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
2.7	ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชัน
2.8	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3.1	เมล็ดกระบอก
3.2	เนื้อในเมล็ดกระบอก (ก) เนื้อในเมล็ดกระบอกที่บดละเอียด (ข)
3.3	การจัดอุปกรณ์สำหรับการไทเทรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระ
3.4	การตั้งชุดรีฟลักซ์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
3.5	การจัดอุปกรณ์เพื่อกำจัดน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลให้ระเหยออกไป
3.6	การแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลที่ได้จากปฏิกิริยา
3.7	อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์
3.8	เครื่อง Gas chromatograph Agilent รุ่น 6890N
4.1	ลักษณะของน้ำมันเมล็ดกระบอกที่สกัดได้จากเมล็ดกระบอก
4.2	น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบอกที่ได้มีลักษณะสีเหลืองใส
4.3	ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบอกที่มีผลต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์
4.4	ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
4.5	ผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
4.6	ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ไบโอดีเซลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนมากขึ้น เนื่องจากเป็นพลังงานทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและช่วยลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับภาคเกษตรกร ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีวัตถุดิบทางเกษตรจำนวนมากและสามารถปลูกพืชน้ำมันได้หลายชนิดสำหรับผลิตไบโอดีเซล ซึ่งการศึกษาวิจัยในอนาคตเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่มีราคาถูกจะช่วยลดต้นทุนการผลิตให้แข่งขันได้กับเชื้อเพลิงปิโตรเลียมลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ และช่วยสร้างงานสร้างอาชีพให้กับเกษตรกร

โดยทั่วไปรูปแบบของไบโอดีเซล อาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ ไบโอดีเซลแบบผสม และไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดกับน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันพืชมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลมากจึงมีความจำเป็นต้องลดความหนืดของน้ำมันพืชลง โดยการใส่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) น้ำมันจากเมล็ดกระบองซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้ในท้องถิ่น เป็นน้ำมันที่มีปริมาณไขมันอิสระสูง เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันโดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดสบู่ (ไม่ได้ผลิตผลเป็นไบโอดีเซลตามที่ต้องการ) ซึ่งถ้าเปลี่ยนมาใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด จะทำให้ไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลเป็นวัตถุดิบทางชีวภาพ เช่น น้ำมันพืช น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและไขมันสัตว์ ซึ่งต้นทุนของการผลิตไบโอดีเซลจะขึ้นอยู่กับราคาของวัตถุดิบ ดังนั้นการพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลด้วยวัตถุดิบที่มีราคาถูก ซึ่งหาได้ในท้องถิ่นจึงเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจ โดยในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นถึงการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบองซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่น นอกจากนี้กระบองยังเป็นพืชที่ทนทาน ปลูกง่าย ให้ปริมาณน้ำมันสูง อีกทั้งยังไม่เคยมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันจากเมล็ดกระบองเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำมันจากเมล็ดกระบองมาสังเคราะห์ไบโอดีเซล เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของเมล็ดกระบองและเป็นพลังงานทางเลือกอีกชนิดหนึ่งเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลภายในประเทศ

ในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นการสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบกด้วยปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ระหว่างน้ำมันเมล็ดกระบกกับเมทานอล ซึ่งมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซล

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบก โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. เพื่อศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบก
3. เพื่อวิเคราะห์สมบัติที่สำคัญทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีมาตรฐาน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

สกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบกด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วนำน้ำมันเมล็ดกระบกที่สกัดได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำการศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบก ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันเมล็ดกระบกจะนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงด้วยวิธีมาตรฐาน

1.4 วิธีดำเนินการวิจัยโดยสรุป

1. สกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบกด้วยตัวทำละลายเฮกเซน
2. วิเคราะห์สมบัติที่สำคัญของน้ำมันจากเมล็ดกระบกด้วยวิธีมาตรฐาน เช่น องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition), ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid content) ค่าไอโอดีน และค่าสบอนนิฟิเคชัน (saponification number) เป็นต้น
3. สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบกด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ด้วยเมทานอล โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (4:1 – 10:1) ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (0.5-2 % โดยน้ำหนักของน้ำมัน) อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60°C และเวลาในการทำปฏิกิริยา (30-150 นาที)
4. หาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบก โดยพิจารณาจากปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นซึ่งหาได้โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)

5.วิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ (ที่สภาวะที่เหมาะสม) ด้วยวิธีมาตรฐาน

6. รวบรวมข้อมูลจากการทดลอง และแปลผล

7. สรุปผล เขียนรายงานและเอกสารเพื่อเตรียมสำหรับการตีพิมพ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ทราบสภาวะที่เหมาะสมและขั้นตอนในการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันจากเมล็ดกระบอง โดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

2.ทราบผลของตัวแปรชนิดต่างๆที่มีต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3.ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันเมล็ดกระบองโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในอนาคต

4.เป็นการเพิ่มมูลค่าของเมล็ดกระบองซึ่งเป็นวัตถุดิบทางเกษตรที่มีในท้องถิ่นชนบท ช่วยให้เกษตรกรมีรายได้

5.เป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันพืชที่มีในท้องถิ่นเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล

6.ได้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 กระบก [1]

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของกระบก (*Irvingia malayana*)

กระบกเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูง 10–30 เมตร ผลัดใบ เปลือกสีเทาอ่อนปนน้ำตาลค่อนข้างเรียบ เรือนยอดเป็นพุ่มแน่นทึบ ใบเป็นใบเดี่ยวเรียงสลับ แผ่นใบรูปมนแกมขอบขนานถึงรูปหอก ผิวใบเกลี้ยง โคนใบมน ปลายใบทู่ถึงแหลม ดอกขนาดเล็ก สีขาวปนเขียวอ่อน ออกดอกช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม ผลทรงกลมรี เมื่อสุกสีเหลืองอมเขียว เมล็ดแข็ง เนื้อในมีสีขาว ประโยชน์ของกระบก โดยทั่วไปเนื้อไม้แข็งและหนัก ใช้ทำพื้น ถ่าน ให้ความร้อนสูง ทำเครื่องมือกลึงกรรมและสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในร่ม เนื้อในเมล็ด รสมัน กินได้ น้ำมันที่ได้จากเนื้อในเมล็ดใช้ทำอาหาร และทำสบู่หรือเทียนไข

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระบก

กระบกมีชื่อสามัญว่า Kayu หรือ Barking Deers Mango มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Irvingia malayana* Oliv. Ex A. Benn. จัดเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Simaroubaceae ในประเทศไทยกระบกจะมีชื่อเรียกอื่นๆ ตามแต่ละท้องถิ่นเช่น กระบก กะบก จะบก ตระบก (เหนือ), สะอ้ง (ตราด), มะมื่น มื่น (เหนือ) บก หมาบก (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) มะลื่น หมักลื่น (สุโขทัย, นครราชสีมา)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Irvingia malayana*

ชื่อพ้อง : *I. Olivveri Plerre*

วงศ์ : Simaroubaceae

ชื่อสามัญ : Barking Deer s Mango

ดอก ช่อดอกจะออกตามง่ามใบและปลายกิ่ง ช่อยาวประมาณ 5-10 เซนติเมตร ดอกมีสีขาว มีกลีบเลี้ยง 5 กลีบ ภายในดอกจะมีช่อเกสรขึ้นอยู่กลางดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ออกดอกช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน

ผล มีลักษณะกลมรีคล้ายผลมะม่วงหรือมะปราง ผลอ่อนจะมีสีเขียว ผลแก่มีสีเหลืองเหมือนมะปราง มีเปลือกหุ้มเมล็ดมีสีขาว รับประทานได้ ผลกระบกเริ่มติดผลช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม และจะแก่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคมของทุกปี

ใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงสลับกันตามกิ่ง ใบอ่อนมีสีม่วงเข้ม ใบแก่สีเขียวเข้ม ลักษณะใบเป็นรูปกลมรีคล้ายปลายหอก ขอบใบเรียบ โคนมนหรือเว้าเล็กน้อย ปลายใบแหลม เส้นใบสานเป็นร่างแหเห็นได้ชัดเจน ยอดอ่อนมีข้อหุ้มคล้ายรูปดาบ จะผลัดใบช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม

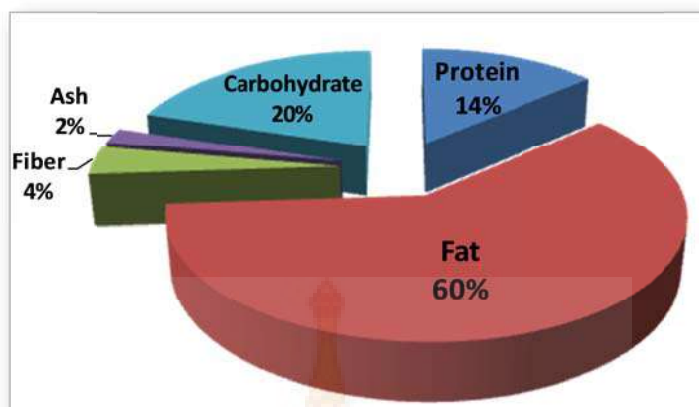
ลำต้น ลำต้นไม่เรียบแตกเป็นกระพี้บ้างเล็กน้อย เปลือกสีน้ำตาลหรือสีเทาอ่อน ลักษณะเป็นทางพุ่มกลมรี ใบหนาทึบ



รูปที่ 2.1 ต้นกระบก (ก) ผลกระบก (ข) เมล็ดกระบก (ค)

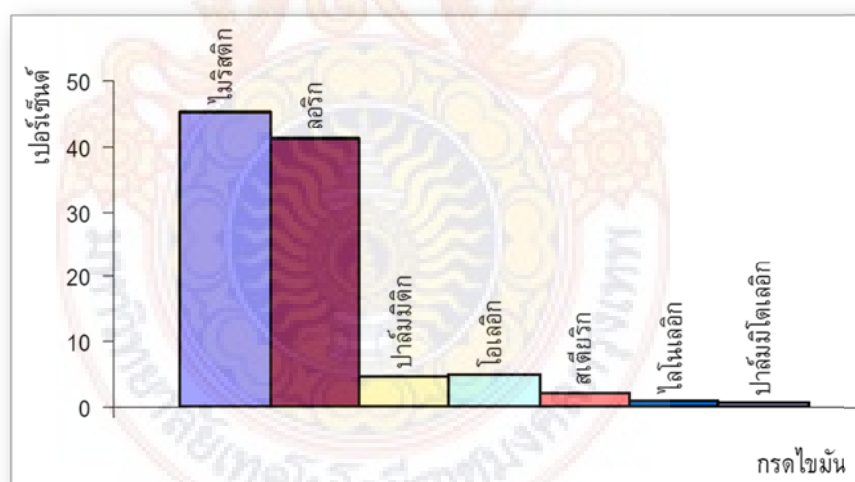
2.2.3 ประโยชน์ของกระบก

สำหรับการการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดกระบก[6] พบว่าเมล็ดกระบก มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไขมันประมาณ 60% คาร์โบไฮเดรต 20% โปรตีน 14% และไฟเบอร์ 4% ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบก ซึ่งคาดว่าจะการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบก น่าจะได้ประมาณน้ำมันเป็นจำนวนมาก เนื่องจากในเมล็ดกระบกมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของเมล็ดกระบก [6]

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณางานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบก [2] พบว่าในน้ำมันเมล็ดกระบก ประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิดเช่น กรดไมริสติก (ประมาณ 46%) กรดลอริก (ประมาณ 42%) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันเมล็ดกระบกเป็นส่วนมาก นอกจากนั้นในน้ำมันเมล็ดกระบกยังประกอบกรดไขมันชนิดอื่นที่มีอยู่ในปริมาณน้อยเช่น กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก กรดสเตียริก กรดไลโนเลอิก ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กรดไขมันที่พบในน้ำมันเมล็ดกระบก [2]

จากตารางที่ 2.1 เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในน้ำมันเมล็ดกระบกกับน้ำมันปาล์มเมล็ดใน และน้ำมันมะพร้าว พบว่ามีปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักใกล้เคียงกัน เช่น Myristic

acid, Palmitic acid และ oleic acid นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันชนิดอื่นๆ ในน้ำมันเมล็ดกระบองที่เหมือนกับน้ำมันปาล์มเมล็ดในและน้ำมันมะพร้าว [3, 4] ซึ่งเมื่อพิจารณาค่า saponification value ของน้ำมันทั้งสามประเภทพบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงมีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะผลิตน้ำมัน ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบอง เช่นเดียวกับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมล็ดในและน้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดกระบองและน้ำมันจากพืชบางชนิด[3,4]

ชนิดกรดไขมัน	ร้อยละของกรดไขมัน		
	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันกระบอง
Caproic acid	0-1	0.2-0.8	2.77
Lauric acid	44-51	46-50	48.02
Myristic acid	15-17	17-19	42.18
Palmitic acid	7-10	8-10	3.69
Stearic acid	2-3	2-3	0.29
Oleic acid	12-19	5-7	2.28
Linoleic acid	1-2	1-2.5	0.26
Capric acid	3-5	6-10	-
Palmitoleic acid	-	-	0.51
Saponification value	190-209	248-285	246

2.2 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซล คือ น้ำมันที่ผลิตได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันพืชสกัดใหม่ซึ่งได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันงา น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันมะกอก น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันสับปะรดหรือน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหาร มาแปรสภาพโดยผ่านกระบวนการทางเคมีกับแอลกอฮอล์ได้เป็นน้ำมันชนิดใหม่อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์(methyl ester) หรือเอทิลเอสเทอร์ (ethyl ester) ที่เรียกว่าไบโอดีเซล[5, 6] โดยองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์เป็นไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ซึ่งเมื่อรวมกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) โดยมีปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกินพอ (excess alcohol) จะทำให้เกิดการรวมพันธะของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ เกิดเป็นไบโอดีเซล ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล โดยนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ โดยไม่เกิดผลกระทบ

ต่อระบบการทำงานของเครื่องยนต์ ปฏิกิริยานี้เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification reaction) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะได้ กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นผลพลอยได้ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง โดยในปัจจุบันการพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลด้วยวัตถุดิบทางชีวภาพที่มีราคาถูก และหาได้ง่ายในท้องถิ่นกำลังเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจมาก

ข้อดีของการใช้ไบโอดีเซลมีหลายประการ เช่น เป็นพลังงานทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ช่วยลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ เป็นการเพิ่มรายได้ให้กับภาคเกษตรกร เนื่องจากมีวัตถุดิบทางเกษตรและพืชน้ำมันหลายชนิดสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ นอกจากนี้การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ภายในประเทศ นับว่าเป็นเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศ ดังนั้นการพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับไบโอดีเซลจากวัตถุดิบทางการเกษตรที่หาได้ในท้องถิ่น จึงเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจ

2.3 ประเภทของไบโอดีเซล [7]

สามารถแบ่งตามประเภทของน้ำมันที่นำมาใช้ได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. ไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทนี้คือน้ำมันพืชแท้ๆ (เช่น น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันปาล์ม, น้ำมันถั่วลิสง, น้ำมันถั่วเหลือง) หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ (เช่น น้ำมันหมู) ซึ่งสามารถเอามาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่น หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน การใช้น้ำมันพืชหรือสัตว์โดยตรงมีปัญหาค่อนข้างมาก เนื่องจากคุณสมบัติของมันต่างกับดีเซลค่อนข้างมาก จึงมีปัญหาเรื่องการสันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสะดุด มีผลต่อลูกสูบและวาล์ว มีตะกรันขาวอยู่ในถังน้ำมัน และหนืด ความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำลงทำให้ จากที่สตาร์ทไม่ค่อยจะติดอยู่แล้วกลายเป็นไม่ติดไปเลยในที่อากาศเย็นๆ แต่มีข้อดีคือราคาถูกพอใช้ได้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ แต่ก็ไม่ค่อยนิยมใช้กัน

2. ไบโอดีเซลแบบผสม

ไบโอดีเซลชนิดนี้เป็นการนำน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์มาผสมกับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น โคโคดีเซล (coco-diesel) ที่ อ.ทับสะแก ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (palm-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลชนิดนี้จะลดปัญหาเรื่องความหนืดลงไปได้บ้าง แต่ก็ยังมีปัญหาดอนที่อากาศเย็น และปัญหาเรื่องการอุดตันของเครื่องยนต์คือ ไส้กรองจะอุดตันเร็วกว่าปกติ สำหรับปัญหาอื่นๆไม่มี คุณสมบัติส่วนมากจะเหมือนกับน้ำมันดีเซล เครื่องจะเดินเรียบไม่มีปัญหาเรื่องสะดุดกุกกักเหมือนแบบแรก เครื่องสตาร์ทติดง่ายเหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลการเกษตร

ได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันสบู่ดำ เป็นต้น

น้ำมันพืชและไขมันจากสัตว์เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมเลกุล กับกรดไขมันอีก 3 โมเลกุล ซึ่งกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว น้ำมันพืชและไขมันจากสัตว์ มีกรดไขมันหลากหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96% ของน้ำหนักโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ทำให้สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ตามสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ น้ำมันพืชส่วนใหญ่แล้วมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมัน ระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกันไป น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวปริมาณสูง จะมีค่าไอโอดีนต่ำและค่าไอโอดีนจะสูงขึ้นตามลำดับเมื่อมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้น องค์ประกอบของกรดไขมัน (free fatty acid) ของน้ำมันพืชบางชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชบางชนิด [12]

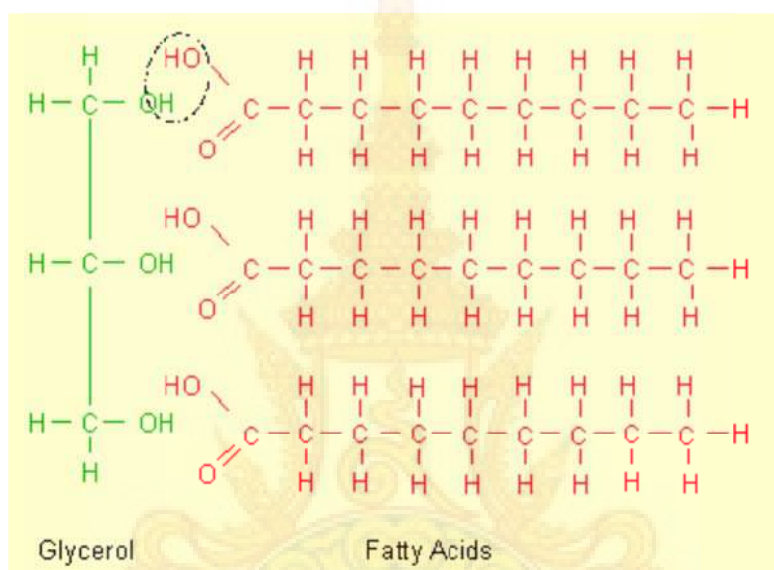
ชนิดน้ำมัน	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก (%โดยน้ำหนัก)										
	14:0	14:1	16:0	16:1	17:0	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1
น้ำมันคาโนลา	0.1	0.0	4.1	0.3	0.1	1.8	60.9	21.0	8.8	0.7	1.0
น้ำมันข้าวโพด	0.1	0.0	10.9	0.2	0.1	2.0	25.4	59.6	1.2	0.4	0.0
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	3.5	19.1	15.3	56.6	0.0	0.0
น้ำมันมะกอก	0.0	0.0	13.7	1.2	0.0	2.5	71.1	10.0	0.6	0.9	0.0
น้ำมันปาล์ม	1.0	0.0	44.4	0.2	0.1	4.1	39.3	10.0	0.4	0.3	0.0
น้ำมันถั่วเหลือง	0.1	0.0	11.0	0.1	0.0	4.0	23.4	53.2	7.8	0.3	0.0
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	3.9	42.6	46.4	1.0	0.0	0.4

หมายเหตุ ในตาราง ตัวเลข x:y ย่อมาจาก สายโซ่ของคาร์บอนอะตอมต่อจำนวนพันธะคู่(chain carbon atoms : number of unsaturations)

กรดไขมันอิสระ (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นไฮโดรคาร์บอนแบบนอนโพลาาร์ที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 4-24 อะตอมปลายข้างหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group, R-COOH) กรดไขมันที่พบในลิพิดของพืชและสัตว์ชั้นสูงมีจำนวน

อะตอมคาร์บอนเป็นเลขคู่ อยู่ระหว่าง 14-22 อะตอม โดยเฉพาะ C16 และ C18 พบมากที่สุด โดยอาจเป็นโซ่ยาวที่อิ่มตัวซึ่งไม่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุล (Saturated fatty acid) หรือ เป็นสายโซ่ที่ไม่อิ่มตัวซึ่งมีพันธะคู่ 1 คู่ภายในโมเลกุล (Monounsaturated fatty acid) หรือมีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ภายในโมเลกุล (Polyunsaturated fatty acid) ซึ่งแต่ละชนิดมีความยาวของสายโซ่ ตำแหน่ง และจำนวน ของพันธะเดี่ยวหรือคู่แตกต่างกันจึงมีความอิ่มตัวไม่เท่ากัน ในเซลล์จะไม่พบอยู่ในรูปอิสระแต่จะอยู่รวมกัน เป็นลิพิดด้วยพันธะ โคเวเลนต์ ซึ่งสามารถถูกสลายด้วยเอนไซม์หรือทางเคมี



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ Triglyceride

ไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งของสิ่งมีชีวิต ไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งไตรกลีเซอไรด์ประกอบด้วยกรดไขมัน (Fatty acid) และ กลีเซอรอล (glycerol) กรดไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งไขมันส่วนใหญ่จะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ระหว่าง 4 – 20 อะตอม ที่พบมากมีจำนวนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอม พันธะที่ต่อระหว่างคาร์บอนอะตอมมีทั้งชนิดที่เป็นพันธะเดี่ยว (Single bond) และพันธะคู่ (Double bond) กรดไขมันที่พบเฉพาะพันธะเดี่ยวเรียกว่า “กรดไขมันอิ่มตัว” (Saturated Fatty Acid) พบในปริมาณที่สูงในไขมันสัตว์ และกรดไขมันที่พบพันธะคู่รวมอยู่ด้วย เรียกว่า “กรดไขมันไม่อิ่มตัว” (Unsaturated Fatty Acid) พบในปริมาณที่สูงในน้ำมันพืช

การจำแนกชนิดกรดไขมัน

โครงสร้างของกรดไขมันประกอบด้วยส่วนของไฮโดรคาร์บอนและหมู่คาร์บอกซิล กรดไขมันอาจมีพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม ดังนั้นจึงจัดจำแนกชนิดของกรดไขมันได้เป็น 2 ชนิดคือกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid)

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid, SFA) เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนกับคาร์บอนยึดเหนี่ยวด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด มีลักษณะเป็นโซ่ตรง กรดไขมันอิ่มตัวนี้ร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นมาเองได้ จึงจัดว่าเป็นกรดไขมันที่ไม่จำเป็น (Nonessential fatty acid) ตัวอย่างเช่นกรดบิวทริก (Butyric acid, C4:0), กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid, C16:0), กรดสเตียริก (Stearic acid, C18:0), กรดอะราคิติก (Arachidic acid, C20:0)

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid, UFA) จะมีอะตอมของคาร์บอนที่เรียงตัวกันเกิดมีบางตำแหน่งที่จับไฮโดรเจนไม่เต็มกำลังเกิดมีพันธะคู่ (double bond) อยู่บางตำแหน่งหรือมากกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้ ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาเองได้ จึงจัดว่าเป็นกรดไขมันที่จำเป็น (Essential fatty acid) ตัวอย่างเช่นกรดไลโนเลอิก (Linoleic acid, C18:2), กรดโอเลอิก (Oleic acid, C18:1), กรดไลโนเลนิก (Linolenic acid, C18:3), กรดอะราคิโดนิก (Arachidonic acid, C20:4)

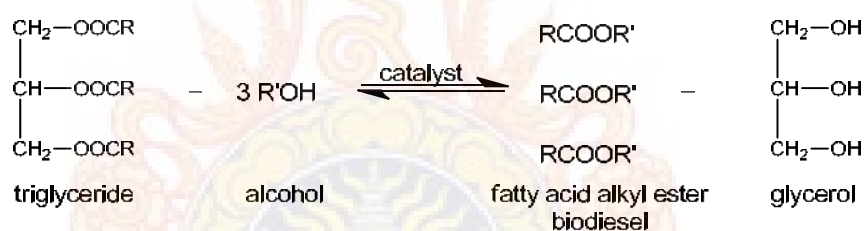
สำหรับกรดไขมันที่พบในเมล็ดพืชนั้นส่วนใหญ่ มีทั้งกรดไขมันที่อิ่มตัว เช่นกรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) กรดสเตียริก (Stearic acid) กรดอะราคิติก (Arachidic acid) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบ เช่น กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) กรดโอเลอิก (Oleic acid) และกรดไลโนเลนิก (Linolenic acid) ซึ่งในเมล็ดพืชแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด สภาพการเจริญ และชนิดของเมล็ดพืช

ตารางที่ 2.3 กรดไขมันที่พบในเมล็ดพืชต่างชนิด ที่มา: S.A. Smith และคณะ (2007)

ชนิดกรดไขมัน	ปริมาณเปอร์เซ็นต์กรดไขมัน (Fatty acid compositions, %)				
	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
High oleic sunflower	4.85	2.34	87.4	5.45	0.0
Regular sunflower	6.74	4.45	17.2	71.6	0.0
Soybean	11.1	3.33	25.6	54.6	5.40
Corn	11.8	1.33	18.2	58.6	0.0
Peanut	12.1	1.51	51.8	34.6	0.0

2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

โดยทั่วไปองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืช คือ กรดไขมัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) ในปริมาณสัดส่วนของกรดทั้งสองชนิดจะแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันพืชแต่ละชนิด มีความแตกต่างกัน ซึ่งกรดไขมันที่พบในน้ำมันพืชส่วนใหญ่ จะเป็นกรดไขมันพวกไม่อิ่มตัว เนื่องจากน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก จึงจำเป็นต้องลดความหนืดของน้ำมันพืชให้ต่ำลง ซึ่งวิธีการในการลดความหนืดของน้ำมันพืชสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การสลายตัวด้วยความร้อนการผสมกับน้ำมันดีเซล หรือการใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน(Transesterification)[8] โดยกระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนน้ำมันพืชให้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่นิยมคือ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์กับเอทานอลหรือเมทานอล โดยกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของกลีเซอไรด์ให้อยู่ในรูปของเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl ester) หรือเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) และได้กลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (By product) [9, 10] เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้นี้ มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซลดังนั้นจึงเรียกเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันนี้ว่าไบโอดีเซล



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

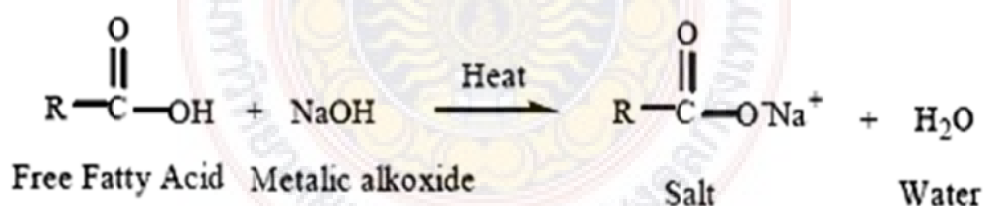
ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยการสกัดกลีเซอรอลออกด้วยแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล เรียกกระบวนการนี้ว่า Transesterification โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็น กรด, ด่าง, NaOH, KOH หรือ เอนไซม์ ขึ้นอยู่กับคุณภาพและส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ เพื่อให้ได้โมโนแอลคิลเอสเทอร์(Monoalkyl ester) หรือเมทิลเอสเทอร์(Methyl ester) เมื่อน้ำมันพืชถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์แล้วขนาดโมเลกุลจะลดลงเหลือ 1 ใน 3 เป็นผลทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลงอย่างมากใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล[8]

Freedman et al. [11] ได้ทำการศึกษานิตของกรดที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล ซึ่งกรดที่ใช้ในการทดลองคือกรดซัลฟิวริก กรดซัลโฟนิก และกรดไฮโดรคลอริก และพบว่าการใช้เมทอกไซด์(Methoxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถทำให้เกิดไบโอดีเซลจากน้ำมันดอกทานตะวันได้ดี

ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดมาจากพืชโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (alkali catalyzed เช่น NaOH, KOH) ไตรกลีเซอไรด์(triglyceride) ควรมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA) ที่ต่ำเพราะถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระที่มากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน (Saponification) ได้ ผลผลิตเป็นสบู่ ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณ FFA ไม่ควรเกิน 5% สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดมาจากพืช ที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา[12] สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (HCl, H₂SO₄) สามารถใช้ได้กับน้ำมันพืชที่มีปริมาณ FFA สูง ซึ่งปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งเป็นกรดจะให้ผลผลิตไบโอดีเซลที่สูง แต่เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะนานและปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เข้าทำปฏิกิริยาจะมากขึ้น [13]

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [14]

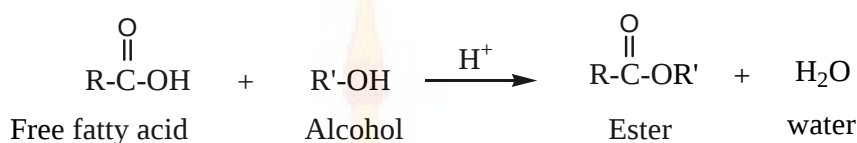
1. ความชื้นและกรดไขมันอิสระ ในปฏิกิริยา transesterification ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (NaOH, KOH) จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสม เพราะน้ำจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาสบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลต่อสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล คือ ทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล และ ยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย



รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน (Saponification)

นอกจากนี้ น้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซล ควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 2 (มิลลิกรัม KOH / กรัมไขมัน) หรือเท่ากับมีปริมาณกรดไขมันอิสระ 1 %โดยน้ำหนัก

เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบมากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง เนื่องจากเกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่ค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 mg/g) จะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยให้ทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid esterification) แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [14]

2. ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น โดยอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ในปฏิกิริยาคือ 3 โมลของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ (รูปที่3) ดังนั้นยังใช้อัตราส่วนมากเท่าใดก็จะทำให้ได้ไบโอดีเซลมากขึ้น โดยอัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ใช้ในอุตสาหกรรมซึ่งพบว่าได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 98 %

3. ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้แก่ เบส กรด หรือ เอนไซม์ โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแต่สำหรับกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีความเหมาะสมมากกว่า

4. ผลของเวลาและอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันอย่างมาก อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอ ปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้เช่น ถ้าเป็นเมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60-70 °C ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)

2.7 สมบัติของไบโอดีเซล

เนื่องจากไบโอดีเซลมีคุณภาพที่หลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและวิธีการผลิต ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐานกลางที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถนำไบโอดีเซลไปใช้งานได้ซึ่งในปัจจุบัน ทางแถบยุโรปได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลที่ใช้งานคือ EN 14214 และทางแถบอเมริกาได้ใช้มาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลคือ ASTM D 6751 สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลที่มีจำหน่ายในประเทศไทย จะต้องมีความเป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดรายละเอียดข้อกำหนดจำนวน 24 รายการ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.7.1 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล และการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลที่สมบูรณ์ มาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณเอสเทอร์น้อยกว่าที่กำหนด ชีบอกลังยังมีโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์อยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณสูงกว่าที่กำหนด ส่งผลให้ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าสูง และเกี่ยวเนื่องกับการอุดตันในหัวฉีด หรือกระบอกสูบของเครื่องยนต์

2.7.2 ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C

ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ค่าความหนาแน่นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากก็จะให้พลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน ความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลที่ตกค้างในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำอีกด้วย

2.7.3 ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ

ความหนืดเกี่ยวข้องกับการไหล การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีดในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยขนาดเล็กจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบความหนืดยังเป็นดัชนีแสดงการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกทางหนึ่ง

2.7.4 จุดวาบไฟ

จุดวาบไฟเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอของน้ำมัน แล้วทำให้น้ำมันติดไฟมาตรฐานกำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 120 °ซ ปริมาณเมทานอลที่หลงเหลือในไบโอดีเซลทำให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ จุดวาบไฟมีผลต่อการขนส่ง เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ ปริมาณเมทานอลที่ยังคงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณมากกว่า 0.2 % ส่งผลให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่า 100 °ซ

2.7.5 กำมะถัน

ไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณกำมะถันต่ำ เนื่องจากน้ำมันพืชดิบที่ใช้ในการผลิตมักมีองค์ประกอบของกำมะถันต่ำกว่า 15 ส่วนในล้านส่วน องค์ประกอบกำมะถันในน้ำมันเมื่อถูกเผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งถูกปล่อยออกมาพร้อมไอเสียจากเครื่องยนต์ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.7.6 กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)

ปริมาณกากถ่านมีความสัมพันธ์กับปริมาณกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สบู่ ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ยังหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล หากมีปริมาณกากถ่านสูงกว่าข้อกำหนด ชีบออกถึงยังคงมีสารต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล นอกจากนั้นยังแสดงถึงแนวโน้มของปริมาณกากถ่านที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ กากถ่านมีผลต่อการอุดตันในหัวฉีดหรือที่ลูกสูบ ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง เครื่องยนต์สกปรกและต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องบ่อยครั้ง

2.7.7 เถ้าซัลเฟต

เถ้าซัลเฟตเกิดจากการเผาไหม้ของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล เนื่องมาจากการตกค้างของสบู่และตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณเถ้าซัลเฟตมีผลต่อการอุดตันในเครื่องยนต์

2.7.8 น้ำ

ปริมาณน้ำในน้ำมันทำให้การเผาไหม้ไม่ดี นอกจากนั้นน้ำในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกระหว่างน้ำกับเอสเทอร์ เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งส่งผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ และเป็นตัวเร่งให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังเก็บน้ำมัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หัวฉีดอุดตัน

2.7.9 สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด

สารปนเปื้อนในน้ำมันไบโอดีเซลส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน และปฏิกิริยาข้างเคียง เช่นปฏิกิริยาการเกิดสบู่ของกรดไขมันอิสระและตัวเร่งปฏิกิริยาเบส ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารที่ไม่สะปอนิฟาย ได้แก่ ไขมันที่ไม่อยู่ในรูปของกลีเซอไรด์, กรดไขมันอิสระ, fatty alcohol, สารประกอบไฮโดรคาร์บอน, แอลกอฮอล์อย่างแข็ง, triterpene alcohol, สารประกอบแคโรทีน วิตามิน และอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบน้ำมันพืชเริ่มต้น โดยทั่วไปสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดจะถูกกำจัดออกจากไบโอดีเซลในขั้นตอนการล้างน้ำสิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลมีผลเสียต่อเครื่องยนต์หลายด้าน เช่น คุณสมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซลระหว่างการเก็บรักษา เนื่องสารประกอบของสารที่ไม่สะปอนิฟาย เปลี่ยนสภาพกลายเป็นสารที่มีผลในการลดคุณสมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซล

2.7.10 การกัดกร่อนแผ่นทองแดง

การกัดกร่อนแผ่นทองแดง แสดงการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลเนื่องจากปริมาณกรดเช่น กรดไขมันอิสระ และสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำมัน ซึ่งค่าการกัดกร่อนนี้มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

2.7.11 ค่าของกรด

แสดงความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซล เป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบ น้ำมันพืชและปริมาณกรดที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ ทำให้อายุการใช้งานของปั๊ม และไส้กรองน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกจากปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันและผลของสภาวะในการจัดเก็บ

2.7.12 กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์

แสดงถึงพันธะคู่หรือความไม่อิ่มตัวของไบโอดีเซล ซึ่งมีแนวโน้มทำให้เกิดพอลิเมอร์ในเครื่องยนต์ ทำให้เกิดการอุดตัน และการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ปริมาณกรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เลือกมาใช้เป็นวัตถุดิบ

2.7.13 เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110°ซ.

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากการเกิดสารประเภท เพอร์ออกไซด์ (peroxide linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่อยู่ในโครงสร้างของไบโอดีเซล ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยที่ความร้อนและแสงแดดมีผลช่วยเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่โลหะเช่นทองแดง และตะกั่ว ก็เป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดสารพอลิเมอร์ (oxidation polymerization) และเกิดของแข็งที่ไม่ละลายในไบโอดีเซล เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากจะขึ้นกับประเภทและคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบแล้ว ยังขึ้นกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสูงแก่ไบโอดีเซลเป็นระยะเวลานาน อาจส่งผลให้เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้มีค่าสูงกว่า 6 ชั่วโมง ที่ 110 องศาเซลเซียส

2.7.14 ค่าไอโอดีน

ค่าไอโอดีนแสดงพันธะคู่ในน้ำมัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ค่าไอโอดีนต่ำแสดงถึงการมีสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างไบโอดีเซลสูง ทำให้ไม่มีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังมีความสัมพันธ์กับจุดขุ่น ซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดไข หรือจับตัวเป็นก้อนแข็ง ไบโอดีเซลที่มีค่าไอโอดีนต่ำจะมีจุดขุ่นสูง ซึ่งมีผลต่อการใช้งานสภาพอากาศเย็น ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีค่าไอโอดีน 50-55 ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กำหนดให้ ค่าไอโอดีนไม่สูงกว่า 120 กรัมไอโอดีน/100 กรัม

2.7.15 เมทานอล

เมทานอลเป็นสารตั้งต้นที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกให้หมดก่อนนำไบโอดีเซลออกจำหน่าย จึงต้องมีปริมาณต่ำในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล จุลวบน้ำไฟขั้นต่ำของไบโอดีเซลคือ 130 องศาเซลเซียส เมทานอลมีค่าจุลวบน้ำไฟต่ำ ถ้ายังมีเมทานอลปะปนอยู่ในไบโอดีเซล จะทำให้ไบโอดีเซลมีจุลวบน้ำไฟต่ำลงด้วย ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยในการเก็บรักษา การขนส่ง

และการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ เมทานอลมีค่าความเข้มข้นมากกว่า 5% จะมีผลกระทบต่อค่าซีเทน และความหล่อลื่นของน้ำมัน

2.7.16 โมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์

ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด กระบอกสูบ และวาล์วภายในเครื่องยนต์

2.7.17 กลีเซอรินอิสระ

ปริมาณกลีเซอรินที่ยังเหลืออยู่ในไบโอดีเซล เนื่องมาจากการแยกกลีเซอรินไม่สมบูรณ์ ทำให้มีปัญหาการแยกชั้นของกลีเซอรินในการจัดเก็บไบโอดีเซล รวมถึงการสะสมที่บริเวณด้านล่างของถังน้ำมัน กลีเซอรินมีผลต่อการอุดตันที่หัวฉีดและระบบลำเลียงน้ำมัน

2.7.18 กลีเซอรินทั้งหมด

กลีเซอรินทั้งหมดคือปริมาณของกลีเซอรินอิสระ และปริมาณกลีเซอรินในโมเลกุลโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ที่เจือปนในองค์ประกอบไบโอดีเซล ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันไม่สมบูรณ์ มีผลก่อให้เกิดการอุดตันที่บริเวณหัวฉีดและไส้กรอง และปัญหาการใช้งานในสภาพอากาศอากาศเย็น

2.7.19 โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม), โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียม และแมกนีเซียม)

เป็นการวัดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบส สบู่ และโลหะหนักจากน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล แคลเซียมยังมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีสำหรับกระบวนการพอลิเมอไรส์ของเอสเทอร์อีกด้วย ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนดให้ ปริมาณโลหะกลุ่ม 1 และโลหะกลุ่ม 2 ไม่สูงกว่าอย่างละ 5.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2.7.20 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นสารที่ปนเปื้อนอยู่ในวัตถุดิบน้ำมันพืชตั้งแต่เริ่มต้น หากไม่ทำการกำจัดออกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จะทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีฟอสฟอรัสปะปนอยู่ด้วย ซึ่งจะทำให้ความเสียหายให้กับอุปกรณ์ตะไคร่ไดคัท คอนเวอเตอร์ (Catalytic converter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการ

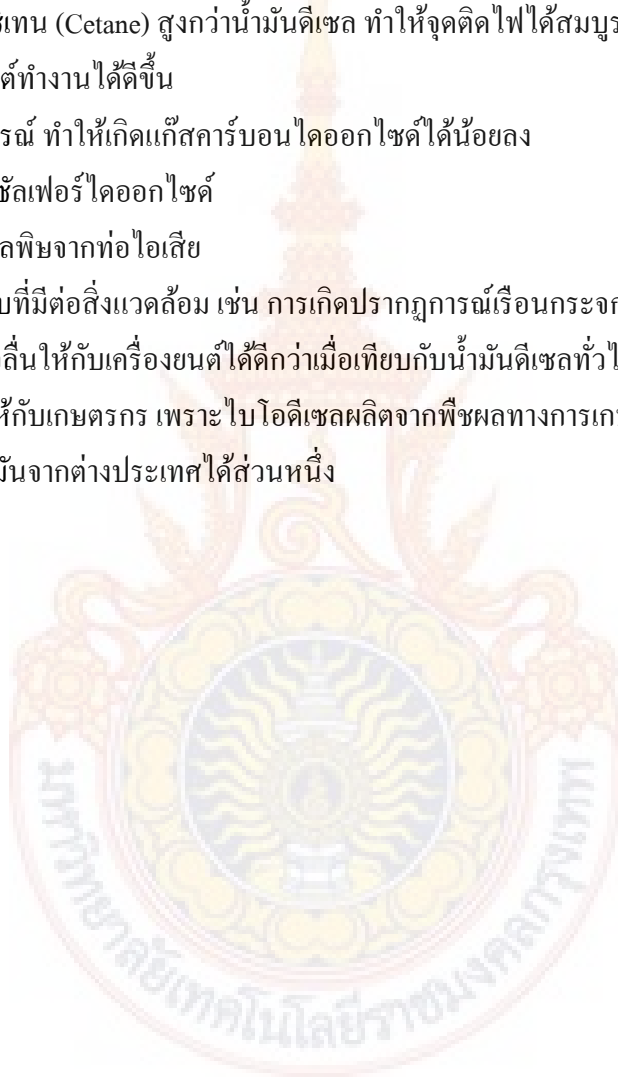
ควบคุมการแพร่มลพิษจากการที่มาตรฐานของการแพร่มลพิษเป็นกข้อบังคับมากขึ้น อุปกรณ์ catalytic converter จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

2.8 ผลของการใช้ไบโอดีเซล

ในปัจจุบัน ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยนำมาผสมกับดีเซล หรือใช้กับเครื่องยนต์โดยตรง ซึ่งข้อดีสำหรับการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีหลายประการ เช่น

- ไบโอดีเซลมีค่าซีเทน (Cetane) สูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้จุดติดไฟได้สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้การจุดระเบิดของเครื่องยนต์ทำงานได้ดีขึ้น

- การสันดาปสมบูรณ์ ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยลง
- ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- ช่วยลดปริมาณมลพิษจากท่อไอเสีย
- ช่วยลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก
- ช่วยเพิ่มการหล่อลื่นให้กับเครื่องยนต์ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป
- ช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร เพราะไบโอดีเซลผลิตจากพืชผลทางการเกษตร
- ลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศได้ส่วนหนึ่ง



ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

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(เซนติสโตกส์)	3.5	5.0	ASTM D445
4. จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	120	-	ASTM D93
5. กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.0010	ASTM D2622
6. กากคาร์บอน (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. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (หมายเลข)	-	1	ASTM D130
12. เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ชั่วโมง) ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส	6	-	EN 14103
13. ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / 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. กลีเซอรอลอิสระ (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)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

2.9 การเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลในการใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นผลผลิตที่ได้จากน้ำมันจากพืชที่ผ่านกระบวนการทางเคมี ให้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลซึ่งบางคุณสมบัติเป็นข้อได้เปรียบและบางคุณสมบัติเป็นข้อเสียเปรียบ เมื่อนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยทั่วไปแล้วสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลดังนี้

1. ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ทำให้ไอเสียที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ไม่ก่อให้เกิดฝนกรด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกเผาไหม้แล้วกำมะถันในน้ำมันดีเซลจะเปลี่ยนรูปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และกรดซัลฟิวริกหรือกรดกำมะถันตามลำดับ เกิดเป็นมลพิษทางอากาศ
2. น้ำมันดีเซลไม่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลและมีองค์ประกอบของสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic compound) ถึงร้อยละ 20-40 ขณะที่ไบโอดีเซลไม่มีสารประกอบอะโรมาติก แต่ออกซิเจนที่อยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 10-12 ทำให้เมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จะมีปริมาณควันดำต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล
3. ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงมีค่าการจุดระเบิดในเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล
4. น้ำมันดีเซลไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุล ขณะที่ไบโอดีเซลมีพันธะคู่ ในน้ำมันพืช ไม่เสถียรตัวเกิดออกซิเดชันได้เร็วกว่าน้ำมันดีเซล และมีระยะเวลาเก็บรักษาหลังการผลิตสั้นกว่าน้ำมันดีเซล
5. ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชต่างชนิดกัน จะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ถึงร้อยละ 94-96% ของน้ำหนักโมเลกุล ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันมีคุณสมบัติทั้งทางด้านเคมีและกายภาพเป็นไปตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบนั้นด้วย

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พัชรพร ภาเรืองและคณะ (2550) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราซึ่งทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเป็นเฮกเซน[20] จากการศึกษาพบว่าเมล็ดยางพารา 1 กรัม มีปริมาณน้ำมันทั้งหมด 30.24 มิลลิกรัม โดยน้ำมันเมล็ดยางพาราที่สกัดได้มีความหนืดเท่ากับ 30.3 cSt และมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง ดังนั้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมัน โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบ 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรก ใช้ 1% NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวทำละลายเป็นเมทานอล ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราส่วนของน้ำมันต่อเมทานอลที่อัตราส่วน 1:30 ปฏิกิริยาสามารถเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นสารเอสเทอร์ได้หมดที่เวลา 10 นาที มีร้อยละผลผลิตไบโอดีเซล 96% และมีปริมาณกรดไขมันอิสระอีก 4% จากนั้นนำไปสู่ขั้นตอนที่สอง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ($2M\ H_2SO_4$)

Freeman และคณะ (1986) ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันและน้ำมันเมล็ดถั่วเหลือง โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ อัตราส่วนความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลือง อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ชนิดของแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลือง เป็น 4:1 และ 6:1 ตามลำดับ อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา คือ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ผลผลิตประมาณ 90-98 เปอร์เซ็นต์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่าเมื่อใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Foid และคณะ(1996) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันเมล็ดสบู่ดำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ และศึกษาถึงกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จากนั้นนำน้ำมันเมล็ดสบู่ดำดิบ เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ ไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ พบว่ามีค่าฟอสฟอรัสเท่ากับ 290 17.5 และ 17.5 ppm ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าเมื่อนำน้ำมันเมล็ดสบู่ดำมาผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ค่าฟอสฟอรัสมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบการผลิตโดยใช้เมทานอลจะได้ผลผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์ และถ้าใช้เอทานอลจะได้ผลผลิตเป็นเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเมทานอลและเอทานอล พบว่าเมทานอลมีความเหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลมากกว่า เนื่องจากในปฏิกิริยาเมื่อใช้เอทานอลมีปริมาณน้ำเกิดขึ้นมากกว่า สามารถเกิดสบู่ได้ง่ายกว่า การแยกกลีเซอรอลออกทำได้ยุ่งยากกว่า และต้องใช้อุณหภูมิและความดันสูงในกระบวนการผลิต

Cven et.al.(1996) ได้ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมัน rapeseed โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ไม่ควรมีความเป็นกรด(Acidity number) สูงกว่า 2 mg KOH/g และปริมาณน้ำต้องไม่เกิน 0.1%wt โดยการมีค่าความเป็นกรดสูงกว่า 2 mg KOH/g อาจแก้ไขได้โดยการเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อการเกิดปฏิกิริยาจะต่ำลง มีการสูญเสียเมทิลเอสเทอร์ในชั้นกลีเซอรอลสูงขึ้น และเกิดเจลในชั้นของเมทิลเอสเทอร์ โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้สบู่ซึ่งเป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์ เมื่อมีในปริมาณที่สูงจะส่งผลให้กลีเซอรอลละลายในชั้นเมทิลเอสเทอร์มากขึ้น ทำให้การแยกกลีเซอรอลออกจากเมทิลเอสเทอร์ทำได้ยากขึ้น

Ma et.al (1999) ได้ทดลองผลิตเอสเทอร์จากไขมันวัวกับเมทานอล โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า ในช่วงเวลา 1 นาทีแรก อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะค่อนข้างช้ามาก เนื่องจากการกวนผสมที่ไม่เท่ากัน หลังจากนั้นจนถึง 5 นาทีจากนั้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ปฏิกิริยาจะเกิดรวดเร็วมาก และอัตราความเป็นเมทิลเอสเทอร์ก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน หลังจากนั้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะค่อยๆลดลงจนค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเอสเทอร์สูงสุดที่เวลาประมาณ 15 นาทีจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกๆและค่อยๆที่ ส่วนปริมาณของไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกๆและค่อยๆลดลงจนคงที่

Canakei และ Grtpen Van (1999) ได้ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [21] ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาดัชนีที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยา อัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันมากขึ้นและเมื่อใช้อุณหภูมิมากขึ้น ปริมาณไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยามากขึ้น แต่อุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่เกินจุดเดือดของเมทานอล ส่วนการศึกษาผลของชนิดแอลกอฮอล์ พบว่าเอทานอลจะให้ปริมาณของเอสเทอร์มากกว่าการใช้เมทานอล นอกจากนี้การมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่สูงในน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้วยังมีผลทำให้การเกิดผลผลิตเป็นไบโอดีเซลลดลง

Mohamad et al. (2002) ได้ศึกษาการเตรียมเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว ด้วยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอล ที่อุณหภูมิ 90 °C ซึ่งใช้กรดซัลฟิวริกและกรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาผลของความเป็นกรดต่อปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.25 โมลาร์ ความเข้มข้นของเมทานอลเป็น 25 50 และ 100% จากผลการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเป็น 2.25M ความเข้มข้นของเมทานอลเป็น 100% เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมงจะให้ผลดีที่สุดเนื่องจากได้เมทิลเอสเทอร์ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาล้น

Zullaikah และคณะ (2005) ศึกษาการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันรำข้าว [22] ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง 76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้วิธีการผลิตแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกมีการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้ปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำลง ส่วนในขั้นตอนสองเป็นการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่า การผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนดังกล่าวได้ผลผลิตเป็นไบโอดีเซล 98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 8 ชั่วโมง

ปิยนุช นาคพงศ์ (2554) ศึกษาการสังเคราะห์เป็นไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันแบบสองขั้นตอนจากน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงประมาณ 12.8% [23] โดยทำการศึกษาถึงผลของอัตราส่วนโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต โดยในขั้นตอนแรก เป็นการลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้เหลือเพียง 0.6% โดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนในขั้นตอนที่สอง เป็นการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยา อัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่า การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะที่เหมาะสมจะได้ปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 98.4% ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลที่กำหนดในประเทศไทย

Khoyoon และคณะ (2012) ศึกษาการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จาก crude karanj oil (CKO) โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันแบบขั้นตอนเดียวด้วยเมทานอล [24] ซึ่งมีกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้มากกว่าการใช้กรดฟอสฟอริก ซึ่งการใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้เมทิลเอสเทอร์ประมาณ 89.8% ที่อุณหภูมิ 65 °C เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง จากการศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพบว่า ประกอบด้วย palmitic acid 12%, stearic acid 8%, oleic acid 52% และ linolenic acid of 17% ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาเป็นเมทิลเอสเทอร์

Kumar และคณะ (2012) ศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันสนดำโดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งมีการใช้ระบบที่มีการผสมเมทานอลและเอทานอลในสัดส่วนต่างๆ (Ethanomethanolysis) โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการทดลองนี้ใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เป็น 1:6 และใช้ระบบการผสมแบบ ultrasonic mixing ภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศ จากการเตรียมไบโอดีเซลโดยวิธีนี้พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

Year	Authors	Materials	Content
2005	Zullaikah et al.[15]	น้ำมันรำข้าว	วิธี methanolysis แบบสองขั้นตอนโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกนั้นกระทำที่ 60 °C จากขั้นตอนแรกถูกทำปฏิกิริยาอีกครั้งที่ 100 °C โดยในท้ายที่สุดแล้ว ผลลัพธ์เป็นน้ำมันไบโอดีเซลมีค่ามากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 8 ชั่วโมง
2007	ChangKhong et al.[16]	กรดไขมันปาล์ม	อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ 70-100 °C สัดส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อกรดไขมันปาล์มที่ 0.4 ต่อ 1 ถึง 12 ต่อ1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0-5.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของกรดซัลฟิวริกต่อมวลของกรดไขมันปาล์มและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 15-240 นาที
2007	Berchamans et al. [8]	น้ำมันเมล็ดสนุดำ	น้ำมันเมล็ดสนุดำถูกทำให้ลดลงต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ด้วยกระบวนการแบบสองขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกนั้น อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ 50 องศาเซลเซียส สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 0.6 ต่อ 1 ปริมาณกรดซัลฟิวริก 1 % และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง และ ในขั้นตอนที่สองนั้นอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ 65 องศาเซลเซียสสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 0.24 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกไซด์) ที่ 1.4 เปอร์เซ็นต์ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 2 ชั่วโมง โดยร้อยละผลได้ของน้ำมันไบโอดีเซลอยู่ที่ 90 เปอร์เซ็นต์
2010	Nakpong et al.[9]	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงประมาณ 12.8% ถูกสังเคราะห์เป็นไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบสองขั้นตอนโดยทำการศึกษาถึงผลของอัตราส่วน โมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต
2011	Jiang et al. [10]	น้ำมันมะพร้าว	สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ supercritical methanol ในระบบ bath autoclave
2012	Khoyoon et.al [12]	Crude karaj oil	ไบโอดีเซลถูกสังเคราะห์จาก crude karanj oil โดยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันแบบขั้นตอนเดียวด้วยเมทานอลโดยมี H ₂ SO ₄ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 65 °C เวลา 5 ชั่วโมง ได้ผลผลิตมากกว่า 89%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 กรอบแนวทางการดำเนินโครงการ

โครงการนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบกโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันเมล็ดกระบกกับเมทานอล ซึ่งมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 3.2.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับสกัดแบบซอกซ์เลต (Soxhlet extraction)
- 3.2.2 ชุดกลั่น (Distilling apparatus)
- 3.2.3 ตู้อบความร้อน (Hot air oven)
- 3.2.4 โถดูดความชื้น (Dessicator)
- 3.2.5 เครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer)
- 3.2.6 เตาให้ความร้อน (Hotplate)
- 3.2.7 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 3.2.8 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.2.9 กระบอกตวง
- 3.2.10 ปิเปต (Pipette)
- 3.2.11 บิวเรต (Buret)
- 3.2.12 กรวยแยก (Separating funnel)

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- 3.3.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph Agilent รุ่น 6890N)

3.4 สารเคมี

- 3.4.1 เฮกเซน (Hexane, Analytical Reagent Grade)
- 3.4.2 เอทานอล (Ethanol, Analytical Reagent Grade)
- 3.4.3 เมทานอล (Methanol, Analytical Reagent Grade: MERCK)
- 3.4.4 เฮปเทน (n- Haptane, Analytical Reagent Grade)
- 3.4.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, Analytical Reagent Grade)
- 3.4.6 โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate, AR Grade)
- 3.4.7 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, Analytical Reagent Grade: CARLERBA)
- 3.4.8 สารมาตรฐาน Methyl heptadecanoate (Std.C17) ความบริสุทธิ์: มากกว่าหรือเท่ากับ 99.0% (GC grade: Fluka)
- 3.4.9 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI, Analytical Reagent Grade)
- 3.4.10 ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein)
- 3.4.11 สารมาตรฐาน FAME 37 comp. mix 10 mg/ml in methylene chloride (GC grade: Sigma-Aldrid)
- 3.4.12 สารละลายวิจจ์ (Wijs iodine solution, AR Grade)
- 3.4.13 สารละลายน้ำแป้ง (Soluble starch, AR Grade)

3.5 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นเมล็ดกระบองค้ายพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในพื้นที่ จังหวัด พิษณุโลก โดยเมล็ดกระบองที่ได้จะถูกนำมาบดให้มีขนาดเล็กลง แล้วจึงนำไปสกัดเอาน้ำมันออก โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย จากนั้นจึงนำน้ำมันเมล็ดกระบองที่ได้มารองสีงสกรโดยใช้ กระดาษกรอง แล้วเก็บไว้ในภาชนะปิดที่แห้งและสะอาดที่อุณหภูมิห้องและต้องปราศจากแสงแดด



รูปที่ 3.1 เมล็ดกระบก

3.6 วิธีดำเนินการวิจัย

3.6.1. การเตรียมวัตถุดิบ

1. นำเมล็ดกระบก ตากให้เมล็ดด้านนอกแห้ง กะเทาะเปลือกแข็งด้านนอกออก ใช้น้ำมันในเมล็ด
2. อบให้เมล็ดด้านในของกระบกแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
3. วางให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วบดให้ละเอียดก่อนนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 เนื้อในเมล็ดกระบก (ก) เนื้อในเมล็ดกระบกที่บดละเอียด (ข)

3.6.2. การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบกด้วยเฮกเซน

ในงานวิจัยนี้ เป็นการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบก โดยใช้เฮกเซน เป็นตัวทำละลายและทำการสกัดด้วยชุดอุปกรณ์สำหรับสกัดแบบชอกห์เลต (Soxhlet extraction) ซึ่งมีวิธีการสกัดดังนี้

1. ชั่งเมล็ดกระบกที่บดละเอียดแล้วใส่ในทิมเบิล วางลงในชอกห์เลตที่แห้งสนิท
2. เติมตัวทำละลายลงในขวดก้นกลมให้มีปริมาณไม่เกิน 2 ใน 3 ของปริมาตร
3. ทำการสกัดแบบรีฟลักซ์ (reflux) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำทิมเบิลออกจากชอกห์เลต
4. นำขวดก้นกลมที่มีตัวทำละลายผสมอยู่กับน้ำมัน ไปประเหยตัวทำละลายออกโดยการกลั่น แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวทำละลายระเหยออกหมด ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักน้ำมันเมล็ดกระบกที่สกัดได้แล้วเก็บน้ำมันที่สกัดได้ไว้ในขวดสีชา

3.6.3 การวิเคราะห์สมบัติที่สำคัญของน้ำมันจากเมล็ดกระบกที่สกัดได้

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติที่สำคัญของน้ำมันเมล็ดกระบกที่สกัดได้ เช่น องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition), ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid content) ค่าไอโอดีน และค่าสaponification number) เป็นต้น

วิธีการหาค่าสaponification number)

ค่าสaponification number คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาเป็นกลางพอดีกับน้ำมัน 1 กรัม ในการทดลองนี้หาค่าไอโอดีนโดยวิธี AOAC 2000 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าสaponification number

1.1 สารละลายแอลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เตรียมโดย ละลายสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 40 กรัมในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยเอทานอล (ความเข้มข้น 95%) ให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

1.2 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล เตรียมโดย ตวงกรดไฮโดรคลอริก (ความเข้มข้น 37%) ปริมาตร 43 มิลลิลิตรลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1000 ลิตรในขวดปรับปริมาตร

1.3 สารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน ความเข้มข้น 1% เตรียมโดยละลายฟีนอล์ฟทาเลิน จำนวน 1 กรัมในเอทานอล (ความเข้มข้น 95%) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. การหาค่าสaponification ในตัวอย่างน้ำมันกระบอก

2.1 ชั่งน้ำมันเมล็ดกระบอก 5 กรัม (ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอน ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ลงในขวดก้นกลมสำหรับรีฟลักซ์ แล้วเติมสารละลายแอลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 50 มิลลิลิตร นำไปรีฟลักซ์บนเตาให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

2.2 นำสารที่ได้มาทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นอินดิเคเตอร์ (หยดฟีนอล์ฟทาเลอิน 4-5 หยด) ไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต

2.3 ทำการวิเคราะห์ตามข้อ 2.1-2.2 โดยไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน (Blank)

2.4. คำนวณค่าสaponification จากสมการ

$$\text{ค่าสaponification} = \frac{(b-a) \times 28.05}{\text{น้ำหนักของน้ำมันกระบอก}}$$

เมื่อ a = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างน้ำมัน

b = ปริมาตรของสารกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับแบลนด์

วิธีการหาค่าเลขไอโอดีน (Iodine value)

ค่าเลขไอโอดีน คือน้ำหนักเป็นกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมันหนัก 100 กรัม ในการทดลองนี้หาค่าไอโอดีนโดยวิธี AOAC 2000 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าไอโอดีน

1.1 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 15% เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ จำนวน 15 กรัมในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร

1.2 น้ำแป้ง ความเข้มข้น 1% เตรียมโดยละลาย soluble starch จำนวน 1 กรัมในน้ำกลั่นจำนวนเล็กน้อย จากนั้นเติมน้ำเดือดลงไป 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วนำไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 1 นาที ปล่อยให้เย็นก่อนนำไปใช้งาน

1.3 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เตรียมโดยละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตจำนวน 1.58 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 5 นาที ปล่อยให้เย็นก่อนนำไปใช้งาน

1.4 ตัวทำละลายผสมไซโคลเฮกเซนอะซิติก เตรียมโดยละลายไซโคลเฮกเซนกับกรดอะซิติกในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 (v/v)

2.การหาค่าไอโอดีนในตัวอย่างน้ำมันกระบอก

2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันเมล็ดกระบก 0.6xxx กรัม (ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอน ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวดรูปชมพู่ เติมตัวทำละลายผสมไซโคลเฮกเซนอะซิติกลงไป 15 มิลลิลิตรคนให้เข้ากันจนละลายหมดเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2 เติมสารละลายวีนลงไป 25 มิลลิลิตร ปิดจุกขวดรูปชมพู่อย่างรวดเร็ว แล้วเขย่าให้สารละลายเข้ากัน เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.3 เมื่อครบกำหนดเวลา เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 15 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วรีบปิดฝา

2.4 นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นไม่มีสี

2.5 เติมน้ำเปล่า 1 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร สารละลายในขวดจะเป็นสีน้ำเงิน ทำการไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหายไป จดบันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

2.6 ทำการวิเคราะห์ตามข้อ 2-5 โดยไม่ใช้น้ำมัน (Blank)

2.7 คำนวณหาค่าไอโอดีนจากสมการ

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(B-S) \times M \times 12.69}{\text{น้ำหนักของน้ำมันกระบก(กรัม)}}$$

โดยที่ B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างน้ำมันเมล็ดกระบก (มิลลิลิตร)

M = ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต (โมลาร์)

วิธีการหาค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรด คือจำนวนมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาเป็นกลางพอดีกับกรดไขมันอิสระในน้ำมันหนัก 1 กรัม ในการทดลองนี้หาค่าความเป็นกรด โดยวิธี AOAC 2000 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด

1.1 อินดิเคเตอร์ Phenolphthalein ความเข้มข้น 1 % เตรียมโดยทำการชั่ง Phenolphthalein จำนวน 1 กรัม ละลายในเอทานอล (ความเข้มข้น 95%) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 0.4 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

1.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 1 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

1.4 สารละลายแอลกอฮอล์ที่ปรับให้เป็นกลางแล้ว เตรียมโดยตวงเอทานอล (ความเข้มข้น 95%) ปริมาตร 50 มิลลิลิตรจากนั้นเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ ความเข้มข้น 1% ลงไป 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูคงที่

2.การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด

2.1 ชั่งน้ำมันประมาณ 7.xxxx กรัม (ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในขวดรูปชมพู่

2.2 เติมสารละลายแอลกอฮอล์ที่ปรับให้เป็นกลางแล้ว 50 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลาย

2.3 หยดฟีนอล์ฟทาไลน์ 4-5 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ จนได้สีชมพูคงที่นาน 1 นาที (ปริมาตรมิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จะเท่ากับเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิกที่มีในตัวอย่าง)

2.4 บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

2.4.คำนวณหาค่าความเป็นกรดจากสมการ

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \% \text{กรดไขมันอิสระ (ในรูปกรดโอเลอิก)} \times 1.99$$

วิธีการหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

การเตรียมสารละลายและตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซล

1) 0.1 N NaOH

ชั่ง NaOH 2.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตร 500 ml

2) เตรียม standard potassium hydrogen phthalate

ชั่ง standard potassium hydrogen phthalate ประมาณ 15-20 กรัม อบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3) Phenolphthalein 1%w/v

ชั่ง Phenolphthalein 1 กรัม ละลายในเอทานอล (Ethanol 95%) ปรับปริมาตรเป็น 100 ml

4) Standardized 0.1N NaOH

ปีเปิด standard potassium hydrogen phthalate 40 ml ลงใน conical flask ขนาด 250 ml ไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH เติม Phenolphthalein 1% เป็นอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด จนได้สีชมพูอ่อน

5) Neutralized Alcohol

Ethanol Absolute 50ml ผสมกับ 1% Phenolphthalein 2 ml เพราะฉะนั้น เอทานอลต่อ phenolphthalein เป็น 50 : 2

1.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันเมล็ดกระบก (%โดยน้ำหนัก)

1.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ชั่งน้ำมันกระบกประมาณ 1.7xxx กรัม ใส่ conical flask 250 ml
- 2) ปีเปิด Neutralized Alcohol 50 ml
- 3) ไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน นานกว่า 1 นาที จดปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต

1.1.2 การคำนวณ

$$\text{สูตร \% ของกรดไขมันอิสระ} = \frac{V \times N \times Mw \times 100}{w \times 1000}$$

เมื่อ	V	=	ml. std. 0.1 N NaOH
	N	=	ความเข้มข้น std. 0.1 N NaOH
	w	=	น้ำหนักของน้ำมันทั้งหมด
	Mw	=	มวลโมเลกุลของกรดไขมันแต่ละชนิด



รูปที่ 3.3 การจัดอุปกรณ์สำหรับการไทเทรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

3.6.4. การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบกด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ในงานวิจัยนี้สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบกด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยเมทานอล โดยใช้ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยา ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	สถานะที่ทำการทดลอง
อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน	4:1, 6:1, 8:1 และ 10:1
ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา	1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0 % โดยน้ำหนักของน้ำมัน
อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา	40, 50 และ 60°C
เวลาในการทำปฏิกิริยา	60, 90, 120 และ 150 นาที

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตวงน้ำมันเมล็ดกระบอง ตามปริมาณที่กำหนด ใส่ลงในขวดก้นกลมซึ่งใช้ในอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์ นำไปอุ่นให้ความร้อนแก่น้ำมันประมาณ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อกำจัดน้ำจากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือ 60 องศาเซลเซียส
2. เตรียมสารละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอล โดยทำการชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.25 กรัม (0.5 %w/v ของน้ำมัน) ละลายในเมทานอล 12.5 มิลลิลิตร (25 %v/v ของน้ำมัน)
3. เทสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลลงในน้ำมันเมล็ดกระบองที่เตรียมไว้ตามข้อ 1 อย่างช้าๆ พร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 60 องศาเซลเซียส และกวนด้วยอัตราคงที่ ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาตามที่กำหนด
4. เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด เทสารที่ได้จากข้อ 2 ลงในกรวยแยกสาร (separating funnel) ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง จะเกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอริน โดยกลีเซอรินแยกชั้นอยู่ที่ชั้นล่าง
5. ทำการแยกกลีเซอรินที่อยู่ชั้นล่างออก จากนั้นนำไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ไปล้างด้วยน้ำอุ่นประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันที่ได้ อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ทำการล้างน้ำจนกระทั่งน้ำที่ล้างเป็นกลาง
6. นำไบโอดีเซลที่ล้างเสร็จแล้วมาให้ความร้อนที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำที่ปนออก โดยน้ำที่ปนอยู่ในไบโอดีเซลเมื่อได้รับความร้อน จะรวมตัวกันเป็นหยดอยู่ที่ก้นภาชนะบรรจุ ทำการแยกเอาน้ำออกโดยใช้กรวยแยก วัดปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้
7. ทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2 – ตารางที่ 3.5 โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6

ตารางที่ 3.2 การศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบองที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอล/น้ำมัน	ความเข้มข้นของKOH (%โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
4:1	1	60	90
6:1	1	60	90
8:1	1	60	90
10:1	1	60	90

ตารางที่ 3.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอล/น้ำมัน	ความเข้มข้นของKOH (%โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมันที่ เหมาะสม	1.0	60	120
	1.5	60	120
	2.0	60	120
	3	60	120

ตารางที่ 3.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอล/น้ำมัน	ความเข้มข้นของKOH (%โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมันที่ เหมาะสม	ความเข้มข้นที่เหมาะสม ของตัวเร่งปฏิกิริยา	40	120
		50	120
		60	120

ตารางที่ 3.5 การศึกษาผลของเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอล/น้ำมัน	ความเข้มข้นของKOH (%โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมันที่ เหมาะสม	ความเข้มข้นที่เหมาะสม ของตัวเร่งปฏิกิริยา	อุณหภูมิที่ เหมาะสมต่อ การเกิดปฏิกิริยา	60
			90
			120
			150



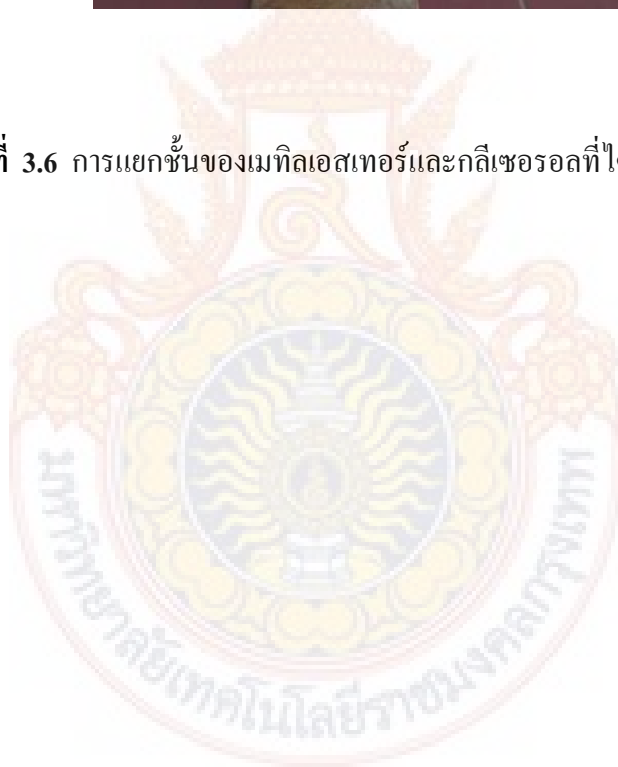
รูปที่ 3.4 การตั้งชุดรีฟลักซ์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



รูปที่ 3.5 การจัดอุปกรณ์เพื่อกำจัดน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลให้ระเหยออกไป



รูปที่ 3.6 การแยกชั้นของเมทิลเอสเตอร์และกลีเซอรอลที่ได้จากปฏิกิริยา



3.6.5 การหาสถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบก

พิจารณาจากปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ (วิธีมาตรฐาน EN 14103) โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC, Gas chromatograph Agilent รุ่น 6890N) โดยมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

3.6.5.1 ชั่ง Methyl heptadecanoate หนัก 0.25xx กรัม บันทึกน้ำหนักที่ชั่งเป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วย n-Heptane

3.6.5.2 ชั่งตัวอย่าง biodiesel 0.05xx กรัม ใส่ลงใน vial บันทึกน้ำหนักที่ชั่ง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.6.5.3 ปิด Methyl heptadecanoate ปริมาตร 1 มิลลิลิตรที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.5.1 ใส่ลงในตัวอย่าง biodiesel แล้วปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน

3.6.5.4 นำตัวอย่างไปฉีดที่ Sample Injection ของเครื่อง GC

3.6.5.5 นำผลที่ได้จากโครมาโทแกรม (Chromatogram) มาคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์



รูปที่ 3.8 เครื่อง Gas chromatograph Agilent รุ่น 6890N

3.6.6 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ (ที่สภาวะที่เหมาะสม) ด้วยวิธีมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 3.6

ตาราง 3.6 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีมาตรฐาน

สมบัติ	วิธีทดสอบ
1. ความหนืดที่ 40 °C (เซนติสโตกส์)	ASTM D445-06
2. เถ้าขี้เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ASTM D874-00
3. จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ASTM D93-06
4. ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัม KOH / กรัม)	ASTM D664-01
5. ปริมาณน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	EN ISO 12937
6. เมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	EN 14103
7. โมโนกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	EN 14105
8. ไดกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	EN 14105
9. ไตรกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	EN 14105
10. กลีเซอรอลอิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	EN 14105
11. กลีเซอรินทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	EN 14105

หมายเหตุ การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้บางส่วนในตาราง ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท ปตท.

บทที่ 4

ผลการวิจัยและ ข้อวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดกระบก

น้ำมันเมล็ดกระบกที่สกัดได้จากเนื้อชั้นในของเมล็ดกระบกใช้เป็นสารตั้งต้นในการทดลองนี้ โดยทำการสกัดน้ำมันเมล็ดกระบกด้วยตัวทำละลายที่เป็นเฮกเซน ซึ่งน้ำมันเมล็ดกระบกที่สกัดได้มีลักษณะเป็นของเหลว สีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเฉพาะตัว เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องจะมีลักษณะเป็นไข ของแข็งสีเหลืองอ่อนๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะของน้ำมันเมล็ดกระบกที่สกัดได้จากเมล็ดกระบก

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติที่สำคัญของน้ำมันจากเมล็ดกระบกที่สกัดได้

ในการทดลองนี้ ได้ทำการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบกด้วยตัวทำละลายเฮกเซน หลังจากนั้นแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันด้วยวิธีการกลั่น ซึ่งน้ำมันกระบกที่สกัดได้จะนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition) ที่มีอยู่ในน้ำมันเมล็ดกระบก โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดกระบกที่สกัดได้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 4.1

ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันเมล็ดกระบก ได้ทำการทดลองตามวิธีมาตรฐาน AOAC 940.28 ซึ่งพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 1% (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก) และเมื่อทำการทดลองหาค่าสaponification และค่าไอโอดีนของน้ำมันกระบกที่สกัดในงานวิจัยนี้ พบว่าได้ค่าเท่ากับ 243 และ 8.3 ตามลำดับ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition) ในน้ำมันเมล็ดกระบก

ชนิดของกรดไขมัน		% of total fatty acid	กรัม
Capric acid	C10:0	1.7	1.42
Lauric acid	C12:0	41.7	35.62
Myristic	C14:0	54.6	46.62
Palmitic acid	C16:0	1.4	1.21
Oleic acid	C18:2	0.6	0.53

หมายเหตุ ผลการทดลองนี้ได้รับความอนุเคราะห์การวิเคราะห์ตัวอย่างจากหน่วยวิเคราะห์และทดสอบตัวอย่าง สถาบันอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล (ผลการทดสอบที่แสดงต่อ 100 กรัม)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition) ในน้ำมันเมล็ดกระบกดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ในน้ำมันเมล็ดกระบกประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด เช่น กรดไมริสติก กรดลอริก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันเมล็ดกระบกเป็นส่วนมาก นอกจากนั้นในน้ำมันเมล็ดกระบยังประกอบกรดไขมันชนิดอื่นที่มีอยู่ในปริมาณน้อยเช่น กรดปาล์มมิติกและกรดโอเลอิก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในน้ำมันเมล็ดกระบกในงานวิจัยนี้กับองค์ประกอบของกรดไขมันที่รายงานในงานวิจัยอื่น[3] พบว่าผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันที่ได้มีความสอดคล้องกัน

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดกระบกกับน้ำมันปาล์มเมล็ด และน้ำมันมะพร้าว[4] พบว่ามีปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักใกล้เคียงกัน เช่น Myristic acid และ Palmitic acid นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันชนิดอื่นๆในน้ำมันเมล็ดกระบกที่เหมือนกัน และเมื่อพิจารณาค่า saponification value ของน้ำมันทั้งสามประเภทพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงมีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบก เช่นเดียวกับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเมล็ดในและน้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดกระบองที่สกัดได้และน้ำมันจากพืชบางชนิด

ชนิดกรดไขมัน	ร้อยละของกรดไขมัน			
	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันกระบก	*น้ำมันเมล็ดกระบก
Caproic acid	0-1	0.2-0.8	2.77	1.7
Lauric acid	44-51	46-50	48.02	41.7
Myristic acid	15-17	17-19	42.18	54.6
Palmitic acid	7-10	8-10	3.69	1.4
Stearic acid	2-3	2-3	0.29	-
Oleic acid	12-19	5-7	2.28	0.6
Saponification value	190-209	248-285	246	243

*ผลการวิเคราะห์น้ำมันเมล็ดกระบองที่สกัดได้จากงานวิจัยนี้

4.3 ผลของตัวแปรต่างๆต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดกระบอง

ในงานวิจัยนี้สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบอง ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ด้วยเมทานอล โดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยาได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา

4.3.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบอง เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบองที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งมีการเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบองเป็น 4:1 6:1 8:1 และ 10:1 โดยให้ตัวแปรอื่นๆที่คงที่คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 60 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ซึ่งในขณะทำปฏิกิริยาความเร็วในการกวนคงที่

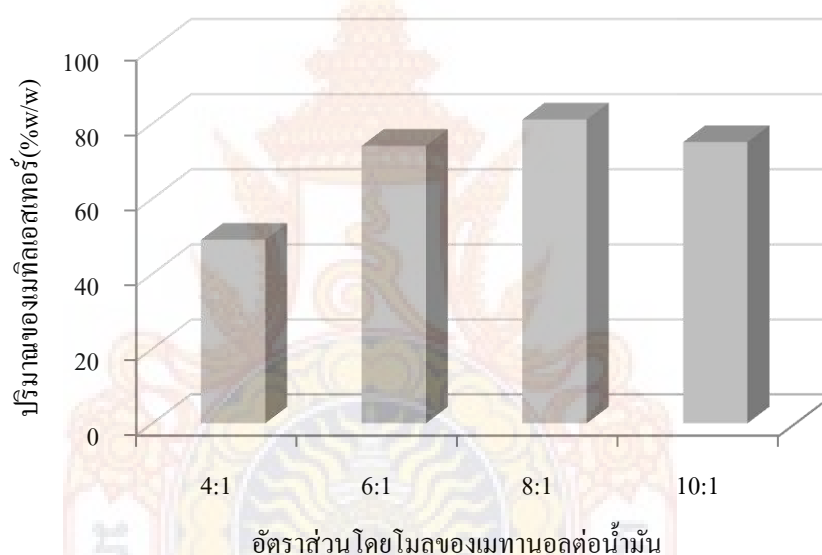
ในการเกิดปฏิกิริยาตอนเริ่มต้น น้ำมันเมล็ดกระบองยังไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับเมทานอล แต่เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไประยะหนึ่ง พบว่าน้ำมันเมล็ดกระบองรวมเป็นเนื้อเดียวกับเมทานอล เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปจนครบเวลาที่กำหนด 60 นาที ทำการหยุดให้ความร้อนและหยุดกวนสาร หลังจากนั้นทำการเทสารผสมใส่ในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์เกิดการแยกเป็นสองชั้น โดยชั้นบนเป็นชั้นของไบโอดีเซล ส่วนชั้นล่างเป็นของกลีเซอรอล นำเฉพาะส่วนชั้นบนไปล้างน้ำ เพื่อล้างเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือออก หลังจากนั้นนำไบโอดีเซลไประเหยเมทานอลและน้ำออก แล้วนำส่วนของไบโอดีเซลมากรองด้วยกระดาษกรอง หลังจากนั้นเก็บไบโอดีเซลไว้ในขวดสีชา เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบองที่มีผลต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์แสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.2 น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบองที่ได้มีลักษณะสีเหลืองใส

ตารางที่ 4.3 ผลของอัตราส่วน โดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบถที่มีผลต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (เวลา 60 นาที)

อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอล/น้ำมัน	ความเข้มข้นของ KOH (%โดยน้ำหนักของ น้ำมัน)	อุณหภูมิ(°C)	%เมทิลเอส เทอร์
4:1	1	60	49.4
6:1	1	60	73.9
8:1	1	60	80.8
10:1	1	60	74.3



รูปที่ 4.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบถต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน

จากผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบถที่มีต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน ในการทดลองนี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ 8:1 ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบถเป็น 4:1 และ 6:1 พบว่ามีปริมาณเมทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์เพราะปริมาณของเมทานอลที่มีในปฏิกิริยาน้อยเกินไป และเมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบถเป็น 10:1 พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะ

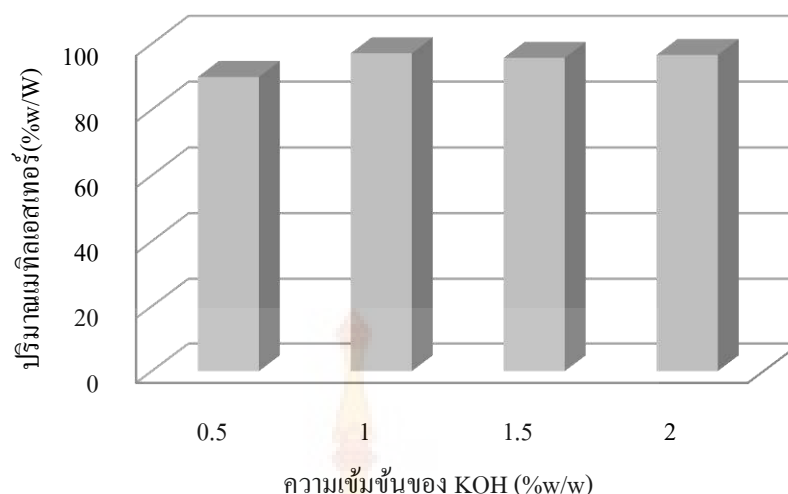
ลดลงต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อทำปฏิกิริยาครบตามเวลาที่กำหนด ยังมีเมทานอลส่วนที่ตกค้างอยู่ในชั้นของไบโอดีเซล ทำให้มีปฏิกิริยาผันกลับเกิดขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ลดลง

4.3.2 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

ในงานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบก ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยเมทานอล โดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) ที่ทำการศึกษาได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันเมล็ดกระบก ซึ่งในการศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานี้ได้กำหนดให้ตัวแปรชนิดอื่นๆที่คงที่ดังนี้คือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบกเป็น 8:1 อุณหภูมิ 60 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอล/น้ำมัน	ความเข้มข้นของ KOH (%โดย น้ำหนักของน้ำมัน)	อุณหภูมิ(°C)	เวลา(นาที)	%เมทิลเอส เทอร์
8:1	0.5	60	120	89.9
	1	60	120	97.1
	1.5	60	120	95.7
	2	60	120	96.6



รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันเมล็ดกระบองจะได้มีปริมาณของเมทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองนี้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซึ่งจะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์โดยเมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาดต่ำกว่า 1% โดยน้ำหนัก พบว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้ไม่ดี ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จึงต่ำ และเมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.5 และ 2.0 % โดยน้ำหนักพบว่าปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ลดลง เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงเกินไปจะมีสบู่เกิดขึ้น โดยสบู่จะส่งผลให้ความหนืดของสารผสมในขณะทำปฏิกิริยามีความหนืดมากขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ไม่ดี ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จึงลดลง นอกจากนี้สบู่ที่เกิดขึ้นมานั้นยังทำให้การแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอรอลเกิดขึ้นได้ยากอีกด้วย

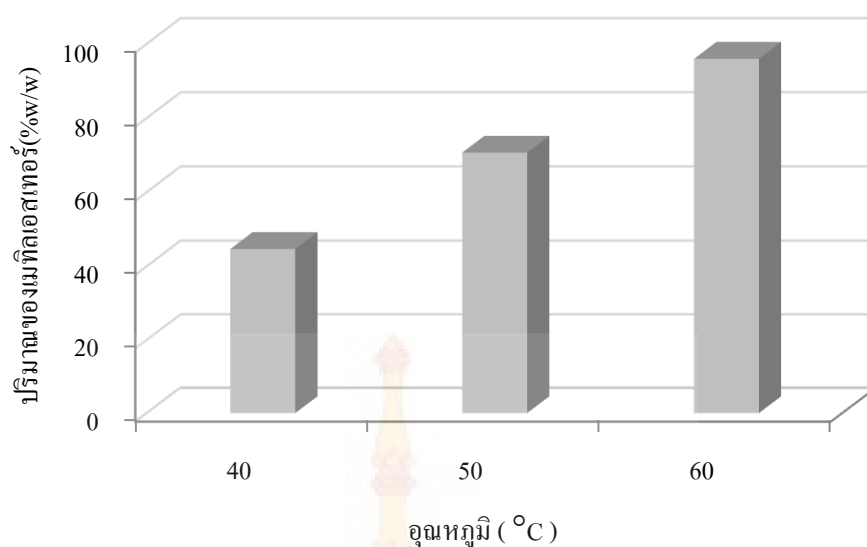
4.3.3 ผลของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดกระบก โดยใช้เวลาในการศึกษาได้แก่ 40, 50, และ 60 °C โดยให้ตัวแปรอื่นๆคงที่ดังนี้คือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบกที่ 8:1 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 % โดยน้ำหนักของน้ำมันเมล็ดกระบก และเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 60 °C จะทำให้ได้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 40 และ 50 °C เวลา ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 60 °C

ตารางที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอล/น้ำมัน	ความเข้มข้นของ KOH (%โดย น้ำหนักของน้ำมัน)	อุณหภูมิ(°C)	เวลา(นาที)	%เมทิลเอส เทอร์
8:1	1	40	120	44.6
		50	120	70.6
		60	120	95.9



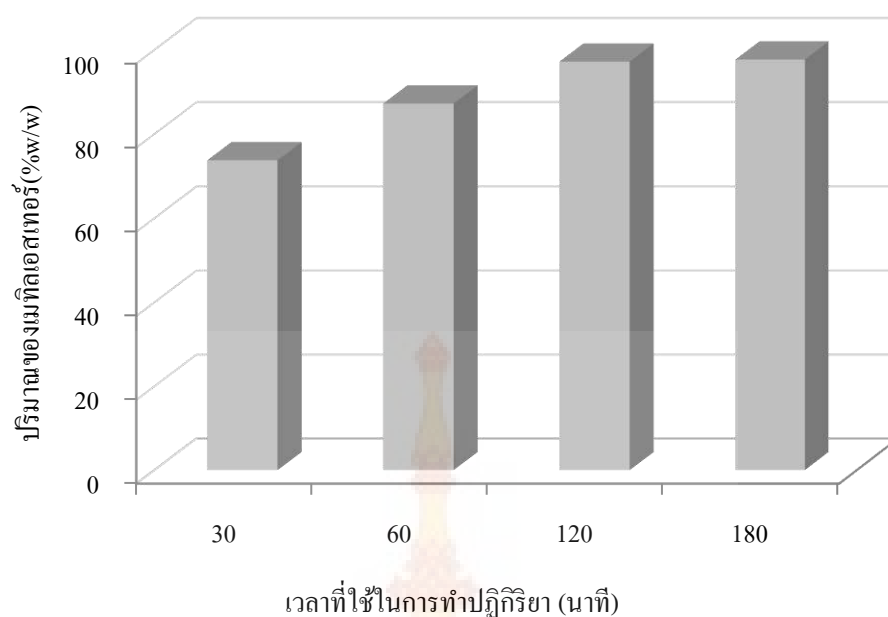
รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

4.3.4 ผลของเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดกระบก ซึ่งเวลาที่ทำการศึกษได้แก่ 30, 60, 120 และ 180 นาทีโดยให้ตัวแปรอื่นๆที่ดังนี้คือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดกระบกที่ 8:1 ความเข้มข้นของ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 % โดยหนักของน้ำมันเมล็ดกระบก และอุณหภูมิ 60 °C ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอล/น้ำมัน	ความเข้มข้นของ KOH (%โดยน้ำหนัก ของน้ำมัน)	อุณหภูมิ(°C)	เวลา(นาที)	% เมทิลเอสเทอร์
8:1	1	60	30	73.7
			60	87.3
			120	97.2
			180	97.7



รูปที่ 4.6 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 120 นาทีจะได้มีปริมาณของเมทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาในการทำปฏิกิริยาอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองนี้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 120 นาทีซึ่งให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 97% โดยน้ำหนัก จากการทดลองเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 30 และ 60 พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีปริมาณต่ำกว่าเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 120 นาที ทั้งนี้เนื่องจากในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่า 120 นาทีปฏิกิริยายังเกิดไม่สมบูรณ์ และเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 180 นาที พบว่าปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการทดลองนี้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 120 นาที

4.4. สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดกระบก

ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดกระบกโดยใช้สภาวะที่เหมาะสม ได้นำไปทดสอบสมบัติบางประการที่สำคัญด้วยวิธีมาตรฐาน พบว่ามีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ที่ทดสอบตามวิธี EN14103 เท่ากับ 98% มีค่าความหนาแน่นที่ทดสอบด้วยวิธี ASTM D4058 เท่ากับ 0.9001 ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในโครงการวิจัยนี้ เป็นการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบก โดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล ซึ่งมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ อัตราส่วนจำนวนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันกระบกเป็น 8:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 98% โดยน้ำหนัก ซึ่งไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบกที่สังเคราะห์ได้ จะมีสมบัติบางประการที่ทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานของประเทศไทย จากการศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อผลปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เช่น อัตราส่วนจำนวนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันกระบก ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา แสดงให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



บรรณานุกรม

1. สุดสงวน เลหาวิณีจ, การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดกระบก, รวมบทความ
วิทยานิพนธ์ปี 2532, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. พิเชษฐ์ เทปารุง, พ., การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบก, สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตร
สกลนคร. 2549.
3. Bandelier, J., et al., *Original Study of the Biochemical and Oil Composition of the
Cambodia Nut Irvingia malayana*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002.
50(6): p. 1478-1482.
4. Piyamongkol, S., *Chemical and Physical Properties of Krabok oil*. Thai Pharm Health
Sci J 2006. 1(2): p. 26-30.
5. Srivastava, P.K. and M. Verma, *Methyl ester of karanja oil as an alternative renewable
source energy*. Fuel, 2008. 87(8-9): p. 1673-1677.
6. Han, H., W. Cao, and J. Zhang, *Preparation of biodiesel from soybean oil using
supercritical methanol and CO₂ as co-solvent*. Process Biochemistry, 2005. 40(9): p.
3148-3151.
7. Ma, F. and M.A. Hanna, *Biodiesel production: a review*. Bioresource Technology, 1999.
70(1): p. 1-15.
8. Berchmans, H.J. and S. Hirata, *Biodiesel production from crude Jatropha curcas L. seed
oil with a high content of free fatty acids*. Bioresource Technology, 2008. 99(6): p. 1716-
1721.
9. Nakpong, P. and S. Wootthikanokkhan, *High free fatty acid coconut oil as a potential
feedstock for biodiesel production in Thailand*. Renewable Energy, 2009. 35(8): p. 1682-
1687.
10. Jiang, J.-J. and C.-S. Tan, *Biodiesel production from coconut oil in supercritical
methanol in the presence of cosolvent*. Journal of the Taiwan Institute of Chemical
Engineers, 2012. 43(1): p. 102-107.
11. Freedman, B., R. Butterfield, and E. Pryde, *Transesterification kinetics of soybean oil 1*.
Journal of the American Oil Chemists Society, 1986. 63(10): p. 1375-1380.

12. Khayoon, M.S., M.A. Olutoye, and B.H. Hameed, *Utilization of crude karanj (Pongamia pinnata) oil as a potential feedstock for the synthesis of fatty acid methyl esters*. Bioresource Technology, 2012. 111(0): p. 175-179.
13. Kumar, D., et al., *Fast, easy ethanomethanolysis of Jatropha curcus oil for biodiesel production due to the better solubility of oil with ethanol in reaction mixture assisted by ultrasonication*. Ultrasonics Sonochemistry, 2012. 19(4): p. 816-822.
14. Srivastava, A. and R. Prasad, *Triglycerides-based diesel fuels*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2000. 4(2): p. 111-133.
15. Lai, C.-C., et al., *Lipase-catalyzed production of biodiesel from rice bran oil*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2005. 80(3): p. 331-337.
16. Chongkhong, S., et al., *Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate*. Biomass and Bioenergy, 2007. 31(8): p. 563-568.



ภาคผนวก

1. การคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (%โดยน้ำหนัก) [AOAC 940.28]

การเตรียมตัวอย่าง

- 1) 0.1 N NaOH
ชั่ง NaOH 2.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตร 500 ml
- 2) เตรียม standard potassium hydrogen phthalate
ชั่ง standard potassium hydrogen phthalate ประมาณ 15-20 กรัม อบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 3) Phenolphthalein 1%w/v
ชั่ง Phenolphthalein 1 กรัม ละลายในเอทานอล (Ethanol 95%) ปรับปริมาตรเป็น 100 ml
- 4) Standardized 0.1N NaOH
ป้อน standard potassium hydrogen phthalate 40 ml ลงใน conical flask ขนาด 250 ml ไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH เติม Phenolphthalein 1% เป็นอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด จนได้สีชมพูอ่อน
- 5) Neutralized Alcohol
Ethanol Absolute 50ml ผสมกับ 1% Phenolphthalein 2 ml เพราะฉะนั้น เอทานอลต่อ phenolphthalein เป็น 50 : 2

1.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันเมล็ดกระบก (%โดยน้ำหนัก)

1.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ชั่งน้ำมันกระบกประมาณ 1.725 กรัม ใส่ conical flask 250 ml
- 2) ป้อน Neutralized Alcohol 50 ml
- 3) ไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน นานกว่า 1 นาที จดปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต

1.1.2 การคำนวณ

$$\text{สูตร \% ของกรดไขมันอิสระ} = \frac{V \times N \times Mw \times 100}{w \times 1000}$$

เมื่อ V = ml. std. 0.1 N NaOH
 N = ความเข้มข้น std. 0.1 N NaOH
 w = น้ำหนักของน้ำมันทั้งหมด
 Mw = มวลโมเลกุลของกรดไขมันแต่ละชนิด

ตัวอย่างการคำนวณ

ใช้น้ำมันเมล็ดกระบกหนัก 1.869 กรัม และใช้ปริมาตร NaOH ในการไทเทรตเท่ากับ 0.87 มิลลิลิตร

จะได้ $\% \text{ ของกรดไขมันอิสระ} = \frac{0.87 \times 0.1 \times 200 \times 100}{1.869 \times 1000} = 0.93$

1.1.3 ผลการคำนวณ

ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันเมล็ดกระบก

ครั้งที่	น้ำมันเมล็ดกระบก (กรัม)	ปริมาตรของ NaOH (ml.)	ร้อยละของกรดไขมัน อิสระ(%โดยน้ำหนัก)	ค่าเฉลี่ย
1	1.8690	0.87	0.93	0.93
2	1.9741	0.92	0.93	
3	1.8201	0.82	0.93	

2. การคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (% น้ำหนักโดยปริมาตร)

ในงานวิจัยนี้ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ มีหน่วยเป็น % น้ำหนักโดยปริมาตร

2.1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 % น้ำหนักโดยปริมาตร

ปริมาตรน้ำมันทั้งหมด 100 ml. จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 กรัม

$$\text{ถ้าปริมาตรน้ำมันทั้งหมด 50 ml. จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา} = \frac{0.5}{100} \times 50 = 0.25 \text{ กรัม}$$

2.2 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % น้ำหนักโดยปริมาตร

ปริมาตรน้ำมันทั้งหมด 100 ml. จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม

$$\text{ถ้าปริมาตรน้ำมันทั้งหมด 50 ml. จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา} = \frac{1}{100} \times 50 = 0.50 \text{ กรัม}$$

2.3 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5 % น้ำหนักโดยปริมาตร

ปริมาตรน้ำมันทั้งหมด 100 ml. จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5 กรัม

$$\text{ถ้าปริมาตรน้ำมันทั้งหมด 50 ml. จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา} = \frac{1.5}{100} \times 50 = 0.75 \text{ กรัม}$$

2.4 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2 % น้ำหนักโดยปริมาตร

ปริมาตรน้ำมันทั้งหมด 100 ml. จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 กรัม

$$\text{ถ้าปริมาตรน้ำมันทั้งหมด 50 ml. จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา} = \frac{2}{100} \times 50 = 1.0 \text{ กรัม}$$

3. การหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (วิธีมาตรฐาน EN 14103)

3.1 เครื่องมืออุปกรณ์

เครื่อง Gas chromatograph Agilent รุ่น 6890N ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่อง Gas chromatograph Agilent รุ่น 6890N

3.2 อุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 Pipette ขนาด 1 ml ความละเอียดอย่างน้อย 0.02 ml

3.2.2 n-Heptane , AR grade

3.2.3 Methyl heptadecanoate (Internal standard) ความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99%

3.3 การเตรียมเครื่องมือ

Analysis condition

Split ratio	50:1
Constant column flow	100 ml/min
Injector Temp.	250
Program Temp. Oven	200 , 7 min
Detector Temp.	250

3.4 การเตรียมตัวอย่าง

3.4.1 ชั่ง Methyl heptadecanoate 0.25xx g. บันทึกน้ำหนักที่ชั่งจริงเอาไว้ ปรับปริมาตรเป็น 25 ml ด้วย n-Heptane

3.4.2 ชั่งตัวอย่าง biodiesel 0.05xx g. ใส่ลงใน vial บันทึกน้ำหนักที่ชั่งจริงเอาไว้

3.4.3 นำ Methyl heptadecanoate 1ml ที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1 ใส่ลงในตัวอย่าง biodiesel แล้วปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน

3.4.4 นำตัวอย่างไปฉีดลงในเครื่อง GC

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

ฉีดตัวอย่างเข้าเครื่อง GC โดยวิธีใช้ autoinjector แล้วนำ Chromatogram ที่ได้มา คำนวณผลทดสอบ

3.6 การคำนวณผล

3.6.1 หาความเข้มข้นของ Std. C17

$$\begin{aligned}
 &\text{ถ้าชั่ง 0.2500 กรัม ความเข้มข้นของ Std. C17 จะเท่ากับ } 10.0000 \text{ ppm} \\
 &\text{ถ้าชั่ง 0.1770 กรัม ความเข้มข้นของ Std. C17 จะเท่ากับ } \frac{10.0000}{0.2500} \times 0.1770 \\
 &= 7.08 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

3.6.2 การคำนวณปริมาณเมทิลเอสเทอร์

สามารถคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่มีในตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซล จากการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีค (peak area) ที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลกับสารมาตรฐาน ซึ่งสามารถคำนวณหา ร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C (\%w/w) = \frac{\left[\frac{\sum A - A_{EI}}{A_{EI}} \right] \left[\frac{C_{EI}}{m} \times V_{EI} \right]}{1} \times 100$$

เมื่อ C คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ หน่วย ร้อยละ โดยน้ำหนัก(%wt)

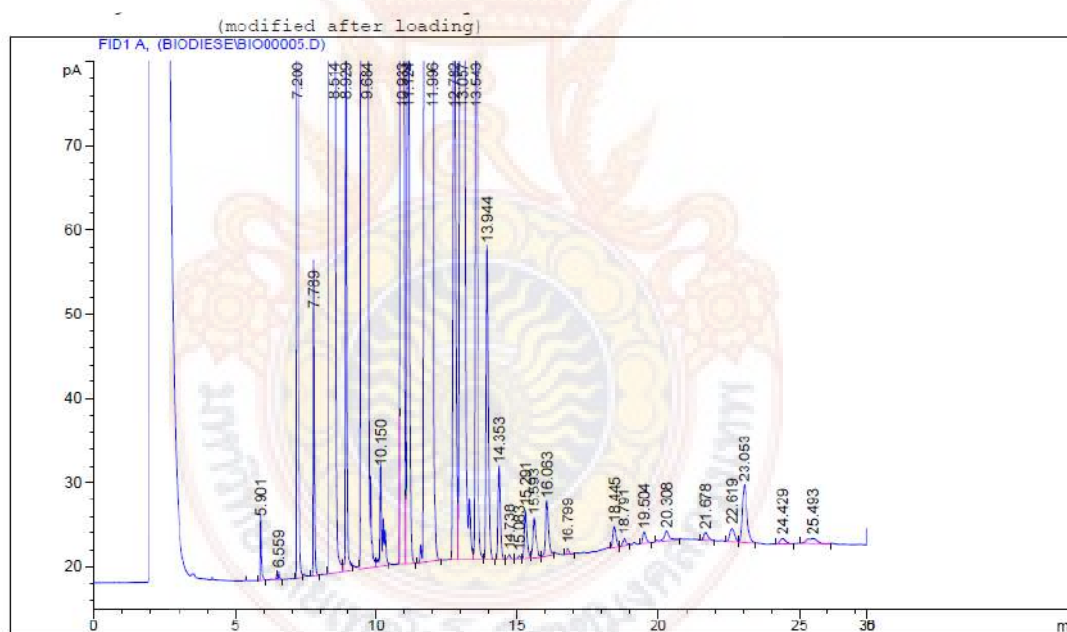
$\sum A$ คือ พื้นที่พีคทั้งหมด

A_{EI} คือ พื้นที่พีคของสารมาตรฐาน Internal standard

C_{EI} คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารมาตรฐาน Internal standard

V_{EI} คือ ปริมาตรที่แน่นอนของสารมาตรฐาน Internal standard ที่ใช้

M คือ น้ำหนักตัวอย่าง



รูปที่ 2 ตัวอย่าง Chromatogram

ตัวอย่างการคำนวณ เมื่อสารละลายมาตรฐาน C17 มีความเข้มข้น 10.264 ppm และ น้ำหนักของน้ำมัน 0.0503 กรัม

$$\% \text{โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์} = \frac{2075.16475}{454.85806} \times \frac{10.264}{50.30} \times 100 = 93.095 \%$$



Food and Nutrition Laboratory Institute of Nutrition, Mahidol University

Salaya, Phuttamonthon, Nakhon Pathom 73170, THAILAND

ห้องปฏิบัติการ สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

รายงานผลการทดสอบ

ตัวอย่างอาหาร : น้ำมันกระบอกที่สกัดแล้ว

เลขที่บริการ : SFC 971/2556

รายละเอียดของตัวอย่างอาหาร : เป็นผงหยาบสีขาวขุ่น บรรจุถุงพลาสติก จำนวน 1 ถุง (ไม่มีฉลาก)

ผู้ขอรับบริการ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

วันที่รับตัวอย่าง : 10 พฤษภาคม 2556

วันที่ทดสอบตัวอย่าง : 20 พฤษภาคม 2556

ผลการทดสอบ : (ต่อ 100 กรัม)

	A	B	
Total Fat (g)	87.56	91.10	
		% of Total fatty acid	กรัม
Caproic acid	C6:0	0.0	0.00
Caprylic acid	C8:0	0.0	0.00
Capric acid	C10:0	1.7	1.42
Lauric acid	C12:0	41.7	35.62
Myristic acid	C14:0	54.6	46.62
Myristoleic acid	C14:1	0.0	0.00
Palmitic acid	C16:0	1.4	1.21
Palmitoleic acid	C16:1	0.0	0.00
Stearic acid	C18:0	0.0	0.00
Oleic acid	C18:1	0.6	0.53
Linoleic acid	C18:2, n-6	0.0	0.00
Gamma linolenic acid	C18:3, n-6	0.0	0.00
Linolenic acid	C18:3, n-3	0.0	0.00
Arachidic acid	C20:0	0.0	0.00
Eicosenoic acid	C20:1	0.0	0.00
Eicosadienoic acid	C20:2	0.0	0.00
Eicosatrienoic acid	C20:3, n-6	0.0	0.00
Eicosatrienoic acid	C20:3, n-3	0.0	0.00
Arachidonic acid	C20:4, n-6	0.0	0.00
Eicosapentaenoic acid	C20:5, n-3	0.0	0.00
Behenic acid	C22:0	0.0	0.00
Erucic acid	C22:1	0.0	0.00
Docosadienoic acid	C22:2	0.0	0.00
Docosahexaenoic acid	C22:6, n-3	0.0	0.00
Lognocerac acid	C24:0	0.0	0.00
Nervonic acid	C24:1	0.0	0.00

ห้ามนำรายงานนี้ไปประกาศโฆษณา

PROHIBITED FOR ADVERTISING

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลิตติมา จิตตินันทน์)

รองผู้อำนวยการฝ่ายนโยบายและพัฒนาคุณภาพ

ปฏิบัติหน้าที่แทน ผู้อำนวยการสถาบันโภชนาการ

รายงานผลการทดสอบ ตามหนังสือเลขที่ ศร 0517.21/ 0935 ลงวันที่ 10 มิถุนายน 2556

The analytical results reported in this document are valid for the submitted sample only.
This document is prohibited for use in any type of advertising without written permission.
ผลการทดสอบใช้ได้กับตัวอย่างนี้เท่านั้น ห้ามนำเอกสารนี้ไปประกาศโฆษณาก่อนได้รับอนุญาต



Food and Nutrition Laboratory
Institute of Nutrition, Mahidol University

Salaya, Phuttamonthon, Nakhon Pathom 73170, THAILAND

ห้องปฏิบัติการ สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

รายงานผลการทดสอบ

ตัวอย่างอาหาร : เมล็ดกระบก

เลขที่บริการ : SFC 970/2556

รายละเอียดของตัวอย่างอาหาร : เป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน บรรจุถุงพลาสติก จำนวน 1 ถุง (ไม่มีฉลาก)

ผู้ขอรับบริการ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

วันที่รับตัวอย่าง : 10 พฤษภาคม 2556

วันที่ทดสอบ : 20 พฤษภาคม 2556

ผลการทดสอบ : (ต่อ 100 กรัม)

	A	B
Total Fat (g)	72.38	72.25

ห้ามนำรายงานนี้ไปประกาศโฆษณา
PROHIBITED FOR ADVERTISING

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิติมา จิตตินันท์)

รองผู้อำนวยการฝ่ายนโยบายและพัฒนาคุณภาพ
ปฏิบัติหน้าที่แทน ผู้อำนวยการสถาบันโภชนาการ

รายงานผลการทดสอบ ตามหนังสือเลขที่ ศธ 0517.21/ 0844 ลงวันที่ 25 พฤษภาคม 2556

1 / 1

The analytical results reported in this document are valid for the submitted sample only.
This document is prohibited for use in any type of advertising without written permission.
ผลการทดสอบใช้ได้กับตัวอย่างนี้เท่านั้น ห้ามนำเอกสารนี้ไปประกาศโฆษณาจนได้รับอนุญาต



PTT PUBLIC COMPANY LIMITED

QUALITY ANALYSIS DEPARTMENT, SUPPLY AND TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS UNIT
555 ARDNARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND
TEL. +66(0)2239-7148 FAX. +66(0)2239-7149 WWW.PTTPLC.COM

Page 1 of 1

Certificate of Analysis

Product : Biodiesel from krabok

Certificate No. : T-14/10734

Sample Lab No. : OP-BIO-1408829

Customer/Supplier : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Sample Location : ---

Batch No. : -

Product Source : -

Received Date : 08 Apr 2014

Date of Test : 08 Apr 2014

Date of Sampling : 31 Mar 2014

Sample Condition : Normal

Test Item	Test Method	Limit	Result
1. Methyl Ester, % wt.	EN 14103:2011	-	98.7
2. Linolenic Acid Methyl Ester, % wt.	EN 14103:2011	-	0.00

Approved by : Phurita Pothisuk

(Phurita Pothisuk)

Position Title : Vice President of Quality Analysis Department

Date of Issue : 12 May 2014

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Vice President, Quality Analysis Department.)

