

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตไปโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์



1107910



นางสาวนิษฐา สิงห์ไทยสมบูรณ์
นางสาวจิรนนท์ ร่มโพธิ์เย็น
นางสาวนฤมล ภาษยะวรรณ

๒๗
๗ ๒๗๗
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 107910
วัน,เดือน,ปี..... - 8 ส.ย. 2553

b..... 1221305๖
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Production of Biodiesel from Waste Vegetable Oil by Solar Energy



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
the degree of Bachelor of Science**

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์
ชื่อนักศึกษา นางสาวณิษฐา สิงห์ไทยสมบูรณ์
 นางสาวจิรนนท์ ร่มโพธิ์เย็น
 นางสาวนฤมล ภายชะวรรณ
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2550
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร
 อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้ โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล	
กรรมการ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	
กรรมการ ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร	



(ผศ.ดร.ชโล จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชนิษฐา สิงห์ไทยสมบุรณ์
	นางสาวจิรนนท์ ร่มโพธิ์เย็น
	นางสาวนฤมล ภายชะวรรณ
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร
	อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จาก กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ได้แก่ อุณหภูมิ, ความเร็วในการปั่นกวน และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จากนั้นทำการศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน

จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน มีดังนี้ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วในการปั่นกวน คือ 400 รอบต่อนาที และ เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา คือ 15 นาที ปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ คือ 75.73 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมนี้ไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไบโอดีเซลที่ได้ไปวัดสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนืด ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D445 และค่าความเป็นกรด ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D664 ซึ่งผลที่ได้คือ 7.447 เซนติสโตกส์ และ 0.63 มิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Production of biodiesel from Waste Vegetable Oil by Solar Energy

Name Miss Kanita Singthaisomboon

Miss Jiranan Rompoyen

Miss Naruemol Passayawan

Department Chemistry

Program Environmental resource of chemistry

Academic Year 2007

Special Project Advisor Dr. Pesak Rungrojchaipon

Mrs. Sujin Tuntipisitkul

ABSTRACT

A process for the production of the methyl ester of waste vegetable oil (WVO) for use as a biodiesel fuel has been studied. The essential part of the process is the transesterification of waste vegetable oil with methanol in the presence of a catalyst, to yield the methyl ester of WVO as a product and glycerol as a by product. Experiments have been performed to determine the optimum conditions for the preparation of methyl ester from WVO. The process variables, such as temperature, rate of agitations and time of reaction, were used for the production of the methyl ester of WVO. Then the selected condition was applied to produce biodiesel from WVO by using solar energy. Viscosity and total acid number were measured according to ASTM D445 and ASTM D664, respectively.

From the experimental, The optimum conditions were temperature is 60 degree celsius, rate of agitations is 400 rpm and time of reaction is 15 minutes. The yield of typical process is about 75%. Then the selected condition was applied to produce biodiesel from WVO by using solar energy. The percentage of methyl ester is about 75%. Viscosity is 7.447 cSt and total acid number is 0.63 mg KOH/g

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและข้อมูลที่มีประโยชน์ จาก ดร.ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร และ อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ทางคณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล เป็นอย่างสูงที่ กรุณาเป็นกรรมการในการสอบโครงการพิเศษ ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ อ.นราธิป วิทยากร ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิค NMR

ขอขอบพระคุณฝ่ายควบคุมคุณภาพ คลังน้ำมันพระโขนง บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ที่กรุณาอำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบคุณภาพน้ำมันในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกด้าน อุปกรณ์และสถานที่ในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้ความอุปการะตลอดมาและ ขอบคุณเพื่อนๆที่เป็นกำลังใจ และคอยช่วยเหลือตลอดมาในการทำโครงการพิเศษนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีของโครงการพิเศษฉบับนี้ขออุทิศให้แก่คุณพ่อคุณแม่ ครอบครัวยุคครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณต่อคณะวิจัยทุกท่าน

นางสาวชนิษฐา สิงห์ไทยสมบูรณ์

นางสาวจิรนนท์ ร่มโพธิ์เย็น

นางสาวนฤมล ภาษะวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโรงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 น้ำมันพืช	5
2.2 ไบโอดีเซล (Biodiesel)	7
2.2.1 สมบัติของไบโอดีเซล	7
2.2.2 ประเภทของไบโอดีเซล	7
2.3 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification)	9
2.3.1 การทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	10
2.3.2 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	11
2.3.3 การทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนโดยใช้ กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	12
2.3.4 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	12
2.3.5 การทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	13
2.4 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 น้ำมันปาล์ม	15
2.4.2 น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	16
2.5 น้ำมันคิเซล	16
2.6 การให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชโดยใช้ตู้เก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Box)	19
2.6.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงาน	19
2.7 ประโยชน์ของไบโอดีเซล	20
2.8 แนวทางในการพัฒนาไบโอดีเซลในประเทศไทย	21
2.9 แนวโน้มการใช้ไบโอดีเซลในประเทศไทย	22
2.10 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์	22
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	27
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	27
3.2 สารเคมี	28
3.3 วิธีการทดลอง	28
3.3.1 แหล่งที่มาของน้ำมัน	28
3.3.2 การเตรียมน้ำมันก่อนนำมาทดลอง	28
3.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ตามวิธี AOCS Ca 5a-40	29
3.3.4 การสังเคราะห์ ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์)	30
3.3.5 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์	33
3.3.6 การศึกษาแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เมื่อให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และไม่มีการปั่นกวน	34
3.3.7 การวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซล	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	36
4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันก่อนนำมาทดลอง	36
4.2 ผลของความเร็วปั่นกวน อุณหภูมิ และเวลาปั่นกวน ที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์	37
4.3 ผลการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	41
4.4 ผลการศึกษาแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เมื่อ ให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และไม่มีการปั่นกวน	43
4.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ ไบโอดีเซล	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการทดลอง	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก ก	53
ภาคผนวก ข	57
ภาคผนวก ค	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	6
ตารางที่ 2-2 แสดงสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล	9
ตารางที่ 2-3 แสดงสูตร โครงสร้างและสมบัติของกรดไขมันชนิดต่างๆ	13
ตารางที่ 2-4 แสดงสมบัติ และค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	15
ตารางที่ 2-5 ความสัมพันธ์ของสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและผลต่อการใช้งาน กับเครื่องยนต์	18
ตารางที่ 2-6 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษในไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซล	23
ตารางที่ 2-7 ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมของไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล	23
ตารางที่ 3-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาตรเมทานอลและความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์	29
ตารางที่ 3-2 รูปแบบการทดลองโดยการแปรค่าความเร็วปั่นกวน อุณหภูมิ และเวลาปั่นกวน	32
ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของลอริกและปาล์มเมติก	37
ตารางที่ 4-2 ตัวแปรของความเร็วปั่นกวน อุณหภูมิและเวลาปั่นกวนที่มีต่อปริมาณของ 41 เมทิลเอสเทอร์	38
ตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์และสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล ที่ให้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับค่ามาตรฐาน	42
ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซล เมื่อให้ความร้อน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในการทำปฏิกิริยา และไม่มีกวนปั่นกวน	43
ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบปริมาณเมทิลเอสเทอร์เมื่อมีการปั่นกวน และไม่มีกวนปั่นกวน ในการทำปฏิกิริยา	44
ตารางที่ 5-1 ข้อดี – ข้อเสียของการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์ในการ สังเคราะห์ไบโอดีเซล	49

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1-1 กราฟแสดงแนวโน้มราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น ตั้งแต่ปี ค.ศ.1994 ถึง เดือนมีนาคม ค.ศ.2008	2
รูปที่ 1-2 กราฟประเมินแนวโน้มปริมาณการบริโภคไบโอดีเซลใน ประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปีค.ศ.2004 ถึง ค.ศ.2010	2
รูปที่ 2-1 แสดงปฏิกิริยาการเกิดไตรกลีเซอไรด์	5
รูปที่ 2-2 การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	10
รูปที่ 2-3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด	10
รูปที่ 2-4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส	11
รูปที่ 2-5 ตู้เก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Box)	19
รูปที่ 3-1 แสดงการกรองน้ำมันเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนออกจากราน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว	28
รูปที่ 3-2 แสดงการตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์	30
รูปที่ 3-3 แสดงการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซล และกลีเซอรอล	31
รูปที่ 3-4 แสดงการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซล และน้ำ	31
รูปที่ 3-5 แสดงลักษณะน้ำมันก่อน และหลังผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	32
รูปที่ 3-6 การให้ความร้อนน้ำมันด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	33
รูปที่ 3-7 การทำปฏิกิริยาโดยการควบคุมอุณหภูมิด้วย oil bath	33
รูปที่ 3-8 ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันที่ให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันที่ให้ความร้อนแผ่นให้ความร้อน	34
รูปที่ 3-9 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยการให้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ในระหว่างทำปฏิกิริยา และไม่มีการปั่นกววน	35
รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา กับ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วในการปั่นกววน 400 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที	39

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา กับ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วในการปั่นกวน 150 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที	39
รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา กับ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วในการปั่นกวน 400 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที	40
รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา กับ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วในการปั่นกวน 150 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที	40
รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ เมื่อไม่มีการปั่นกวน	43
รูปที่ 4-6 FT-IR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล	45
รูปที่ 4-7 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันก่อนนำมาทดลอง	46
รูปที่ 4-8 ¹ H-NMR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล	46
รูปที่ 4-9 สัญญาณโปรตอนของน้ำมันและเมทิลเอสเทอร์	47
รูปที่ 4-10 ¹ H-NMR สเปกตรัมของน้ำมันก่อนนำมาทดลอง	47

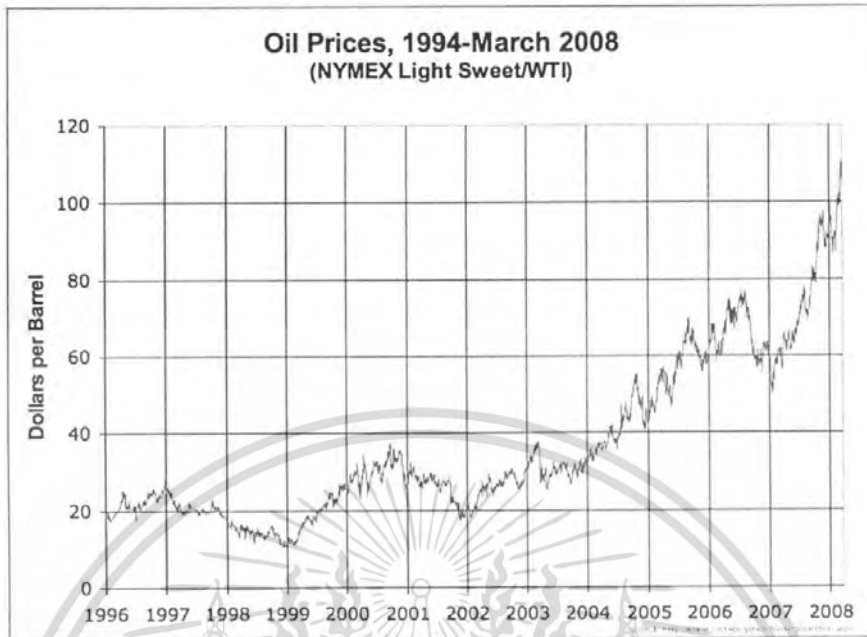
บทที่ 1

บทนำ

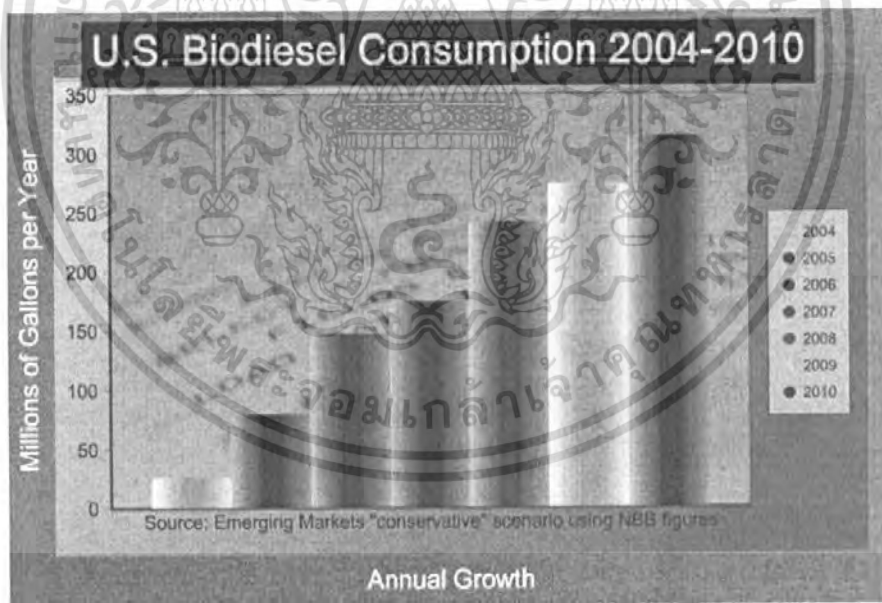
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

เนื่องจากวิกฤตน้ำมันของโลกมีมากขึ้นเป็นลำดับ ราคาน้ำมันดิบสูงมากเป็นประวัติการณ์และไม่ มีที่ท่าว่าจะลดลง มีการคาดการณ์ว่าน้ำมันกำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ ทำให้ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ดังแสดงในรูปที่ 1-1 นอกจากนี้ยังมีปัญหาทางภาคการเกษตรด้านผลผลิต สั้นตลาด ราคาตกต่ำ และที่สำคัญคือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อให้เกิดภาวะ โลกร้อน ปัญหาต่างๆเหล่านี้ทำให้มีการมองหาพลังงานทางเลือก เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมัน ปิโตรเลียม น้ำมันไบโอดีเซลเป็นทางเลือกที่ดี และมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะนอกจากจะ นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนแล้ว ยังสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรที่นำมาใช้เป็น วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ เช่น ปาล์ม สบู่ดำ และการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซลก็ เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้ของเสียที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ให้กลับมามีมูลค่าเพิ่มขึ้น และเป็น การลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการทิ้งน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลเป็นน้ำมัน ทางเลือกใหม่ที่ผลิตจากน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ โดยน้ำมันชนิดนี้เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์แล้วพบว่า มี คุณสมบัติในการเผาไหม้ได้ดีไม่ต่างจากน้ำมันจากปิโตรเลียม และมีข้อดีกว่าหลายอย่าง คือ มีการเผาไหม้ ที่สะอาดกว่า ไอเสียมีคุณภาพที่ดีกว่า และเนื่องจากไม่มีกำมะถันในไบโอดีเซล จึงไม่มีปัญหาสารซัลเฟต นอกจากนี้ยังมีเขม่าคาร์บอนน้อย ไม่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบไอเสียง่าย ช่วยยืดอายุการใช้งานได้ เป็นอย่างดี [1]

จากข้อดีต่างๆเหล่านี้ ทำให้ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในสหรัฐอเมริกา และอีกหลายๆประเทศ มีเพิ่มมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณการผลิตมากขึ้นอีกต่อไปในอนาคต ตามความต้องการของ ผู้บริโภคที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1-2



รูปที่ 1-1 กราฟแสดงแนวโน้มราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น ตั้งแต่ปี ค.ศ.1994 ถึง เดือนมีนาคม ค.ศ.2008 [26]



รูปที่ 1-2 กราฟประเมินแนวโน้มปริมาณการบริโภคไบโอดีเซลในประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี ค.ศ.2004 ถึง ค.ศ.2010 [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ได้แก่ ความเร็วที่ใช้ในการปั่นกวน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และทำการศึกษการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้ว โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตในด้านของพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลเนื่องจากนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในการเป็นแหล่งพลังงานความร้อน และเพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพื่อผลิตไบโอดีเซลใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 2) เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ได้แก่ ความเร็วที่ใช้ในการปั่นกวน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
- 3) เลือกสภาวะที่เหมาะสม จากการศึกษาในข้อที่ 2 เพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้ว โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตามวิธีมาตรฐาน
- 2) ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรแต่ละชนิด ดังนี้

1. ความเร็วที่ใช้ในการปั่นกวน แบบช้า (150 รอบต่อนาที)
แบบเร็ว (400 รอบต่อนาที)
2. อุณหภูมิที่ใช้ในการปั่นกวน ช่วงที่ทำการศึกษาคือ 30 , 40 และ 60 องศาเซลเซียส
3. เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ช่วงที่ทำการศึกษาคือ 15 และ 60 นาที
- 3) สร้างตู้เก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน
- 4) วิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซล ได้แก่
 - ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล ด้วยเทคนิค ^1H - Nuclear Magnetic Resonance ($^1\text{H-NMR}$) และเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)
 - หมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์ ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR) และเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)
 - ค่าความหนืด (Kinematic Viscosity) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D445
 - ค่าความเป็นกรด (Total Acid Number) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D664

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

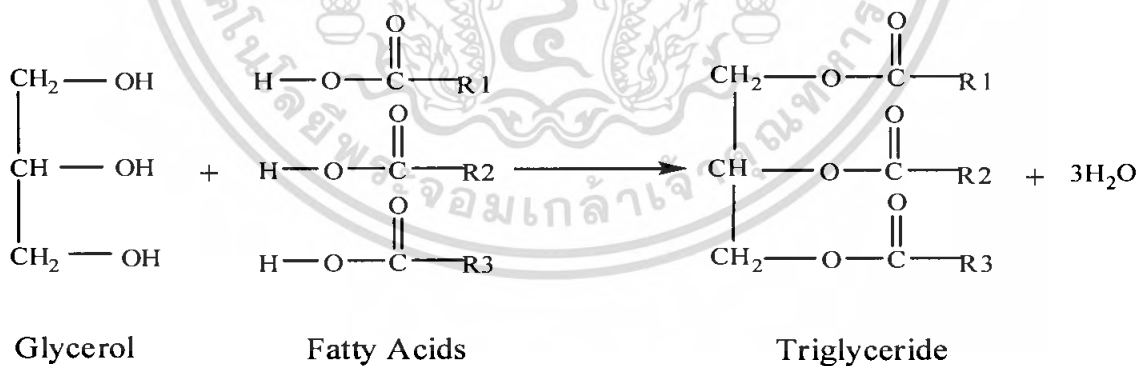
- 1) ทราบถึงสภาวะของตัวแปรที่เหมาะสม ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่ ผ่านการทอดแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 2) สามารถผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว เป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำมันใช้แล้วซึ่งจัดเป็นของเสียที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ และเป็นการลดปัญหาต่างๆที่เกิดจากน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้ว
- 3) ช่วยลดต้นทุนการผลิตในด้านของพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล เนื่องจากนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในการเป็นแหล่งพลังงานความร้อน
- 4) สามารถนำข้อมูลไปใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพื่อผลิตไบโอดีเซลใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันพืช [5]

องค์ประกอบหลักของน้ำมันพืช คือ กรดไขมัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) ในปริมาณสัดส่วนของกรดทั้งสองชนิดจะแตกต่างกัน ทำให้สมบัติของน้ำมันพืชแต่ละชนิด มีความแตกต่างกัน ซึ่งกรดไขมันที่พบในน้ำมันพืชส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว โดยทั่วไปกรดไขมันจะมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่เสมอ ในโมเลกุล ซึ่งมีความยาวตั้งแต่ 12 ถึง 24 โมเลกุล แต่ที่พบเป็นจำนวนมากจะมีจำนวนคาร์บอน 16 (C16) และ 18 (C18) โดยในธรรมชาติจะพบกรดไขมันในรูปอิสระ ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะพบในรูป เอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerol) หรือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของกรดไขมันกับกลีเซอรอล โดยที่กลีเซอรอลเป็นสารพวกแอลกอฮอล์ ที่มีหมู่ฟังก์ชัน -OH จำนวน 3 หมู่ ถ้ากรดไขมันเพียงหนึ่งโมเลกุล ทำปฏิกิริยากับหมู่ -OH ของกลีเซอรอล เรียกว่า โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ถ้ากรดไขมันสองโมเลกุล ทำปฏิกิริยาจะได้ ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) และถ้ากรดไขมันสามโมเลกุลทำปฏิกิริยาจะได้ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2-1



รูปที่ 2-1 แสดงปฏิกิริยาการเกิดไตรกลีเซอไรด์ [5]

โดยทั่วไปน้ำมันพืชสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรง เนื่องจากมีค่าความร้อนสูง แต่ก็มีข้อจำกัดในด้านกายภาพบางประการ เช่น มีความหนืดสูง ค่าการระเหยตัวต่ำ ทำให้การเผา

ไหม้ไม่สมบูรณ์ และเกิดปัญหาการอุดตันในเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาคุณภาพน้ำมันพืช ให้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลด้วยกระบวนการทางเคมี

ตารางที่ 2-1 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [6]

Fatty Acid fat or oil	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0 C22:0	C20:1 C22:1	Other
Yellow Grease	-	-	-	1	23	1	10	50	15	-	-	-	-
Tallow	-	-	0.2	2-3	25-30	2-3	21-26	39-42	2	-	0.4-1	0.3	0.5
Lard	-	-	-	1	25-30	2-5	12-16	41-51	4-22	-		2-3	0.2
Butter	1-2	2-3	1-4	8-13	25-32	2-5	25-32	22-29	3	-	0.4-2	0.2-1.5	1.2
Coconut	5-9	4-10	44-51	13-18	4-10	-	1-4	5-8	1-3	-	-	-	-
Palm Kernal	2-4	3-7	45-52	14-19	6-9	0-1	1-3	10-18	1-2	-	1-2	-	-
Palm	-	-	-	1-6	32-47	-	1-6	40-52	2-11	-	-	-	-
Safflower	-	-	-	-	5.2	-	2.2	76.3	16.2	-	-	-	-
Peanut	-	-	-	0.5	6-11	1-2	3-6	39-66	17-38	-	5-10	-	-
Cottonseed	-	-	-	0-3	17-23	-	1-3	23-41	34-55	-	-	2-3	-
Corn	-	-	-	0-2	8-10	1-2	1-4	30-50	34-56	-	-	0-2	-
Sunflower	-	-	-	-	6	-	4.2	18.7	69.3	0.3	1.4	-	-
Soybean	-	-	-	0.3	7-11	0-1	3-6	22-34	50-60	2-10	5-10	-	-
Rapeseed	-	-	-	-	2-5	0.2	1-2	10-15	10-20	5-10	0.9	50-60	-
Linseed	-	-	-	0.2	5-9	-	0-1	9-29	8-29	45-67	-	-	-
Tung	-	-	-	-	-	-	-	4-13	8-15	72-88	-	-	-

หมายเหตุ

หมายเลขหน้าเครื่องหมาย : หมายถึง จำนวนคาร์บอนอะตอม

หมายเลขหลังเครื่องหมาย : หมายถึง จำนวนพันธะคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไบโอดีเซล (Biodiesel) [7]

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่างๆ หรือไขมันสัตว์ รวมไปถึงน้ำมันใช้แล้วจากการปรุงอาหารมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะนำมาผ่านขบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Transesterification Process) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์, เอทิลเอสเทอร์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "ไบโอดีเซล" และได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง ฯลฯ

2.2.1 สมบัติของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (Neat Biodiesel) มีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ข้อแตกต่างของไบโอดีเซลที่สำคัญคือ เป็นสารไม่ไวไฟและไม่ระเบิด มีจุดวาบไฟสูงถึง 120 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟที่ 64 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อเพลิงสะอาด ช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีขึ้น ทำให้การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ นอกจากนี้ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำแล้ว ยังนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงได้ โดยไม่มีปัญหาในการใช้งานทั้งระยะสั้นและระยะยาวเมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำมันดีเซลแล้ว ไบโอดีเซลจะช่วยลดมลพิษทางอากาศได้มาก โดยปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนรวม และฝุ่นละอองลดลงร้อยละ 20-40

2.2.2 ประเภทของไบโอดีเซล [8]

1. น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทนี้คือ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง หรือน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ซึ่งเราสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้เลย โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่น ๆ ไม่ต้องนำมาแปลงคุณสมบัติของน้ำมันอีก

การผลิตไบโอดีเซลจากพืชหรือสัตว์



2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสม

ไบโอดีเซลชนิดนี้เป็นลูกผสมระหว่าง น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ กับน้ำมันก๊าด หรือน้ำมันดีเซล เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้ มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น โคโคดีเซล (coco-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (palm- diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลลูกผสม



3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

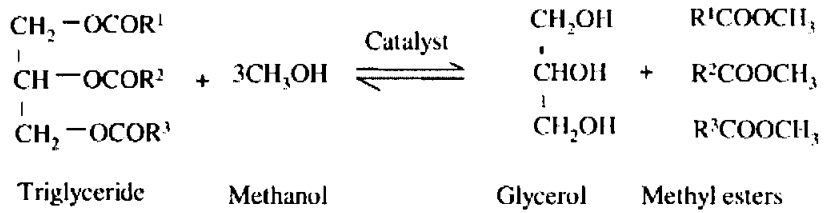
ไบโอดีเซลชนิดนี้ เป็นไบโอดีเซลในความหมายที่เป็นสากล ที่ใช้ในต่างประเทศ เช่น อเมริกา แคนาดา บราซิล หรือแม้แต่ในมาเลเซีย ไบโอดีเซลชนิดนี้มีกระบวนการที่ยุ่งยากกว่าต้องผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า “ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน” คือ การนำเอาน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้เอสเทอร์ จะเรียกไบโอดีเซล ที่ได้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา ถ้าเป็นเมทิลแอลกอฮอล์ เรียกเมทิลเอสเทอร์ และถ้าเป็นเอทิลแอลกอฮอล์เรียกเอทิลเอสเทอร์นอกจากนี้ยังได้ “กลีเซอรอล” เป็นผลพลอยได้ ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมยา และอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ปัจจุบันไบโอดีเซลได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในระบบขนส่งมวลชน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีราคาไม่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก นอกจากนี้เผาไหม้ได้อย่างหมดจดไม่มีเขม่าควันหลงเหลือให้เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากความนิยมเป็นอย่างมากเช่นนี้ทำให้ปั้มน้ำมันจำนวนมากนำไบโอดีเซลมาบริการให้กับลูกค้า เชื้อเพลิงชนิดนี้ มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จุดวาบไฟของไบโอดีเซล มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้ว ค่าซีเทน ที่เป็นดัชนีบอกถึงคุณภาพการติดไฟของไบโอดีเซล ยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [1]

Fuel Property	Diesel	Biodiesel
Fuel Standard	ASTMD975	ASTMD6751
Lower Heating Value, Btu/gal	~129,050	~118,170
Kinematic Viscosity.@ 40° C	1.3 – 4.1	4.0 – 6.0
Specific Gravity kg/l @ 60° F	0.85	0.88
Density, lb/gal @ 15° C	7.079	7.328
Water and Sediment, vol%	0.05 max	0.05 max
Carbon, wt%	87	77
Hydrogen, wt%	13	12
Oxygen, by dif. Wt%	0	11
Sulfur, wt%	0.05 max	0.0 - 0.0024
Boiling Point, ° C	180 - 340	315 - 350
Flash Point, ° C	60 - 80	100 - 170
Cetane Number	40 – 55	48 – 65
Lubricity SLOBLE, grams	2,000 – 5,000	>7,000
Lubricity HFRR, microns	300 – 600	< 300
Acid number, mg KOH/g	N/A	< 0.8

2.3 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) [9,10]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์และแอลกอฮอล์เพื่อเกิดเป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2-2 และเนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปจะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางผลิตภัณฑ์ได้ดี ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

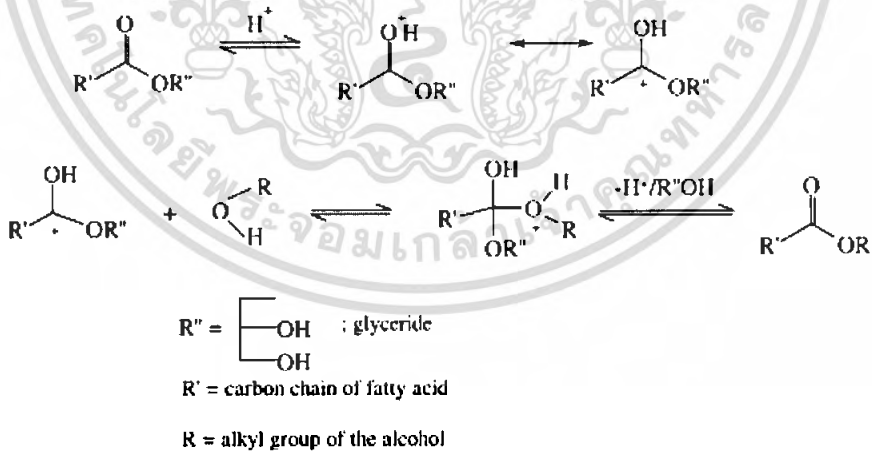


รูปที่ 2-2 การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน [11]

2.3.1 การทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [9, 12]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยกรด เช่น กรดซัลโฟนิก กรดซัลฟิวริก เป็นต้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง และสามารถใช้น้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ได้ แต่ปฏิกิริยาเกิดช้ามาก โดยต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 3 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เริ่มจากโปรตอนไปโปรโตเนตที่หมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ทำให้เกิดคาร์โบแคทไอออน หลังจากนั้นจึงเกิดการชนด้วยนิวคลีโอไฟล์ของแอลกอฮอล์ จะเกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล โดยสารมัธยันต์นี้จะปล่อยกลีเซอรอลออกมาทำให้เกิดเอสเทอร์ใหม่ และตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2-3

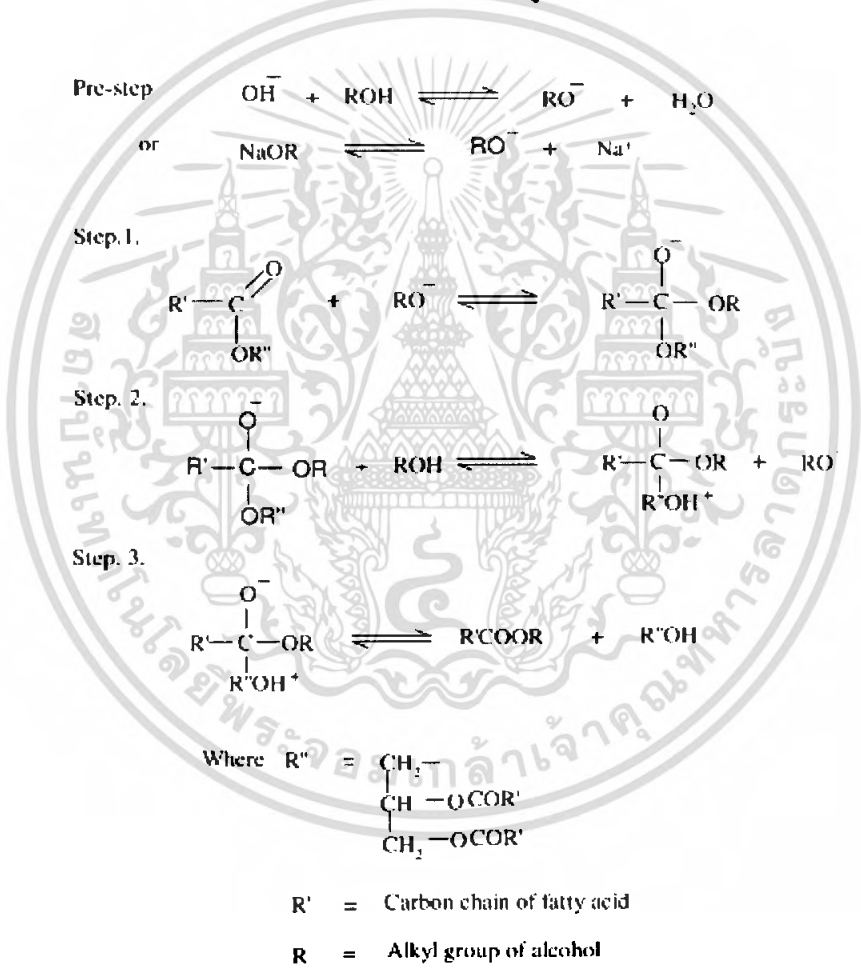


รูปที่ 2-3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด [11]

2.3.2 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [9, 12]

เบสที่ใช้กันมาก ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งการทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานี้ จะเกิดเร็วกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 4000 เท่า และจะใช้ได้ดีกับน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์

กลไกปฏิกิริยาเริ่มจากขั้นแรก แอลกอฮอล์ไอออน จะเข้าชนที่ตำแหน่งคาร์บอนิลของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งทำให้เกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล ขั้นที่สอง เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารมัธยันต์กับแอลกอฮอล์ทำให้เกิดแอลกอฮอล์ไอออน และขั้นสุดท้ายเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของสารมัธยันต์เกิดเป็นเอสเทอร์และไตรกลีเซอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส [11]

ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสจะให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์สูง โดยใช้เวลาที่สั้น แต่ปฏิกิริยานี้มีข้อเสียคือ การนำกลีเซอรอลกลับมาใช้ใหม่ทำได้ยาก ต้องกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์ก่อน นำเสียที่มีเบสต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยทิ้ง กรดไขมันและน้ำจะรบกวนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน กล่าวคือ กรดไขมันอิสระและน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันพืชใช้แล้วจะทำปฏิกิริยากับเบส เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน และเกิดเป็นสบู่ ซึ่งจะทำให้การแยกกลีเซอรอลเกิดได้ไม่ดี ส่งผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ลดลง

2.3.3 การทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนโดยใช้ กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [9]

เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเบส มีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน โดยนำเฉพาะคุณสมบัติที่ดีของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดมาใช้ เพื่อช่วยให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมากขึ้น

ในขั้นแรกจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระไปเป็นเอสเทอร์ก่อน เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน ให้ต่ำกว่าหรือเท่ากับหนึ่งเปอร์เซ็นต์ก่อน จากนั้นในขั้นที่สองเป็นการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทำปฏิกิริยาดังวิธีนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกรดที่ใช้

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิด โดยที่ การกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยากรดที่ใช้ในขั้นตอนแรกนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสในขั้นตอนที่สองในปริมาณมาก ซึ่งจะเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลให้มากขึ้น

2.3.4 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [9]

การใช้สารเคมี (กรด และเบส) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันนั้นมักจะมีปัญหาเกิดขึ้น เช่น การปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลก่อนนำไปใช้, การนำกลีเซอรอลกลับมาใช้ใหม่, การกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยา และสิ้นเปลืองพลังงาน (ความเร็วในการปั่นกวน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา) การใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เอนไซม์ ไลเปส มีข้อดีมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือ ไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ร่วม, นำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย, สภาพในการเกิดปฏิกิริยาไม่รุนแรง, สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้, กรดไขมันอิสระและน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันพืชใช้แล้ว ไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และมักจะได้ปริมาณอัลคิลเอสเทอร์ที่สูง

เอนไซม์ที่นิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ได้แก่ *Candida antarctica* (SP-435), *Mucor meihei* (Lypozyme), *Geotrichum candidum* , *Pseudomonas cepacia* (PS-30) และ *Burkholderias cepacia* (IM-BS-30)

2.3.5 การทำปฏิกิริยาโดยไมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [9, 12]

เป็นการทำปฏิกิริยาในสภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล โดยจะทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้พันธะไฮโดรเจนของเมทานอลอ่อนลง และเมทานอลมีสภาพขั้วลดลง ซึ่งจะทำให้เมทานอลกับน้ำมันพืชสามารถรวมเป็นเฟสเดียวกันได้ ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีความบริสุทธิ์สูง และใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเพียงแค่ 2-4 นาที

2.4 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล [10]

โดยทั่วไปไบโอดีเซลผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ น้ำมันพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันชนิดต่างๆ ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว มีปริมาณของกรดไขมันถึงร้อยละ 94 – 96 ของน้ำหนัก โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งได้แสดงสูตร โครงสร้างและสมบัติของกรดไขมันดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 แสดงสูตร โครงสร้างและสมบัติของกรดไขมันชนิดต่างๆ [6]

Fatty Acid	No.of carbons and double bonds	Chemical Structure	Melting point deg C	Boiling point deg C
Caprylic	C8	$CH_3(CH_2)_6COOH$	16.5	239
Capric	C10	$CH_3(CH_2)_8COOH$	31.3	269
Lauric	C12	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	43.6	304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-3 (ต่อ) แสดงสูตรโครงสร้างและสมบัติของกรดไขมันชนิดต่างๆ [6]

Fatty Acid	No.of carbons and double bonds	Chemical Structure	Melting point deg C	Boiling point deg C
Myristic	C14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	58	332
Palmitic	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	62.9	349
Palmitoleic	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	33	-
Stearic	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	89.9	371
Oleic	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	16.3	-
Linoleic	C18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-5	-
Linolenic	C18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	11	-
Arachidic	C20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	75.2	-
Eicosenoic	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	23	-
Benenic	C21:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	80	-
Eurcic	C21:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	34	-

น้ำมันพืชเป็นสารที่ถูกรอกซิดส์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ที่อุณหภูมิสูง หลังจากเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดเป็นสารเหนียวขึ้น น้ำมันพืชส่วนใหญ่มีคาร์บอนระหว่าง 12 ถึง 18 ตัวเป็นองค์ประกอบในกรดไขมัน และมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชเป็นดัชนีบอกลถึงการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้มากหรือน้อย ดังนั้นการเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำในการทำไบโอดีเซล จะเกิดสารเหนียวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในเครื่องยนต์ในปริมาณที่ต่ำ

ชนิดของน้ำมันพืชแบ่งตามค่าไอโอดีนเป็น 3 กลุ่มดังนี้

- 1) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 160 – 230 หรือเรียกว่าน้ำมันซักแห้ง (Drying oil) เป็นน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้มาก

- 2) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 125 – 150 หรือเรียกว่าน้ำมันกึ่งซักแห้ง (Semi – drying oil)
- 3) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 120 หรือเรียกว่าน้ำมันไม่ซักแห้ง (Non – drying oil)

สมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 แสดงสมบัติ และค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [13]

Methyl ester	Viscosity (cSt)	Density (g/L)	Flash point (K)	HHV (MJ/kg)
Cottonseed oil	3.75	871	455	41.18
Corn oil	3.62	873	427	41.14
Crambe oil	5.12	848	463	41.98
Hazelnut oil	3.59	875	425	41.12
Linseed oil	2.83	885	415	40.84
Mustard oil	4.10	866	442	41.30
Olive oil	4.18	860	447	41.35
Palm oil	3.94	867	434	41.24
Rapeseed oil	4.60	857	453	41.55
Safflower oil	4.03	866	440	41.26
Sesame oil	3.04	880	418	40.90
Soybean oil	4.08	865	441	41.28
Sunflower oil	4.16	863	439	41.33
Walnut oil	4.11	864	443	41.32

2.4.1 น้ำมันปาล์ม [8]

เป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยขณะนี้ เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น คือมีต้นทุนการผลิตต่ำ ให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง โดยปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมันต่อไร่สูงกว่าเมล็ดเรพซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศแถบยุโรปถึง 5 เท่า และสูงกว่าถั่วเหลืองที่ใช้กันมากในสหรัฐอเมริกาถึง 10 เท่า เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้น ทนต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติ อีกทั้งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานถึง 20 ปี จึงทำให้ความต้องการน้ำมันปาล์มดิบในประเทศเพิ่มขึ้นอีกเป็นจำนวนมากในอนาคตอันใกล้นี้ ซึ่งประเทศที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดคือประเทศมาเลเซีย สำหรับความคุ้มค่าในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันนั้น จากข้อมูลของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร พบว่าโดยเฉลี่ยการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันมีผลตอบแทนกำไรต่อไร่ สูงถึงประมาณ 4,000 บาทต่อปี จึงมีการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการปลูกปาล์มพันธุ์ดี ทดแทนพืชอื่นๆ ที่มีรายได้ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ

การผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โดยนำผลปาล์มที่ผ่านกระบวนการนี้มาทำการสกัด โดยได้ผลผลิต 2 ประเภท คือ น้ำมันปาล์มที่ได้จากเนื้อปาล์ม 15-20% และปาล์มเมล็ดในประมาณ 5%

2.4.2 น้ำมันเมล็ดในปาล์ม [10]

เมื่อนำผลปาล์มมาสกัดน้ำมันจะให้น้ำมันสองชนิดที่แตกต่างกัน เนื้อของผลปาล์มจะให้น้ำมันปาล์ม ความเข้มข้นของสีมีค่าสูง ประกอบด้วยกรดไขมันที่ประกอบด้วยคาร์บอน 16 – 18 อะตอม และอุณหภูมิจุดหลอมเหลวมีค่าสูงเป็นประโยชน์ของน้ำมันปาล์ม ส่วนเมล็ดในผลปาล์ม เมื่อนำมาสกัดจะได้น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel oil) น้ำมันที่สกัดได้จะมีคุณสมบัติไม่มีสีมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ มีความอึดตัวสูง ช่วงอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของกลีเซอไรด์แคบ นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดในปาล์มจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้มีกลิ่นเหม็นหืนได้ง่าย

2.5 น้ำมันดีเซล [10]

น้ำมันดีเซล คือ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมชนิดหนึ่งที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ โดยมีช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่าง 150 – 360 องศาเซลเซียส น้ำมันดีเซลจะต้องจุดระเบิดได้เองโดยเร็วและเผาไหม้หมดภายใต้สภาวะภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลจะมีขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานในสภาวะต่างๆ ดังนั้นน้ำมันดีเซลจึงต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมกับเครื่องยนต์ในแต่ละประเภท คือ ต้องจุดระเบิดได้เองโดยเร็วและเผาไหม้ภายใต้สภาวะภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ สมบัติของน้ำมันดีเซลที่สำคัญมีดังนี้

- 1) ความหนืด (Viscosity) เป็นสมบัติที่สำคัญสมบัติหนึ่งของน้ำมันดีเซล เพราะมีผลต่อการทำงานของปั๊มและหัวฉีดของเครื่องยนต์ดีเซล กล่าวคือ ถ้าน้ำมันใสหรือข้นเกินไปจะทำให้การพ่นฉีดเป็นละอองฝอยได้ไม่ดี ซึ่งจะมีผลต่อการเผาไหม้ และควันท่อไอเสีย
- 2) อุณหภูมิการกลั่น (Distillation temperature) เป็นสมบัติที่แสดงถึงการระเหย (Volatility) ของน้ำมัน ดังนั้น เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันมีจุดเดือดสูงเกินไป เพราะจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่หมดและเกิดควันท่อไอเสีย จึงมีข้อกำหนดเกี่ยวกับอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันดีเซลที่ 90 เฟอร์เซนต์โดยปริมาตร จะต้องไม่ให้สูงกว่า 357 องศาเซลเซียส

3) จุดวาบไฟ (Flash point) โดยปกติน้ำมันจะไม่ติดไฟ แต่ส่วนที่ติดไฟได้คือ ไขของน้ำมันที่ระเหยออกมาผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม จุดวาบไฟมีความสัมพันธ์กับอัตราการระเหยกลายเป็นไอของน้ำมัน น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำจะทำให้เกิดการสันเปลือง เพราะมีการระเหยง่ายจุดวาบไฟเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการขนส่งและการเก็บรักษา น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำจะต้องดูแลรักษาอย่างระมัดระวัง

4) จุดไหลเท (Pour point) จะบอกถึงอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่น้ำมันยังไหลได้โดยจะมีผลต่อการใช้น้ำมันที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันที่มีไขเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ไขจะแยกตัวออกมาเป็นผลึกและจับตัวกันหุ้มส่วนที่ยังไหลได้ไว้ภายในทำให้น้ำมันหยุดไหล

5) ค่าความร้อน (Heating value) ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงคือปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิงเนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของพลังงานต่อปริมาณของมวลสารนิยมนิวต์โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกสารไฮโดรคาร์บอน เมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจน ผลของการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอยู่ในสถานะของไอน้ำ) ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนแฝงสูงสุด แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัวค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ

6) ค่าความเป็นกรด (Acid value) ค่าความเป็นกรดจะแสดงถึงปริมาณของกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซล ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของน้ำมัน เนื่องจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันนอกจากจะเกิดจากการออกซิไดซ์พันธะคู่ของกรดไขมันแล้ว ยังอาจเกิดจากการสลายพันธะเอสเทอร์ ให้กรดไขมันอิสระออกมา ปริมาณกรดไขมันอิสระรวมทั้งความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพและความเก่าใหม่ของน้ำมัน

7) เลขไอโอดีน (Iodine value) เลขไอโอดีนจะแสดงถึงความไม่อิ่มตัวหรือปริมาณพันธะคู่ในไบโอดีเซล แสดงได้ด้วยจำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดไว้ด้วยน้ำมัน 100 กรัม เลขไอโอดีนเป็นค่าคงที่และเฉพาะตัวสำหรับน้ำมันแต่ละชนิด น้ำมันที่มีพันธะคู่มากจะมีเลขไอโอดีนสูง ซึ่งพันธะคู่นี้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันได้ เลขไอโอดีนจึงเป็นค่าที่แสดงถึงอายุการใช้งานของน้ำมัน

ตัวอย่างความสัมพันธ์ของสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์แสดงในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ความสัมพันธ์ของสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์ [14]

สมบัติ	ผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์
ความหนืด	ผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ คือ เครื่องยนต์ความเร็วรอบต่ำสามารถใช้ น้ำมันที่มีความหนืดสูงกว่าเครื่องยนต์ความเร็วรอบสูง
อุณหภูมิการกลั่น	ค่าอุณหภูมิการกลั่นถ้ามีค่าสูงเกินไปจะทำให้ น้ำมันดีเซลมีจุดเดือดสูงเกินไป อันจะทำให้เกิดควัน มีกลิ่นเหม็น และเกิดความสกปรกต่อเครื่องยนต์
จุดวาบไฟ	จุดวาบไฟมีความสัมพันธ์กับการระเหยและการติดไฟระหว่างเครื่องยนต์ ทำงาน แต่ถ้ามีค่าต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนดจะมีผลต่อความปลอดภัยใน ระหว่างการเก็บสำรองและการขนส่ง
จุดไหลเท	สำหรับมาตรฐานของค่าจุดไหลเทของน้ำมันดีเซลมีผลต่อการใช้งานที่อุณหภูมิ ต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดเพราะจะทำให้ น้ำมันแข็งตัวมีผลต่อการทำงานของ เครื่องยนต์
ดัชนีซีเทน	ดัชนีซีเทนเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการจุดระเบิดและการลุกติดไฟ ซึ่ง มีผลต่อการติดเครื่องยนต์ การเผาไหม้ และปริมาณมลพิษในไอเสีย ยิ่งค่าดัชนี ซีเทนมีค่ามากขึ้นมีผลทำให้เครื่องยนต์ทำงาน ได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น
ค่าความร้อน	ค่าความร้อนมีผลต่อกำลังของเครื่องยนต์และการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล
การกัดกร่อนแผ่น ทองแดง	ถ้า น้ำมันดีเซลมีค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดงมากกว่าค่ามาตรฐานมีผลทำให้ การกัดกร่อนชิ้นส่วนโลหะในเครื่องยนต์มากขึ้น
ปริมาณเถ้า	เถ้าเป็นสารอนินทรีย์ที่คงเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ซึ่งเกาะผนังเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์มีความสกปรก
ปริมาณกากถ่าน	ปริมาณกากที่เหลือหลังจากการเผาไหม้เป็นสิ่งสกปรกที่เครื่องยนต์
ปริมาณน้ำและกาก ตะกอน	น้ำและกากตะกอนมีผลต่อการอายุการใช้งานของ ไส้กรองและหัวฉีด
ปริมาณกำมะถัน	กำมะถันทำให้เกิดการกัดกร่อนและมลภาวะทางอากาศหลังการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การให้ความร้อนแก่น้ำมันพืช โดยใช้ตู้เก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Box) [15]

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ดวงอาทิตย์ เป็นแหล่งพลังงานสำคัญของโลก แม้แต่น้ำมัน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักที่เราใช้ในปัจจุบัน ยังมีต้นกำเนิดของพลังงานมาจากดวงอาทิตย์ โดยพืชได้พลังงานจากดวงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสง จากนั้น สัตว์กินพืชเพื่อเป็นอาหารเป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิต ต่อมาเมื่อพืชและสัตว์ตายลง ซากพืช ซากสัตว์ ก็จะแปรสภาพเป็นน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ หรือเป็นถ่านหิน ให้นำมาใช้เป็นพลังงานในปัจจุบัน

2.6.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงาน

การให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชโดยใช้ตู้เก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการใช้รังสีจากดวงอาทิตย์ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานความร้อน โดยมีส่วนประกอบสำคัญ คือตัวกักเก็บความร้อน (Collectors) และถังกักเก็บน้ำมันพืช (Storage Tanks) สำหรับในการอธิบายหลักการทำงานนั้น จะอธิบายจากส่วนประกอบ ของตัวกักเก็บความร้อน ซึ่งอาจจะมีรูปร่างลักษณะเป็น กล้อง กรอบ หรืออาจเป็นห้องๆ หนึ่ง ดังรูปที่ 2-5 โดยตัวกักเก็บความร้อนจะมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

1. มีผนังโปร่งใสเป็นผิวด้านที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์
2. มีผิวสีดำหรือสีทึบด้านใน เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับความร้อน
3. มีการหุ้มฉนวน เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนที่ดูดซับไว้รั่วไหลออกจากเครื่อง



รูปที่ 2-5 ตู้เก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Box) [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.1 ผิวด้านที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์

สามารถใช้วัสดุโปร่งใสใดๆ ก็ได้ในการทำผิว ด้านนี้ แต่โดยทั่วไปแล้ว กระจกจะเป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากกระจกสามารถผลิตและหาซื้อได้ง่าย ในการสร้างตู้เก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ควรเลือกกระจกที่มีความแข็งแรง ทนต่อการแตกร้าวและการขีดข่วนได้พอสมควร เมื่อแสงอาทิตย์ผ่านกระจก และตกกระทบผิวภายในตู้เก็บความร้อน แสงอาทิตย์จะก่อให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งคุณสมบัติเด่นของกระจก คือ ยอมให้แสงผ่านได้ง่ายแต่เป็นฉนวนความร้อนที่ดี ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในตู้เก็บความร้อนจะถูกกักเก็บไว้

2.6.1.2 ตัวดูดซับ

ความร้อนที่เกิดขึ้นในตู้เก็บความร้อนจะถูกดูดซับไว้ โดยวัตถุภายใน ไม่ว่าจะวัตถุนั้น จะเป็นแผ่นโลหะ ถังเก็บน้ำ ท่อน้ำ ก้อนอิฐ หรือก้อนหิน ซึ่งวัตถุเหล่านี้ (อาจเรียกรวม ๆ ว่า มวลกักเก็บความร้อน หรือ Thermal Mass) ควรทาสีดำหรือสีทึบ เนื่องจากวัตถุสีดำหรือสีทึบจะมีความสามารถในการดูดความร้อนสูง ยกตัวอย่าง ง่ายๆ เช่น รถยนต์ที่มีเบาะนั่งสีดำ เมื่อจอดทิ้งไว้กลางแดดโดยไม่เปิดกระจก พลังงานจากแสงอาทิตย์จะผ่านกระจกเข้ามาในรถและความร้อนจะถูกดูดซับไว้โดย เบาะนั่งสีดำ ถ้าหากมีคนเข้าไปนั่งจะพบว่า เบาะนั่งจะร้อนมาก ซึ่งหากเบาะนั่งมีสีอ่อน ๆ เช่น สีเหลืองหรือสีขาว แสงอาทิตย์จะถูกสะท้อนออกไป ทำให้เบาะนั่งจะร้อนน้อยกว่าเบาะนั่งสีดำ แสดงให้เห็นว่า สีดำหรือสีทึบมีการดูดซับความร้อนได้ดี

2.6.1.3 ฉนวนกันความร้อน

ธรรมชาติของความร้อนจะมีการเคลื่อนที่จาก ที่ร้อนไปยังที่ที่เย็นกว่า หรือที่เรียกกันว่า การถ่ายเทความร้อนนั่นเอง ฉนวนกันความร้อนจะเป็นสิ่งป้องกันความร้อนรั่วไหล หรือเป็นการชะลอการรั่วไหลของความร้อน

2.7 ประโยชน์ของไบโอดีเซล [16]

การใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์มีประโยชน์หลายด้าน ดังต่อไปนี้

- ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ โดยจากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้า สามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 40การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบ

อาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันไม่ให้น้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งมีสารไดออกซินปะปน ไปผลิตเป็นอาหารสัตว์อีกด้วย

- ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นเนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้นถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

- ด้านเศรษฐศาสตร์

การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรการใช้ไบโอดีเซลช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน

2.8 แนวทางการพัฒนาไบโอดีเซลในประเทศไทย [8]

สำหรับประเทศไทย ซึ่งการนำไบโอดีเซลมาใช้ในเชิงพาณิชย์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ควรได้รับการส่งเสริมให้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ประชาชนมั่นใจได้ว่า จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ในระยะยาวด้วยการที่จะนำไบโอดีเซลมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้น สิ่งที่ต้องปรับปรุง และดัดแปลง คือ

1. พัฒนาน้ำมันไบโอดีเซล ให้เป็นไบโอดีเซลเอสเทอร์ที่มีคุณภาพ ซึ่งอาจจะต้องดัดแปลงส่วนประกอบ เพื่อให้ได้คุณภาพและมาตรฐานที่สูงสุด
 2. ดัดแปลงเครื่องยนต์ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้ไบโอดีเซล ซึ่งในเชิงพาณิชย์นั้น คงจะต้องได้รับความร่วมมือจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์บางอย่างให้เหมาะกับไบโอดีเซล
- ปัจจุบันมีเครื่องยนต์ที่ออกแบบเพื่อใช้กับน้ำมันไบโอดีเซลแล้วเหมือนกัน เช่น DMS Dieselmotoren – und Geratebau GmbH (DMS) และเครื่อง ELSBETT technology

2.9 แนวโน้มการใช้ไบโอดีเซลในประเทศไทย [8]

ไบโอดีเซลเหมาะที่จะเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมักจะประสบปัญหาเรื่องราคาผลผลิตตกต่ำอยู่เรื่อย ๆ ประเทศไทยมีแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการทำไบโอดีเซล เช่น มะพร้าว ปาล์ม เมล็ดทานตะวันอยู่เป็นจำนวนมาก หากนำผลผลิตทางการเกษตร เหล่านี้มาแปรรูปเป็นน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลในภาคเกษตร อย่างน้อยก็เป็นการลดค่าใช้จ่ายของภาครัฐ ในเรื่องของการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ อีกทั้งยังช่วยให้พืชผลทางการเกษตรมีราคาสม่ำเสมออีกด้วยนอกจากเรื่องการลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศแล้ว ไบโอดีเซลยังช่วยในเรื่องสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้วจำนวนมากนับล้าน ๆ ลิตรต่อวัน จะได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ ได้อีกไม่ต้องเททิ้งให้เป็นปัญหาต่อแม่น้ำลำคลอง และสิ่งแวดล้อมข้อดีของไบโอดีเซลอีกประการหนึ่งก็คือ เรื่องมลภาวะของอากาศ ซึ่งเป็นปัญหาที่แก้ไม่ตกอยู่ในขณะนี้ไบโอดีเซลถือเป็นเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด ที่จะช่วยบรรเทาภาวะโลกร้อน (Greenhouse Effect) ไบโอดีเซลยังช่วยลดมลพิษได้แม้ว่าจะผสมเข้ากับเชื้อเพลิงปิโตรเลียมไบโอดีเซลนับเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงไม่กี่ชนิดที่สามารถทำงานร่วมกับดีเซลธรรมดา ซึ่งนับเป็นข้อดีมาก ๆ เพราะยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันดีเซลนั้นอยู่ได้นานถึง 25 ปี หรือมากกว่านั้น ถ้าเราหันมาใช้ไบโอดีเซลอากาศจะบริสุทธิ์ขึ้น และยังช่วยในด้านพลังงานของประเทศอีกด้วย ผลที่ได้ คือ

1. ลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศนั้นหมายถึงลดเงินตราออกนอกประเทศ
2. ส่งเสริมรายได้ให้กับภาคการเกษตร ให้เกษตรกรมีรายได้สม่ำเสมอ
3. สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ช่วยภาวะโลกร้อน และลดภาวะมลพิษในอากาศด้วยการให้เกิดปัญหาต่าง ๆ

2.10 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์ [12]

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลนั้น มีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือว่าไม่มีผลทางด้านลบ หรือในกรณีเครื่องยนต์เก่า อาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนซีลบางส่วนเท่านั้น การเปรียบเทียบมลพิษในไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซล แสดงดังตารางที่ 2-6 และประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมของไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล แสดงดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-6 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษในไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซล [12]

ชนิดของมลพิษ	ร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล
แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์	เทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล
ไฮโดรคาร์บอน	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 40
แก๊สไนโตรเจนออกไซด์	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 15
ฝุ่นละออง	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 40
สารก่อมะเร็ง	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 50

ตารางที่ 2-7 ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมของไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [17]

ชนิดของไบโอดีเซล	B 100	B 20
ไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด (ลดลง)	-93 %	-30%
คาร์บอนมอนนอกไซด์ (ลดลง)	-50 %	-20%
ฝุ่นผง (ลดลง)	-30 %	-22%
NO _x (เพิ่มขึ้น)	+13 %	+2%
กำมะถัน (ลดลง)	-100 %	-20%
ไฮโดรคาร์บอน โพลีคลิติก อโรมาติก (สารระเหย)	-80 %	-13%
nPAH2-ไนโตรฟลูเรน,1-ไนโตรพรีน (ลดลง)	-90 %	-50%
แนวโน้มการสกัดไอโซน (หมอกควัน-smog)	-50%	-10%
วงจรรไอเสีย		
คาร์บอนไดออกไซด์ (ลดลง)	-80 %	
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ลดลง)	-100 %	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Korus และคณะ (2007)

ทำการศึกษากาการผลิตเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยเลือกใช้เมล็ดสบู่ดำที่เกิดในฤดูหนาวมาผลิตเป็นเอทิลเอสเทอร์ (ethyl ester of winter rape, EEWR) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซล สิ่งสำคัญที่ทำการศึกษาในกระบวนการนี้ คือ การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ กับเอทานอล ในสถานะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะได้เอทิลเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ และมีกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ โดยศึกษาตัวแปรต่างๆ ดังนี้ 1) อุณหภูมิ 2) ตัวเร่งปฏิกิริยา 3) ความเร็วในการปั่นกวน 4) องค์ประกอบของน้ำในแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 5) ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใช้มากเกินไป ซึ่งผลจากการทดลองเป็นดังนี้ 1) ปฏิกิริยาเกิดได้ดีที่อุณหภูมิห้อง 2) ใช้โซเดียมเมทอกไซด์ 0.5% หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1% โดยน้ำหนักของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 3) การปั่นกวนมีผลอย่างมากในช่วงเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยา 4) เอทานอลที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า 1 % โดยน้ำหนัก เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดี และ 5) โซเดียมเมทอกไซด์ที่มากเกินไปที่ได้จาก 50% เมทานอล หรือ 100% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไป จะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีที่สุด จากนั้นทำการวัด ค่าความหนืด , จุดไหลเท และอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้น้ำมันตกตะกอนเกิดเป็นฝ้า ของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

Demerbas (2007)

ทำการศึกษาความสัมพันธ์ที่เกิดจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืช กับไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ ซึ่งจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อประเมินความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความร้อนสูง (Higher heating value, HHV) ค่าความหนืด (Viscosity) และจุดวาบไฟ (Flash point) ของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ค่าความร้อนเป็นคุณสมบัติสำคัญที่กำหนดองค์ประกอบของพลังงาน และประสิทธิภาพของเชื้อเพลิง ไบโอดีเซลมีลักษณะเฉพาะของเชื้อเพลิง ซึ่งมีทั้งลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติหลัก ได้แก่ ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ และค่าความร้อน ความหนืดของไบโอดีเซล (2.8-5.1 เซนติพอยส์ ที่ 311 เคลวิน) มีค่าน้อยกว่าน้ำมันบริสุทธิ์มาก (23-53 เซนติพอยส์) และค่าความร้อนของไบโอดีเซล (41 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) ก็มีค่าน้อยกว่าปิโตรดีเซลถึง 10% (ประมาณ 46 เมกะจูลต่อกิโลกรัม)

เมทิลเอสเทอร์จะมีความเหนียวเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ความถ่วงจำเพาะ และค่าจุดวาบไฟ จะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันพืชมาก เมื่อทำการวัดค่าความร้อนของน้ำมันพืช กับไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ

และนำมาหาความสัมพันธ์โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยสมการเชิงเส้นแบบถดถอย โดยที่ ค่าถดถอยระหว่างความหนืด กับค่าความร้อนของ น้ำมันพืช และไบโอดีเซล มีค่าสูง ความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 848 กรัมต่อลิตร เป็น 885 กรัมต่อลิตร และความหนืดของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 2.8 เซนติพอยส์ เป็น 5.1 เซนติพอยส์ ส่วนความสัมพันธ์ของค่าถดถอยระหว่างความถ่วงจำเพาะกับความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ ก็มีค่าสูงเช่นกัน และความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับจุดวาบไฟของเมทิลเอสเทอร์มีค่าเป็นปกติ

Meher และคณะ (2006)

ศึกษาลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยในงานวิจัยนี้จะทำการวิจารณ์ และทบทวนงานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้ทำการศึกษาเรื่องนี้ เนื่องจากพบว่า ไบโอดีเซลได้รับความสนใจ และมีความสำคัญมากขึ้นในฐานะพลังงานทดแทน ที่นำมาใช้แทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล โครงสร้างทางเคมีของไบโอดีเซล เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ที่มีกรดไขมันเป็นโซ่ยาว ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน น้ำมันหรือไขมันจะทำปฏิกิริยากับโมโนไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ ในสถานะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ลักษณะของสภาวะในการเกิดปฏิกิริยามีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น อัตราส่วนโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน , ชนิดของแอลกอฮอล์ , ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา , เวลาและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา และความบริสุทธิ์ของสารที่เข้าร่วมในการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบวิธีการต่างๆที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ น้ำมัน และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ อุปกรณ์ทางเทคนิค และกระบวนการที่ใช้สำหรับตรวจวัดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน มีดังนี้ TLC , GC , HPLC , GPC , ¹H NMR และ NIR

โชติวรรณ รัตนเสถียร และคณะ (2549)

ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วและเมทานอล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว ไปทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้วจึงนำเอาสารละลายมาตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้น ชั้นบนจะเป็นชั้นของเมทิลเอสเทอร์ ส่วนชั้นล่างเป็นชั้นของกลีเซอรอลจะถูกแยกไป หลังจากนั้นปรับปรุงคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลที่ได้ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

แล้วทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับระหว่างก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ ค่าความร้อน จุกวามไฟ ค่าความหนืด ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความเป็นกรดและเลขไอโอดีน

จากการทดลองพบว่าสภาวะในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ได้ปริมาณมากที่สุด จะใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1 ต่อ 6 และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0 กรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเมื่อทำการศึกษาคูสมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าไบโอดีเซลทั้งสองชนิดมีค่าคุณสมบัติต่างๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้ไบโอดีเซลที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าความร้อนและเลขไอโอดีนลดลงเล็กน้อย แต่ค่าความหนืดและค่าความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความถ่วงจำเพาะไม่เปลี่ยนแปลง

ณัฐพงศ์ เสนาธิบดี และคณะ ศึกษา (2546)

ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับเมทานอล โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ได้เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มมากที่สุด คือ 95.8 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์จนถึงที่ 1.00 เปอร์เซ็นต์พบว่า เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้และเปอร์เซ็นต์ของกลีเซอรอลมีค่าสูงขึ้นเป็น 98.1 เปอร์เซ็นต์และ 21.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไปทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่า มีดัชนีชี้แทนมากที่สุด คือ 43.1 และมีความหนาแน่นที่ 15.6 องศาเซลเซียส ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียสจุกวามไฟ และจุดไหลเทใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทั้งชนิดหมุนช้าและเร็ว

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ BRUKER รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ต
- 2) เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด Perkin Elmer รุ่น SPECTRUM GX
- 3) เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอแนไลเซอร์ (TGA) Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA
- 4) เครื่องวัดความหนืด (fully-automatic digital kinematic viscomatic) cannon Instrument company รุ่น CAV-2000 series
- 5) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด (Total Acid Number) Metrohm company รุ่น 703 Ti Stand
- 6) ตู้กักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Box) ตั้งในภาคผนวก ข
- 7) แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
- 8) ขวดก้นกลมสามคอ
- 9) มอเตอร์และเครื่องควบคุมความเร็วรอบพร้อมใบปั่นกวน
- 10) เครื่องควบแน่น
- 11) เทอร์โมมิเตอร์
- 12) กรวยแยก
- 13) บิวเรต
- 14) กระจบอขวด
- 15) เครื่องชั่งไฟฟ้า
- 16) บีเปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมี

- 1) น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่แล้ว
- 2) เมทานอล 99.99% (Methanol (CH_3OH)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific
- 3) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide (KOH)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem
- 4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide (NaOH)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
- 5) ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthaleine) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
- 6) โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogenphthalate(KHP)) เกรดวิเคราะห์

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 แหล่งที่มาของน้ำมัน

น้ำมัน(น้ำมันปาล์มยี่ห้อ TESCO) ที่ผ่านการทอดไก่ จากร้านอาหารข้าวมันไก่ โรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3.2 การเตรียมน้ำมันก่อนนำมาทดลอง

นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่มากรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำไปกรองด้วยสำลีอีกครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่มีอยู่ออกไป



รูปที่ 3-1 แสดงการกรองน้ำมันเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40

พิจารณาน้ำมันที่นำมาทดลองว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณเท่าใด ดังตาราง 3-1

ตารางที่ 3-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาตรเมทานอลและความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์

กรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำมัน (กรัม)	เมทานอล (มิลลิลิตร)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)
0.00-0.2	56.4 ±0.2	50	0.1
0.2-1.0	28.2 ±0.2	50	0.1
1.0-30.0	7.05 ±0.05	75	0.25
30.0-50.0	7.05 ±0.05	100	0.25 หรือ 1.0
50.0-100	3.525 ±0.001	100	1.0

เนื่องจากน้ำมันที่จะนำมาทดลองต้องมีกรดไขมันอิสระไม่เกิน 2.5% [6] ดังนั้นจึงเลือกช่วงกรดไขมันอิสระในน้ำมัน 1.0-30.0 % โดยทำการทดลองดังนี้

- 1) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มอล
- 2) หากความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 0.25 นอร์มอล ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์
- 3) ชั่งน้ำมัน 7.05 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมนเมทานอลลงไป 75 มิลลิลิตร
- 3) ให้ความร้อนจนสารละลายเข้ากันดี (ไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส)
- 4) เติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตร
- 5) ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว
- 6) บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

โดยมีวิธีการคำนวณตามภาคผนวก ก.

3.3.4 การสังเคราะห์ ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์)

- 1) นำน้ำมันที่ผ่านการกรองแล้วไปอุ่นเพื่อระเหยน้ำออก
- 2) ชั่งน้ำมัน 150 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมสามคอ
- 3) นำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน (1.5 กรัม) เมทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำมัน (33 มิลลิลิตร) แล้วผสมกับน้ำมันในขวดก้นกลมสามคอ
- 3) ตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์ โดยต่อขวดก้นกลมสามคอเข้ากับคอนเดนเซอร์และเทอร์โมมิเตอร์ดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 แสดงการตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์

- 5) ให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส กวนที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
- 6) หลังจากนั้นนำสารละลายใส่ในกรวยแยกเพื่อรอให้แยกชั้นแล้วไขส่วนที่อยู่ด้านล่างซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรอลและเมทานอลออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-3 แสดงการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซล(ชั้นบน)และกลีเซอรอล(ชั้นล่าง)

- 7) ล้างชั้นไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 50 มิลลิลิตร 3 ครั้ง



รูปที่ 3-4 แสดงการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซล (ชั้นบน) และน้ำ (ชั้นล่าง)

- 8) นำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ไประเหยน้ำออก โดยการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-5 แสดงลักษณะน้ำมันก่อน (ซ้าย) และหลัง(ขวา) ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

9) ทำการทดลองในข้อที่ 1-8 ข้าง โดยเปลี่ยนตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ได้แก่ ความเร็วในการปั่นกวน อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ดังตาราง 3-2

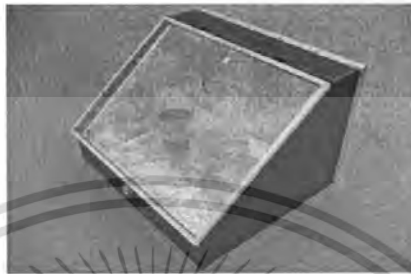
ตารางที่ 3-2 รูปแบบการทดลองโดยการแปรค่าความเร็วปั่นกวน อุณหภูมิ และเวลาปั่นกวน [18]

รูปแบบที่	ความเร็วปั่นกวน (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาปั่นกวน (นาที)
1	150	30	15
2	400	30	15
3	150	30	60
4	400	30	60
5	150	40	15
6	400	40	15
7	150	40	60
8	400	40	60
9	150	60	15
10	400	60	15
11	150	60	60
12	400	60	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยให้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

- 1) ให้ความร้อนแก่ oil bath และน้ำมันที่ผ่านการกรองแล้ว ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยนำไปไว้ในตู้กักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar box)



รูปที่ 3-6 การให้ความร้อนแก่น้ำมันด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

- 2) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.4 ตั้งแต่ข้อ 2 ถึงข้อ 7 โดยเลือกสภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.3.4 (ในการทดลองจะไม่ใช้แผ่นให้ความร้อน แต่ควบคุมอุณหภูมิด้วย oil bath โดย oil bath มีอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 3-7 การทำปฏิกิริยาโดยการควบคุมอุณหภูมิด้วย oil bath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) นำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ไว้ในตู้กักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อระเหยน้ำออก



รูปที่ 3-8 ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันที่ให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (ซ้าย) และ ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันที่ให้ความร้อนแผ่นให้ความร้อน(ขวา)

3.3.6 การศึกษาแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เมื่อ ให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และไม่มีการปั่นกวน

- 1) ชั่งน้ำมันมา 150 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่จำนวน 3 ใบ ให้ความร้อนแก่น้ำมันด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยนำไปไว้ในตู้กักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar box) จนน้ำมันมีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาประมาณ 100 นาที ที่อุณหภูมิมกกลางแจ้ง 46 องศาเซลเซียส
- 2) นำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน (1.5 กรัม) มาละลายในเมทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำมัน(33 มิลลิลิตร) แล้วผสมกับน้ำมัน เขย่าให้เข้ากัน ในแต่ละบีกเกอร์
- 3) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาไว้ในตู้กักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ ดังรูปที่ 3-9
- 4) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำสารละลายที่ได้ใส่กรวยแยกเพื่อให้แยกชั้น แล้วทำตามการทดลอง 3.3.4 ข้อ 6 ถึงข้อ 7
- 5) นำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ไว้ในตู้กักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อระเหยน้ำออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-9 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยการให้ความร้อนจากแสงอาทิตย์
ในระหว่างทำปฏิกิริยา และไม่มีคาร์บอน

3.3.7 การวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซล

- 1) ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล ด้วยเทคนิค ^1H - Nuclear Magnetic Resonance ($^1\text{H-NMR}$) และเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)
- 2) หมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์ ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR) และ ^1H - Nuclear Magnetic Resonance ($^1\text{H-NMR}$)
- 3) ค่าความหนืด (Kinematic Viscosity) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D445
- 4) ค่าความเป็นกรด (Total Acid Number) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D664

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์ ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) จากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วกับเมทานอล ซึ่งใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 วิเคราะห์หากรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชที่ใช้ในงานวิจัย ตอนที่ 2 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยใช้ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้าในการทำปฏิกิริยาและศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ ความเร็วปั่นกวน อุณหภูมิ และเวลาปั่นกวน แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์หา ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ตอนที่ 3 สังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์จากตอนที่ 2 แต่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการให้ความร้อนแก่น้ำมันในการเกิดปฏิกิริยา

4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันก่อนนำมาทดลอง

ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ ถ้าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่นำมาสังเคราะห์ไบโอดีเซลมีค่ามากกว่า 2.5 % จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณลดลงและผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นไขสบู่และน้ำ [6] เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสaponification ดังสมการ



ปริมาณกรดไขมันอิสระสามารถรายงานได้ในรูปของลอริก เนื่องจากน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีกรดไขมันอิสระในรูปของลอริกเป็นองค์ประกอบ [10] และเนื่องจากใช้น้ำมันปาล์มในการทดลองจึงรายงานปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของปาล์มเมติกด้วย

ในการทดลองสามารถวิเคราะห์ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ 0.2429 นอร์มอล แล้วไทเทรตน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40 ได้ผลดังตาราง 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของลอริกและปาล์มเมติก

น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	NaOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)	กรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	
		ในรูปของลอริก	ในรูปของปาล์มเมติก
7.02	2.20	1.52	1.95
7.08	2.15	1.48	1.89
7.04	2.30	1.59	2.03
เฉลี่ย		1.53	1.96

จากตาราง 4-1 พบว่าน้ำมันที่นำมาทดลองมีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 2.5 % สามารถนำน้ำมันนี้มาใช้ผลิตไบโอดีเซลได้

4.2 ผลของความเร็วปั่นกวน อุณหภูมิ และเวลาปั่นกวน ที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์

สังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้ไขมัน 150 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน [18] (1.5 กรัม) เมทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำมัน [6] (33 มิลลิลิตร) นำไปทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ แล้วนำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้วิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ได้ผลดังตารางที่ 4-2

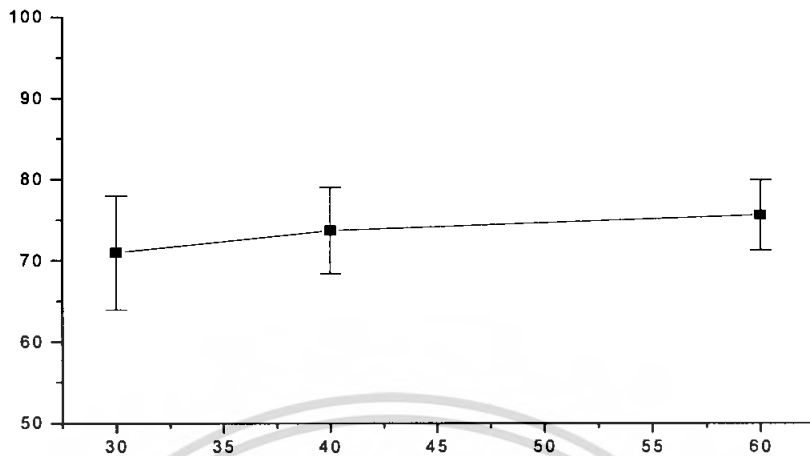
ตารางที่ 4-2 ตัวแปรของความเร็วจนกววน อุณหภูมิและเวลาปั่นกววนที่มีต่อปริมาณของเมทิลเอสเทอร์

รูปแบบที่	ความเร็วจนกววน (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาปั่นกววน (นาที)	เมทิลเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์)
1	150	30	15	69.12 ± 2.40
2	400	30	15	70.99 ± 7.01
3	150	30	60	75.63 ± 1.87
4	400	30	60	75.65 ± 2.22
5	150	40	15	70.36 ± 3.04
6	400	40	15	73.75 ± 5.35
7	150	40	60	74.80 ± 4.37
8	400	40	60	73.86 ± 3.10
9	150	60	15	72.79 ± 5.65
10	400	60	15	75.73 ± 4.37
11	150	60	60	62.10 ± 2.05
12	400	60	60	68.29 ± 2.76

จากตาราง 4-2 นำมาสร้างกราฟระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยากับ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วจนกววน และเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ ได้ดังรูปที่ 4-1 4-2 4-3 และ 4-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

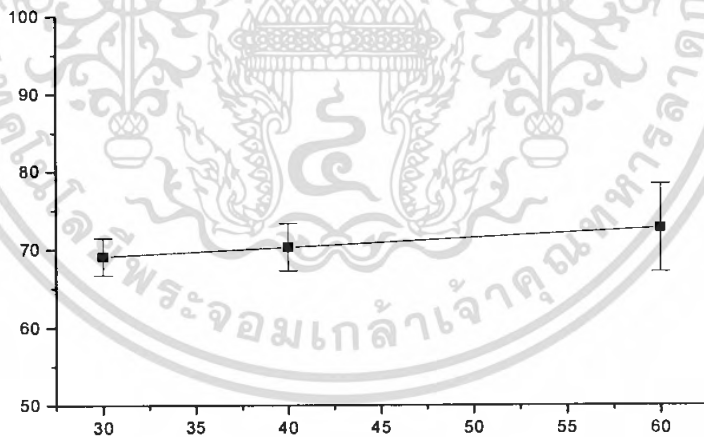
เมทิลเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์)



อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยากับ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วในการปั่นกวน 400 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

เมทิลเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์)

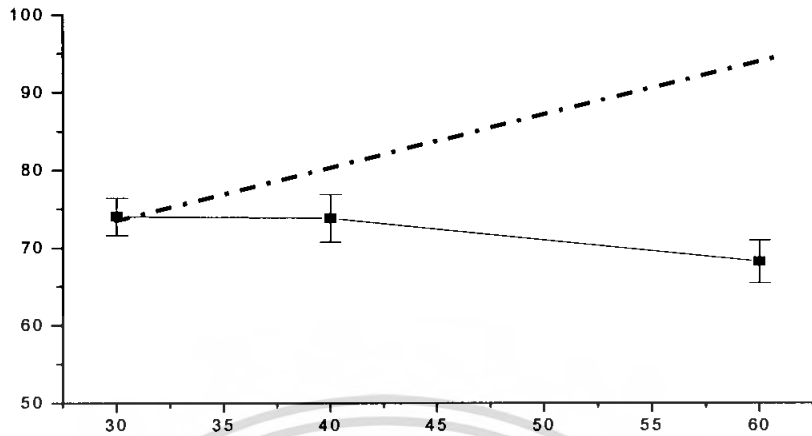


อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยากับ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วในการปั่นกวน 150 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

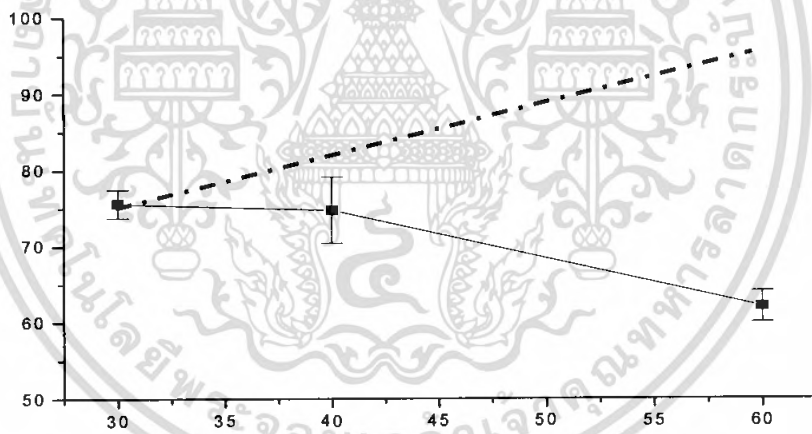
เมทิลเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์)



อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยากับ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วในการปั่นกวน 400 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

เมทิลเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์)



อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยากับ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วในการปั่นกวน 150 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

- - - อ้างอิงตามงานวิจัยของ Georgogianni, K.J. และคณะ [19]
- จากผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4-1 และ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา กับ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วในการปั่นกววน 400 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที และที่ความเร็วในการปั่นกววน 150 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที ตามลำดับ พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (รูปแบบที่ 10) จะได้ผลผลิตมากที่สุด เนื่องจากว่า อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นอย่างมาก ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม อัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้นด้วย [11]

จากรูปที่ 4-3 และ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ที่ความเร็วในการปั่นกววน 400 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และที่ความเร็วในการปั่นกววน 150 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะมีค่าลดลง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (รูปแบบที่ 11) จะได้ผลผลิตน้อยที่สุด เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่เพิ่มมากขึ้น และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั้นใกล้เคียงกับจุดเดือดของเมทานอล (จุดเดือดของเมทานอลคือ 64.6 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ปริมาณเมทานอลระเหยออกไปบางส่วน ดังนั้นปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จึงมีค่าลดลง แต่จากงานวิจัยของ Georgogianni, K.J. และคณะ [19] พบว่า เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 15 นาทีแรก ของการทำปฏิกิริยา

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการปั่นกววน 150 และ 400 รอบต่อนาที มีปริมาณใกล้เคียงกัน เนื่องจากว่าความเร็วในการปั่นกววนมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเล็กน้อย แต่สิ่งที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการปั่นกววน [19] และผลของอุณหภูมิ เป็นสิ่งที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

4.3 ผลการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยให้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

จากผลการทดลองที่ 4.2 พบว่าสภาวะรูปแบบที่ 3, 4 และ 10 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ไม่แตกต่างกัน แต่ในการทดลองได้เลือกรูปแบบที่ 10 ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยให้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที ส่วนรูปแบบที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยไม่ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาหรือเป็นการทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที แต่เราได้ศึกษาผลของอุณหภูมิเพื่อเป็นข้อมูลแสดงแนวโน้มของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ประกอบการวิจัยเท่านั้นและไม่ได้มีจุดประสงค์ในการที่จะใช้อุณหภูมิดังกล่าวทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลแต่อย่างใด โดยรูปแบบการทดลองที่สนใจคือระบบที่ได้รับความร้อนเพื่อจะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำตุ๊กกเก็บความร้อนมาใช้แทนเครื่องให้ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า และก็เป็นที่น่าทึ่งอยู่แล้วจากเหตุผลทางจลศาสตร์ว่าการที่ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ก็ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า

อุณหภูมิห้อง ดังนั้นเราจึงเลือกการทดลองแบบที่ 10 มาเปรียบเทียบผลของการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยให้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

ในการทดลองนี้ใช้น้ำมัน 150 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน (1.5 กรัม) เมทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำมัน 33 มิลลิลิตร นำไปทำปฏิกิริยาที่ความเร็วในการปั่นกวน 400 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที แล้ววิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ได้ผลดังตาราง 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์และสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลที่ให้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับค่ามาตรฐาน [1]

สมบัติที่วิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน	ผลการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	95 %	75.94 %	¹ H NMR
		75.04 %	TGA
ค่าความหนืด	4.0-6.0 cSt	7.447 cSt	ASTM D445
ค่าความเป็นกรด	< 0.8 mg KOH/g	0.63 mg KOH/g	ASTM D664

จากตารางที่ 4-3 พบว่า ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ¹H- Nuclear Magnetic Resonance (¹H-NMR) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังภาคผนวก ก.

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลระหว่างการให้ความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้ากับการให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จากตารางที่ 4-2 และ 4-3 ที่สภาวะความเร็วในการปั่นกวน 400 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที พบว่าได้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ใกล้เคียงกัน คือ 75.73 และ 75.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงว่าสามารถใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์แทนพลังงานไฟฟ้าได้

4.4 ผลการศึกษาแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เมื่อให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และไม่มีการปั่นกวน

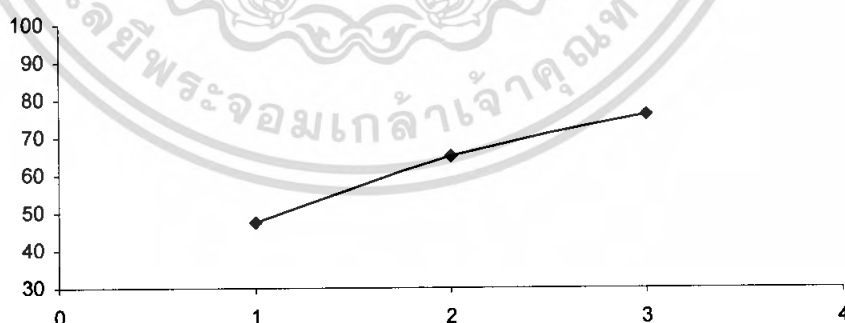
ศึกษาถึงแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่ระยะเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง เมื่อไม่มีการปั่นกวน และให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 55-65 องศาเซลเซียส แล้วนำผลิตภัณฑ์ไปโอดีเซลที่ได้วิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ได้ผลดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซล เมื่อให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในการทำปฏิกิริยาและไม่มีการปั่นกวน

เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์)
1	47.70
2	65.23
3	75.87

จากตารางที่ 4-3 สามารถสร้างกราฟเพื่อแสดงแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังรูปที่ 4-5

เมทิลเอสเทอร์(เปอร์เซ็นต์)



เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)

รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ เมื่อให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และไม่มีการปั่นกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-5 พบว่าเมื่อเวลาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผลผลิตกัมมันต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้น และที่เวลา 3 ชั่วโมง จะได้ผลผลิตกัมมันต์มากที่สุด เนื่องจากว่าระยะเวลาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้นด้วย [19] เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง จากตารางที่ 4-2 และ 4-4 พบว่ามีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ดังตารางที่ 4-5

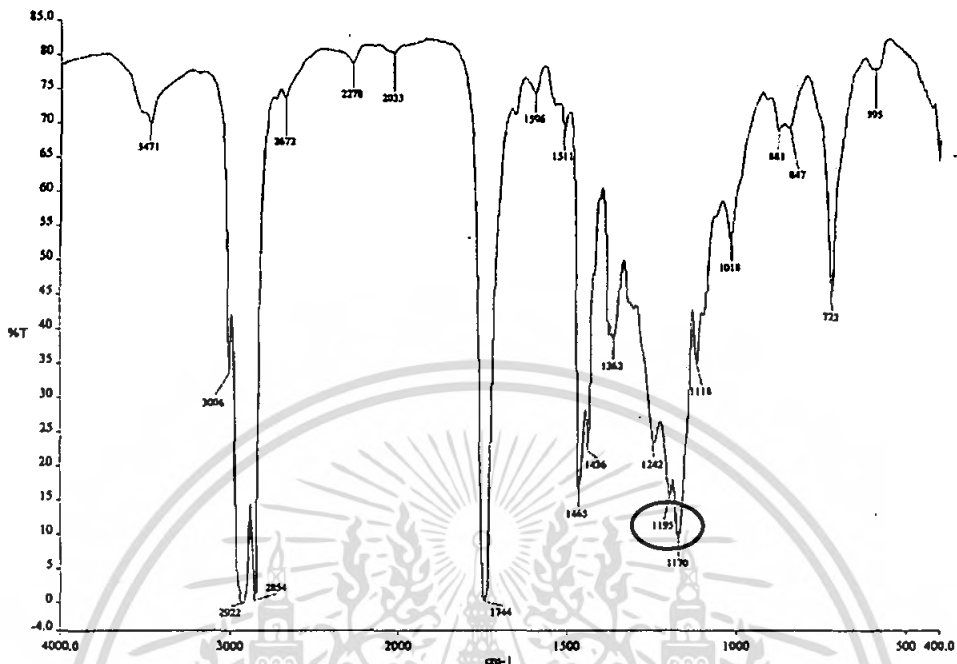
ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบปริมาณเมทิลเอสเทอร์เมื่อมีการปั่นกวน และไม่มีกวนในการทำปฏิกิริยา

ความเร็วในการปั่นกวน (รอบต่อนาที)	เมทิลเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์)
400	68.29
150	62.10
ไม่มีกวน	47.70

จากตารางที่ 4-5 พบว่าความเร็วในการปั่นกวนมีผลต่อปริมาณผลผลิตกัมมันต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้เพียงเล็กน้อย แต่ถ้าไม่มีกวนจะทำให้ผลผลิตกัมมันต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าลดลงมาก แสดงว่าการปั่นกวนมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

4.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไบโอดีเซล

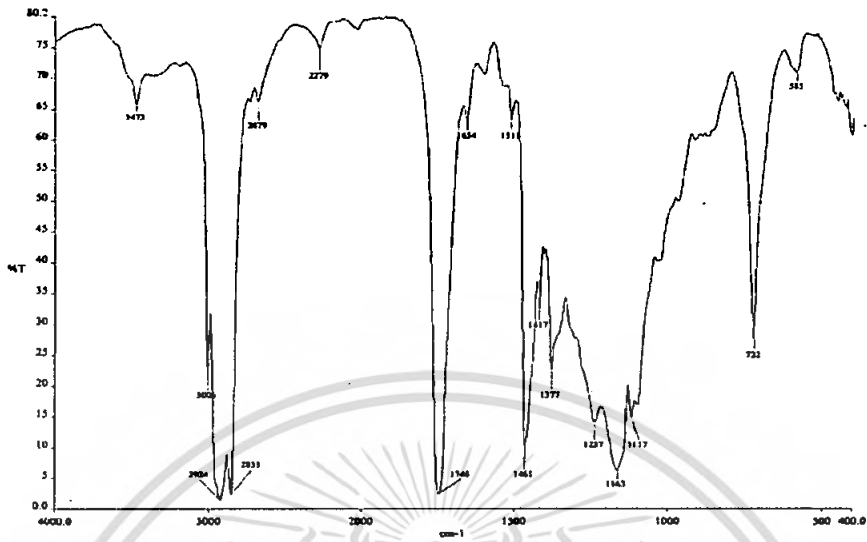
จากการนำผลผลิตกัมมันต์ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR) และ ^1H -Nuclear Magnetic Resonance (^1H -NMR) พบว่าสเปกตรัม FT-IR และ NMR ของไบโอดีเซลที่ให้ความร้อนแก่น้ำมันด้วยพลังงานไฟฟ้า และแสงอาทิตย์ มีลักษณะคล้ายคลึงกันจึงขอยกตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซล ดังรูปที่ 4-6 และ 4-8 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าผลผลิตกัมมันต์ที่ได้เป็นเมทิลเอสเทอร์



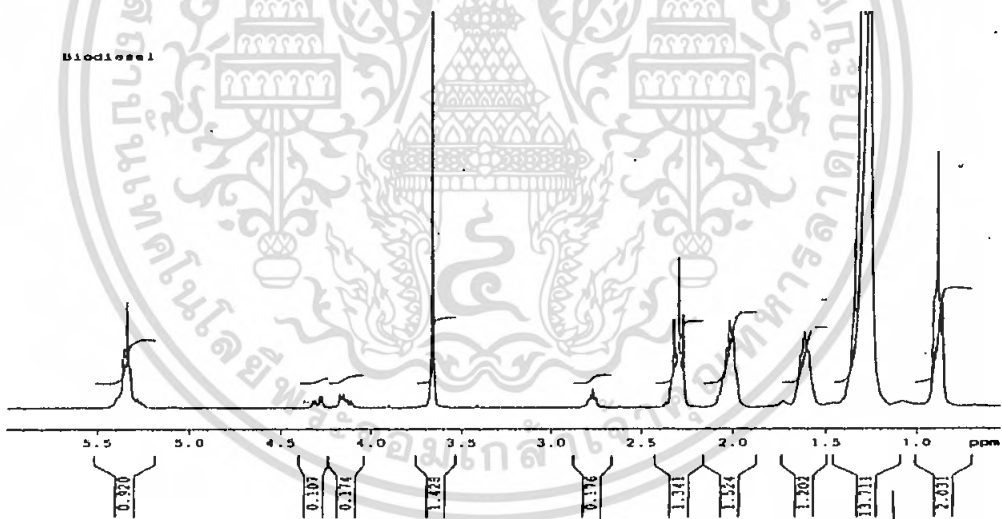
รูปที่ 4-6 FT-IR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

จากรูปที่ 4-6 พบว่ามีหมู่ฟังก์ชัน คือ หมู่ C=O ที่เลขคลื่น 1744 cm^{-1} หมู่ C(=O)-O ที่เลขคลื่น 1242 cm^{-1} และหมู่ $\text{CH}_3\text{-O}$ ที่เลขคลื่น 1195 cm^{-1} [24] ซึ่งเลขคลื่น 1195 cm^{-1} จะไม่พบในน้ำมันก่อนนำมาทดลอง ดังรูปที่ 4-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-7 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันก่อนนำมาทดลอง



รูปที่ 4-8 ^1H -NMR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

จากรูปที่ 4-8 พบสัญญาณที่สำคัญ 3 สัญญาณ คือ สัญญาณที่ 2.3 ppm เป็นสัญญาณโปรตอนจาก $\text{CH}_2\text{-C(=O)-O}$ สัญญาณที่ 3.7 ppm เป็นสัญญาณของโปรตอนจาก $\text{CH}_3\text{-O-C(=O)}$ และสัญญาณที่ 4.1-4.4 เป็นสัญญาณโปรตอนจาก CH_2 ของไตรกลีเซอไรด์ ดังรูปที่ 4-9 ซึ่งสัญญาณ 3.7 ppm จะไม่พบในน้ำมันก่อนนำมาทดลอง ดังรูปที่ 4-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วโดยนำมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) ที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นแรกได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันก่อนนำมาทดลอง แล้วทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล แล้วทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยให้ความร้อนแก่น้ำมันด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จากตู้กักเก็บความร้อน (solar box) พบว่า

5.1.1 น้ำมันพืชที่นำมาทดลอง มีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 2.5% สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้

5.1.2 จากผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว คือ การใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว 150 กรัม ทำปฏิกิริยากับเมทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำมันและใช้ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยควบคุมสภาวะที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที นอกจากนี้ ยังพบว่า การปั่นกวนมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา แต่ไม่ขึ้นกับความเร็วนในการปั่นกวน

5.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล ด้วยเทคนิค นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี และเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

5.1.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไบโอดีเซลด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโกปี ได้แก่ ฟูเรียร์-ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และ นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี สามารถระบุได้ว่าไบโอดีเซลที่สังเคราะห์มีโครงสร้างเป็นเอสเทอร์

5.1.5 ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันที่ให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกับน้ำมันที่ได้จากที่ให้ความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้า และมีผลพลอยได้คือมีความใสมากกว่า

จากการทดลองสามารถสรุปข้อดี – ข้อเสียของการสังเคราะห์ไบโอดีเซลในการให้ความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้า และพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังนี้

ตารางที่ 5-1 ข้อดี – ข้อเสียของการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

ชนิดของพลังงาน	ข้อดี	ข้อเสีย
พลังงานไฟฟ้า	สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย	ต้องเสียค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งในการให้ความร้อนระหว่างการทำปฏิกิริยา การระเหยน้ำในน้ำมัน และผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล
พลังงานแสงอาทิตย์	1.ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานความร้อนทั้งในการให้ความร้อนระหว่างการทำปฏิกิริยา การระเหยน้ำในน้ำมัน และผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล 2.ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้มีควมใสมากกว่า	1.อุณหภูมิไม่แน่นอน ควบคุมได้ยาก 2.อุณหภูมิตกลงอย่างรวดเร็ว จึงเหมาะที่จะทำในช่วงเวลาสั้นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและช่วยลดปัญหาต่างๆที่เกิดจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วได้

5.2.2 สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายและประหยัดพลังงานลงได้ โดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แทนพลังงานไฟฟ้า

5.2.3 ควรทำการศึกษาและปรับปรุงสมบัติของไบโอดีเซลให้ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อภาณี เหลืองนฤมิตชัย. **ไบโอดีเซล (Biodiesel)**. [Online]. Available : www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php (5/10/2006)
- [2] U.S. Environmental Protection Agency. **Biodiesel -vs- Vegetable Oil**. [Online]. Available: www.epa.gov/smartway/growandgo/documents/factsheet-biodiesel.htm (EPA420-F-06-044, October 2006)
- [3] บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน). **ไบโอดีเซลในประเทศไทย**. [Online]. Available : <http://www.bangchak.co.th/th/energyDetail.asp?id=13>
- [4] กองบัญชาการยุทธทางอากาศ กองพลบินที่ 2 กองบินที่ 23 . **ไบโอดีเซล** . [Online]. Available : www.wing23.net/knowledge/gassohol/biodisel.htm (12/04/2007)
- [5] Bara Science. **Biodisel**. [Online]. Available : <http://www.barascientific.com/bscnews/forum/Biodiesel/bidiesel.php>
- [6] **Feasibility Report Small Scale Biodiesel Production**. WMRC (waste management and research center).
- [7] ThongMa. **ไบโอดีเซลคืออะไร**. [Online]. Available : www.thongmabiodiesel.blogspot.com/2007/04/biodiesel-triglyceride.html
- [8] กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. **ไบโอดีเซลน้ำมันเชื้อเพลิงจากพืช**. [Online]. Available : <http://www.thongbiodiesel.blogspot.com>
- [9] Kulkarni, M.G. and Dalai, A.K., **Waste Cooking Oil-An Economical Source for Biodiesel : A Review**, Industrial Engineering Chemistry Resource., Vol.45 (2006) , 2901-2913
- [10] ณัฐพงศ์ เสนาธิบัติ และ วิชาร เกียรติอุบลไพบูล. **การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน**. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 3-15
- [11] Meher, L.C., Sagar, D.Vidya. and Naik, S.N., **Technical aspects of biodiesel production by transesterification : a review**., Renewable and Sustainable Energy Reviews., Vol.10 (2006), 248-268
- [12] โชติวรรณ รัตนเสถียร และ วศินี ชนระวงศ์. **การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและปรับปรุงคุณภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์** ., ภาควิชาเคมี .คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง . 6-20.

- [13] Demirbas, Ayhan., **Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels.**, Fuel , 2007
- [14] สถาบันวิจัยและเทคโนโลยีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. หนังสือชุดปิโตรเลียมน่ารู้. โรงพิมพ์ครุสภาลาดพร้าว. 2542.3-24.
- [15] ชนารัฐ สิงหา วิศวกร. การทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. [Online]. Available : <http://energysaving.cportal.net/Default.aspx?tabid=961>
- [16] พลังงานทดแทน:ไบโอดีเซล(biodiesel). [Online]. Available : www.ipst.ac.th/chemistry/articles11/biodeisel.pdf
- [17] คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีกาญจนบุรี. ไบโอดีเซลจากน้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้ว. [Online]. Available : <http://www.riverkwai.co.th/kaset/bio.html>
- [18] Korus, R.A., Hoffman, D.F., Bam, N., Peterson, C.L. and Drown, D.C., **Transesterification process to manufacture ethyl ester of rape oil**, Department of Chemical engineering University of Idaho, Moscow, ID 83843
- [19] Georgogianni, K.J., Kontominas, M.G., Tegou, E., Avlonitis, D. and Gergis, V., **Biodiesel Production : Reaction and Process Parameters of Alkali-Catalyzed Transesterification of Waste Frying Oils.**, Energy and Fuels., Vol.21 (2007), 3023-3027
- [20] Lebedevas, S. and Vaicekauskas, A., **Use of Waste Fats of Animal and Vegetable Origin for the Production of Biodiesel Fuel Quality, Motor Properties and Emission of Harmful Components .**, Energy and Fuels., Vol.20 (2006), 2274-2280
- [21] Kocak, M.S., Ileri, E. and Utlu, Z., **Experimental Study of Emission Parameters of Biodiesel Fuels Obtained from Canola, Hazelnut and Waste Cooking oils .**, Energy and Fuels, 2007
- [22] Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D.E., Suwannakarn, K., Bruce, D.A. and Goodwin, J.G., **Synthesis of Biodiesel Via Acid Catalysis .**, Industrial Engineering Chemistry Resource., Vol.44 (2005), 5353-5363
- [23] Bunyakiat, K., Makmee, S., Sawangkeaw, R. and Nagamprasertsith, S., **Continuous Production of Biodiesel Via Transesterification from Vegetable Oils in Supercritical Methanol .**, Energy and Fuels ., Vol.20 (2006), 812-817

[24] Pedroso, L.M., Ferreira, J.L., Falcao, J., Simoes, P.N., Simao, A.V. and Portugal, A., **Biodiesel - alternative fuels .**

[25] Gayli, G. and Kusefoglul, S., **Increased yields in biodiesel production from used cooking oils by a two step process : Comparison with one step process by using TGA .**,Fuel Processing Technology., Vol.89 (2008), 118-122

[26] **Oil price increases since 2003.** [Online] . Available :

[http:// en.wikipedia.org/wiki/Oil_price_increases_of_2004-2006](http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_price_increases_of_2004-2006)

[27] **Order Biodiesel 2020: A Global Market Survey, Market Survey, Case Studies and Forecasts ,** Emerging Markets. [Online]. Available :

<http://www.emerging-markets.com/biodiesel/press.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณ

ก-1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เตรียมสารละลาย NaOH 0.25 นอร์มอล โดยชั่ง NaOH 10 กรัม ละลายน้ำ 1000 มิลลิลิตร ไทเทรตกับสารละลาย KHP 20 มิลลิลิตร

น้ำหนัก KHP (กรัม)	KHP (นอร์มอล)	NaOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)	NaOH (นอร์มอล)
1.0200	0.2497	20.60	0.2424
1.0301	0.2522	20.70	0.2437
1.0200	0.2497	20.60	0.2424
เฉลี่ย			0.2429

ตัวอย่างการคำนวณ

- การหาความเข้มข้นของสารละลาย KHP

$$\text{จาก } g/Mw = NV/1000$$

$$1.0200/204.22 = N(20)/1000$$

$$N = 0.2497 \text{ นอร์มอล}$$

- การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH

$$\text{Mol NaOH} = \text{mol KHP}$$

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$N_1 (20.60) = (0.2497) (20)$$

$$N_1 = 0.2424 \text{ นอร์มอล}$$

ความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH = $(0.2424 + 0.2437 + 0.2424) / 3 = 0.2429$ นอร์มอล

ก-2 การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	NaOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)	กรดไขมันอิสระ (%)	
		ในรูปของลอริก	ในรูปของปาล์มเมติก
7.02	2.20	1.52	1.95
7.08	2.15	1.48	1.89
7.04	2.30	1.59	2.03
เฉลี่ย		1.53	1.96

ตัวอย่างการคำนวณ

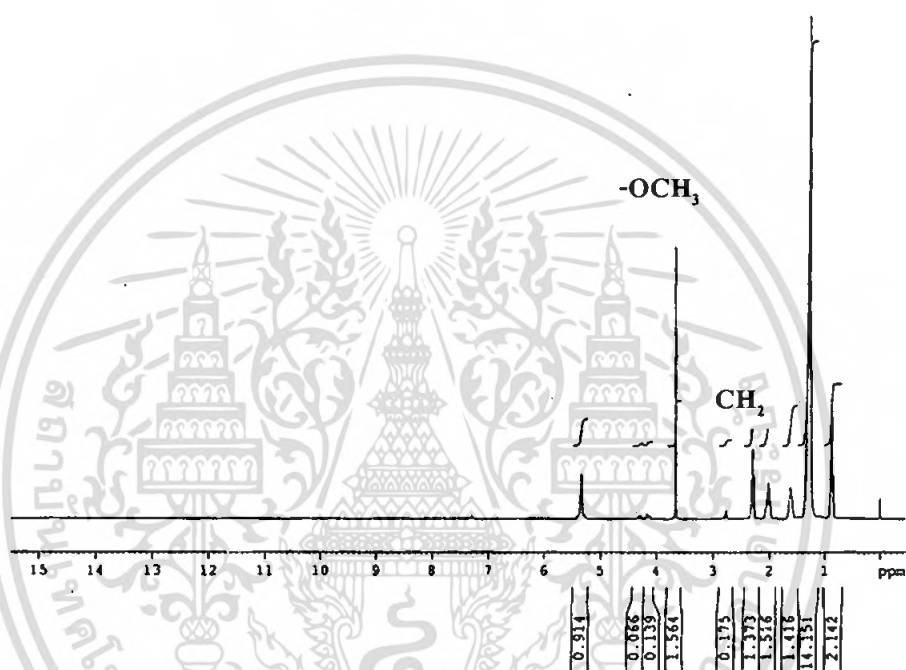
- กรดไขมันอิสระในรูปของลอริก(%) = $(\text{ปริมาณ NaOH} \times N \times 20.0) / \text{น้ำหนักน้ำมัน}$
= $(2.20 \times 0.2429 \times 20.0) / 7.02$
= 1.52 %
เฉลี่ย = $(1.52+1.48+1.59) / 3$
= 1.53 %
- กรดไขมันอิสระในรูปของปาล์มเมติก(%) = $(\text{ปริมาณ NaOH} \times N \times 25.6) / \text{น้ำหนักน้ำมัน}$
= $(2.20 \times 0.2429 \times 25.6) / 7.02$
= 1.95 %
เฉลี่ย = $(1.95+1.89+2.03) / 3$
= 1.96 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3 การหาปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ [11]

เทคนิค $^1\text{H-NMR}$ เป็นการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ (% Yield) ของเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์ ซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก

|



ตัวอย่างการคำนวณ

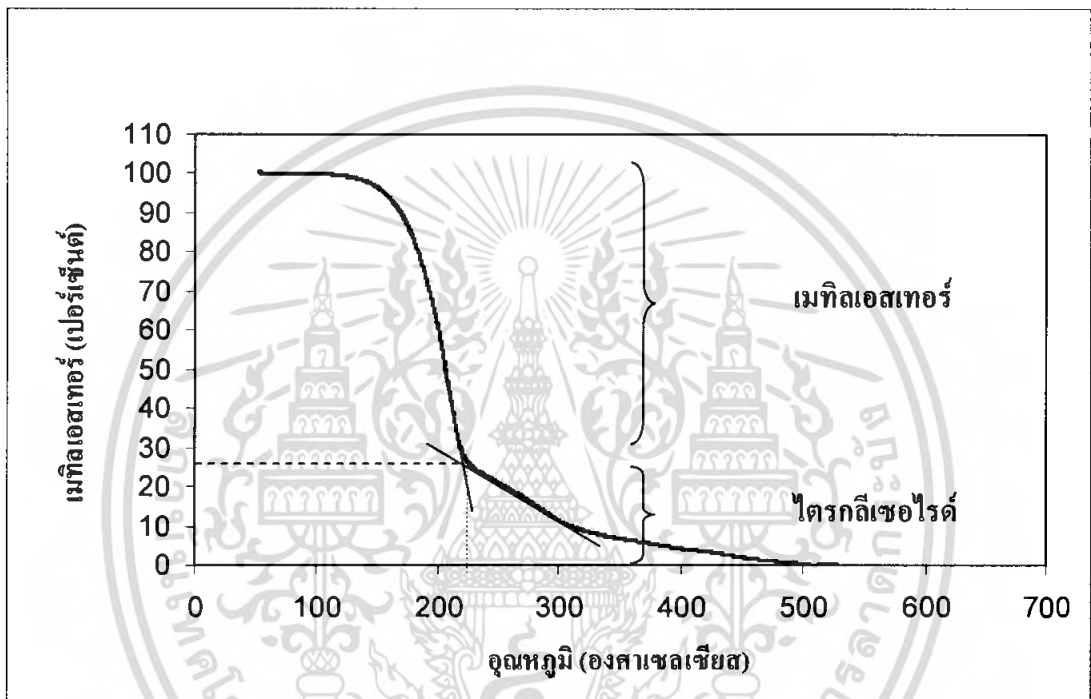
$$\begin{aligned}
 \% \text{เมทิลเอสเทอร์} &= \frac{100 \times (2 \times \text{พื้นที่ใต้พีคของ } -\text{OCH}_3)}{3 \times \text{พื้นที่ใต้พีคของ } \alpha\text{-CH}_2} \\
 &= \frac{100 \times (2 \times 1.564)}{3 \times 1.373} \\
 &= 75.94 \%
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-4 การหาปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค TGA [25]

เทคนิค TGA เป็นการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสารตัวอย่าง โดยศึกษาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงตามโปรแกรมอุณหภูมิ

ในการทดลองตั้งโปรแกรมอุณหภูมิในช่วง 50-900 °C วิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ได้ดังกราฟ



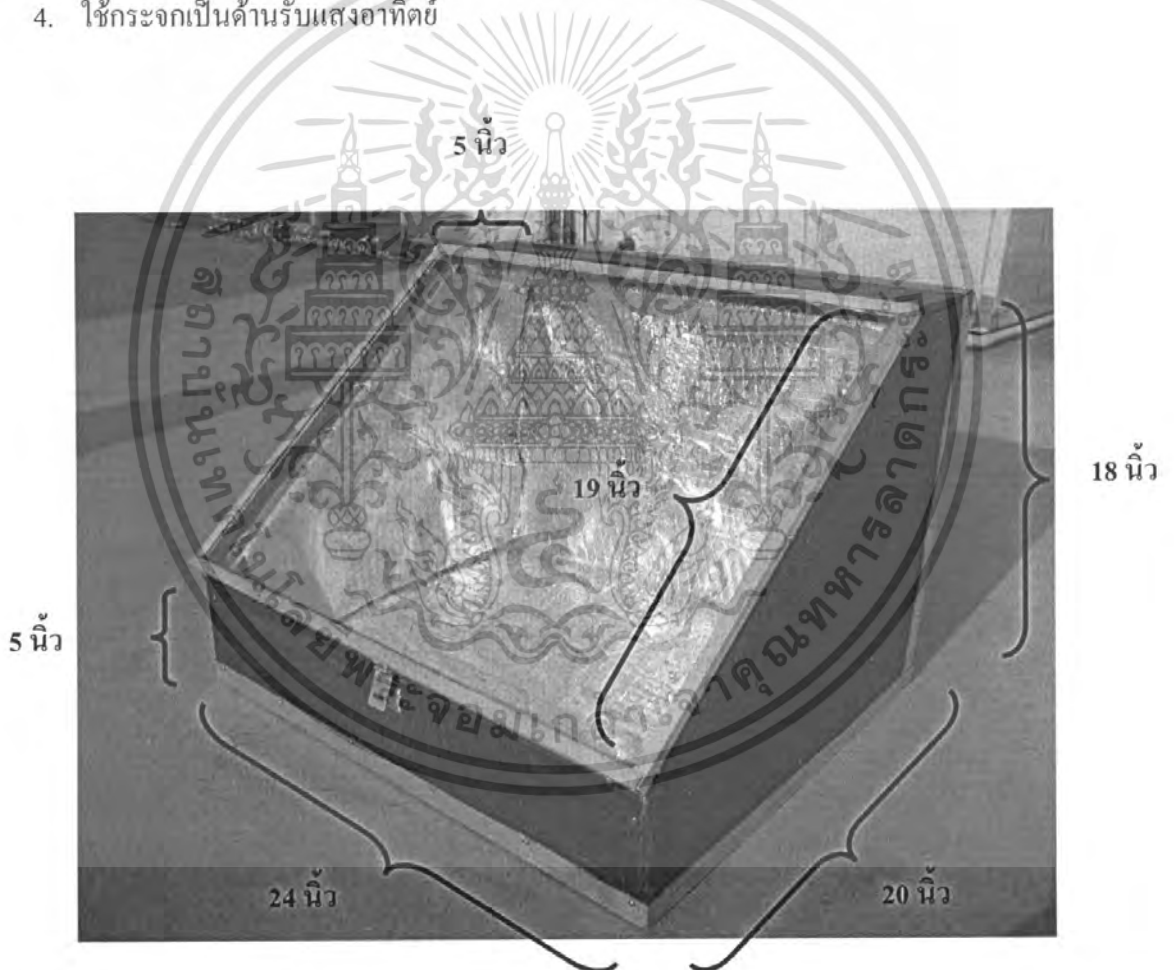
จากกราฟ พบว่าที่อุณหภูมิ 50- 100 °C กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงความชันเป็นศูนย์แสดงว่า ไม่มีน้ำปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ที่อุณหภูมิ 100 - 220 °C เส้นกราฟจะมีความชันลดลง ซึ่งเป็นการสูญเสียน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ และที่ 220-500 °C เป็นการสูญเสียน้ำหนักของไตรกลีเซอไรด์ที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

เมื่อลากเส้นตัดระหว่างจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ประมาณ 220 °C จะเห็นได้ว่ามีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 75.04 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ข. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ข-1 การประกอบตุ๊กกเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar box)

1. เตรียมไม้อัดหนา 1 ซม. , โฟมโพลีสไตรีนหนา 2 ซม. , กระจกใสหนา 2.5 มม. , อะลูมิเนียมฟอยด์
2. นำไม้อัดมาตัดแล้วประกอบตามอัตราส่วนดังรูป ข-1 แล้วทาด้วยสีดำ
3. ภายในกล่องบุด้วยโฟมโพลีสไตรีนแล้วหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์
4. ใช้กระจกเป็นด้านรับแสงอาทิตย์



รูปที่ ข-1 ตุ๊กกเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar box)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 วิธีการใช้เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) Perkin Elmer รุ่น SPECTRUM GX

1. เปิดเครื่อง UPS และเครื่อง computer
2. เข้า spectrum
3. หน้าจอจะขึ้น login name ไม่ต้องใส่ให้คลิก OK
4. เครื่องจะขึ้น READY
5. เช็ก ENERGY
6. การ ALIGN ต้องแน่ใจไม่มี SAMPLE อยู่ในช่องใส่ CELL
7. ก่อนการ run sample ควร run standard polystyrene (กำหนด rang start 900.0 End 20)
8. หลังจากนั้น run sample
9. หลังจาก Scan ได้ Spectrum คลิก Peaks จะมีตัวเลขบอกความยาวคลื่นในแต่ละ Peak
10. เมื่อเสร็จสิ้นการวัดแล้ว ให้นำตัวอย่างออกจากช่อง CELL ของเครื่อง แล้วปิดหน้าต่าง computer



รูปที่ ข-2 เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) Perkin Elmer รุ่น SPECTRUM GX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-3 วิธีการใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอนาไลเซอร์ (TGA) Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA

1. เปิดวาล์วที่ถังแก๊ส N_2 และถัง Air
2. เปิดวาล์วสำหรับให้แก๊สเข้าเครื่อง TGA โดยดึงฝาปิดปรับไปที่ความดัน 20 Psi สำหรับ purge ตัวอย่าง และ 40 Psi สำหรับ purge ระบบ เสร็จแล้วดันตัวฝาปิด
3. เปิดเครื่อง TGA และเครื่องคอมพิวเตอร์
4. ตั้งค่าสภาวะที่ใช้ในการวัดตัวอย่าง ดังนี้ อุณหภูมิ, อัตราเร็วของการเพิ่มอุณหภูมิ (องศา/นาที)
5. ใส่สารตัวอย่างลงใน pan โดยใช้ฐานรอง pan ไม้ (ใส่น้ำหนักสารไม่เกิน 100 มิลลิกรัม)
6. คลิกที่รูป Raise Furnace ยกเตาเผาขึ้น
7. คลิกที่รูป go to temperature รอจนอุณหภูมิถึง Initial Temp.
8. คลิกที่รูป Get sample weight
9. คลิกที่รูป Star/ Stop a Methode เพื่อที่จะสั่งให้อุณหภูมิขึ้นตามต้องการ

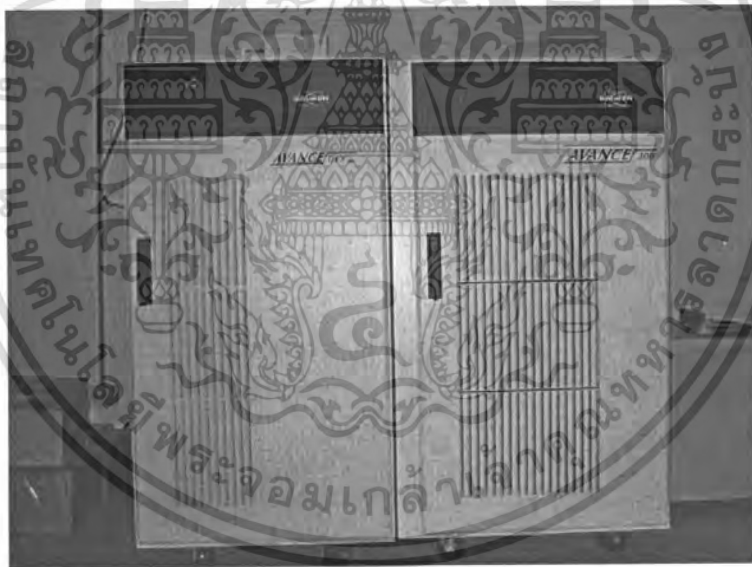


รูปที่ ข-3 เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอนาไลเซอร์ (TGA) Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-4 วิธีการใช้เครื่องทรานส์ฟอร์ม์นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (NMR) BRUKER รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ต

1. calibrate เครื่อง NMR ด้วยสารละลาย TMS
2. เตรียมสารตัวอย่าง นำสารตัวอย่างใส่หลอด NMR ที่มี Ø 5 mm
3. ใช้สารละลาย CDCl_3 เป็นตัวทำละลาย
4. นำหลอดสารตัวอย่างใส่เข้าเครื่อง NMR โดยที่สเปกตรัม ถูกบันทึกด้วย เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม์นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ Bruker รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ต สารตัวอย่างถูกละลายโดยใช้ตัวทำละลาย CDCl_3 โดยมี TMS เป็นสารมาตรฐาน สเปกตรัม ^1H NMR ปรากฏตำแหน่งสัญญาณ โปรตอนของ CHCl_3 ที่ 87.26 ppm

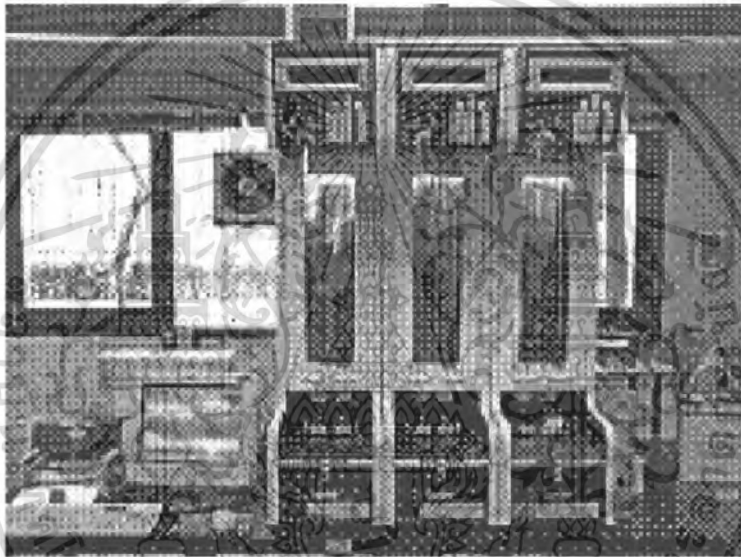


รูปที่ ข-4 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม์นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ Bruker รุ่น Avance DPX 300 ความถี่ 300 เมกะเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-5 วิธีการใช้เครื่องวัดความหนืด (fully-automatic digital kinematic viscomatic) cannon Instrument company รุ่น CAV-2000 series

1. เปิดเครื่อง ตั้งอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส
2. ใส่สารละลายตัวอย่างประมาณ 3/4 ของหลอดแก้ว
3. ดันหลอดสารตัวอย่างให้ตรงกับเครื่อง เครื่องจะทำการดูดสารขึ้นไปเพื่อวัดค่า
4. เครื่องจะทำการบันทึกค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

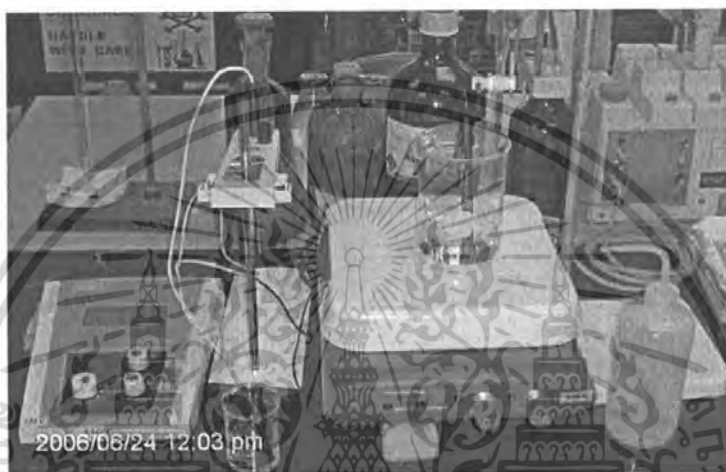


รูปที่ ข-5 เครื่องวัดความหนืด (fully-automatic digital kinematic viscomatic) cannon Instrument company รุ่น CAV-2000 series

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-6 วิธีการใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรด (Total Acid Number) Metrohm company รุ่น 703 Ti Stand

1. ชั่งสารตัวอย่างประมาณ 20 กรัม แล้วบันทึกค่าลงในเครื่องวัดค่าความเป็นกรด
2. เติมสารละลายเอทานอล และอีเทอร์
3. วางบนเครื่องวัดค่าความเป็นกรด ประมาณ 30 นาที



รูปที่ ข-6 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด (Total Acid Number) Metrohm company รุ่น 703 Ti Stand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

มาตรฐานอุตสาหกรรม

ก-1 Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration

- Scope

1. This test method covers procedures for the determination of acidic constituents in petroleum products and lubricants soluble or nearly soluble in mixtures of toluene and propane- 2-ol. It is applicable for the determination of acids whose dissociation constants in water are larger than 10^{-9} ; extremely weak acids whose dissociation constants are smaller than 10^{-9} do not interfere. Salts react if their hydrolysis constants are larger than 10^{-9} .

2. The test method may be used to indicate relative changes that occur in an oil during use under oxidizing conditions regardless of the color or other properties of the resulting oil. Although the titration is made under definite equilibrium conditions, the test method is not intended to measure an absolute acidic property that can be used to predict performance of an oil under service conditions. No general relationship between bearing corrosion and acid number is known.

3. The values stated in acceptable SI units are to be regarded as the standard.

4. This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

- Referenced Documents

- ASTM Standards:

D 974 Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration

D 1193 Specification for Reagent Water

D 3339 Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Semi-Micro Color Indicator Titration

- Terminology

1. Definitions

2. acid number, n —the quantity of base, expressed as milligrams of potassium hydroxide per gram of sample, required to titrate a sample to a specified end point.

3. Discussion—This test method expresses the quantity of base as milligrams of potassium hydroxide per gram of sample, that is required to titrate a sample in the solvent from its initial meter reading in millivolts to a meter reading in millivolts corresponding to a freshly prepared non-aqueous basic buffer solution or a well-defined inflection point as specified in the test method.

4. Discussion—This test method provides additional information. The quantity of base, expressed as milligrams of potassium hydroxide per gram of sample, required to titrate a sample in the solvent from its initial meter reading in millivolts to a meter reading in millivolts corresponding to a freshly prepared nonaqueous acidic buffer solution or a well-defined inflection point as specified in the test method shall be reported as the strong acid number.

5. Discussion—The causes and effects of the so-called strong acids and the causes and effects of the other acids can be very significantly different. Therefore, the user of this test method shall differentiate and report the two, when they are found.

- Summary of Test Method

1. The sample is dissolved in a mixture of toluene and propan-2-ol containing a small amount of water and titrated potentiometrically with alcoholic potassium hydroxide using a glass indicating electrode and a calomel reference electrode. The meter readings are plotted manually or automatically against the respective volumes of titrating solution and the end points are taken only at well defined inflections in the resulting curve. When no definite inflections are obtained, end points are taken at meter readings corresponding to those found for freshly prepared nonaqueous acidic and basic buffer solutions.

- Apparatus

1. The cell assembly used for the potentiometric titration is shown in Fig. 1.

2. Manual Titration Apparatus

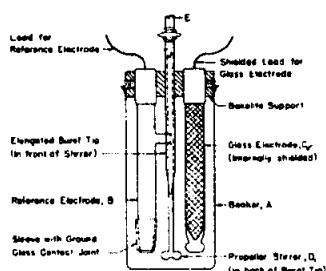


FIG. 1 Cell for Potentiometric Titration

2.1 *Meter*, a voltmeter or a potentiometer that will operate with an accuracy of ± 0.005 V and a sensitivity of ± 0.002 V over a range of at least ± 0.5 V when the meter is used with the electrodes specified in 6.1.2 and 6.1.3 and when the resistance between the electrodes falls within the range from 0.2 to 20 M Ω . The meter shall be protected from stray electrostatic fields so that no permanent change in the meter readings over the entire operating range is produced by touching, with a grounded lead, any part of the exposed surface of the glass electrode, the glass electrode lead, the titration stand, or the meter.

- Procedure for Acid Number and Strong Acid Number

1. Into a 250-mL beaker or a suitable titration vessel, introduce a weighed quantity of sample as prescribed in Table 1 and add 125 mL of titration solvent. Prepare the electrodes as directed. Place the beaker or titration vessel on the titration stand and adjust its position so that the electrodes are about half immersed. Start the stirrer, and stir throughout the determination at a rate sufficient to produce vigorous agitation without spattering and without stirring air into the solution. If feasible, adjust the meter so that it reads in the upper part of the millivolt scale, for example 700 mV.

2. Select the right burette, fill with the 0.1-mol/mL alcoholic KOH solution, and place the burette in position on the titration assembly, ensuring that the tip is immersed about 25 mm in the liquid in titration vessel. Record the initial burette and meter (cell potential) readings.

3. Manual Titration Method

3.1 Add suitable small portions of 0.1-mol/L alcoholic KOH solution and wait until a constant potential has been established, record the burette and meter readings.

3.2 At the start of the titration and in any subsequent regions (inflections) where 0.1 mL of the 0.1-mol/L KOH solution consistently produces a total change of more than 30 mV in the cell potential, add 0.05-mL portions.

3.3 In the intermediate regions (plateaux) where 0.1 mL of 0.1-mol/L alcoholic KOH changes the cell potential less than 30 mV, add larger portions sufficient to produce a total potential change approximately equal to, but not greater than 30 mV.

3.4 Titrate in this manner until the potential changes less than 5 mV/0.1 mL of KOH and the cell potential indicates that the solution is more basic than the freshly prepared nonaqueous basic buffer.

3.5 Remove the titration solution, rinse the electrodes and burette tip with the titration solvent, then with propan-2-ol and finally with reagent grade water. Immerse the electrodes in water for at least 5 min before using for another titration to restore the aqueous gel layer of the glass electrode. Store the electrodes in reagent water when not in use. If the electrodes are found to be dirty and contaminated, proceed

4. Automatic Titration Method

4.1 Adjust the apparatus in accordance with the manufacturer's instructions to comply with the potential equilibrium mode requirements established for the manual titration as explained in 3.1 or to provide a variable continuous delivery rate mode of titration of less than 0.2 mL/min during the titration and preferably 0.05 mL/min through the region of inflections and at the end point corresponding to that found for the freshly prepared standard nonaqueous basic buffer solution.

4.2 Proceed with the automatic titration and record potentiometric curves or derivative curves as the case may be.

4.3 Titrate in this manner with the 0.1-mol/L alcoholic KOH solution until the potential becomes constant, for example, changing less than 5 mV/0.1 mL (automatic end point) or until the potential reading indicates that the solution is more basic than the freshly prepared nonaqueous basic buffer solution (preselected end point).

4.4 On completion of the titration, rinse the electrodes and burette tip with the titration solvent, then with propan-2-ol, and finally with reagent grade water. Keep the electrodes immersed in water for at least 5 min before reusing for another titration to restore the aqueous gel layer of the glass electrode. If electrodes are found dirty and contaminated proceed. Store the electrodes in reagent grade water when not in use.

5 Blanks

5.1 For each set of samples, make a blank titration of 125 mL of the titration solvent.

For manual titration, add 0.1-mol/L alcoholic KOH solution in 0.05-mL increments, waiting between each addition until a constant cell potential is reached. Record the meter and burette readings when the former becomes constant after each increment. For automatic titration proceed as in 4 .

5.2 For each set of samples, make a blank titration of 125 mL of titration solvent, adding 0.1 mol/L alcoholic HCl solution in 0.05-mL increments in a manner comparable to that specified in 5.1.

- Calculation

1. Manual Titration—Plot the volumes of the 0.1-mol/L alcoholic KOH solution added against the corresponding meter readings (see Fig. 2). Mark as an end point, only well-defined inflection point that is closest to the cell voltage corresponding to that obtained with the freshly prepared nonaqueous acidic and basic buffers. If inflections are illdefined or no inflection appears (see Fig. 2, Curve B), mark the end point at the meter reading corresponding to that obtained with the appropriate freshly prepared nonaqueous buffer.

1.1 For all acid titrations on used oils, mark as an end point, the point on the curve that corresponds to the freshly prepared nonaqueous basic buffer end point.

2 Automatic Titration Method—Mark the end points on the curves obtained in 4, in the same way as for the manual titration method.

3 Method of Calculation—The method in 3.1 is applicable to both manual and automatic methods.

3.1 Calculate the acid number and strong acid number as

follows:

$$\text{Acid number, mg KOH/g} = (A - B) \times M \times 56.1/W$$

$$\text{Strong acid number, mg KOH/g} = (CM + Dm) \times 56.1/W$$

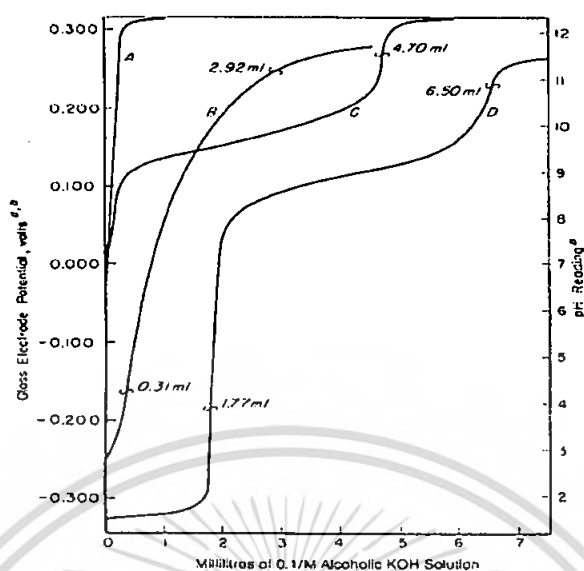


FIG. 2 Illustrative Titration Curves

Curve A—Blank on 125 mL of titration solvent. Curve B—10.00 g of used crankcase oil plus 125 mL of titration solvent. Since no sharp inflections are apparent, the end points are chosen at the meter readings obtained with the two nonaqueous buffer solutions. Curve C—10.00 g of oil containing a weak acid plus 125 mL of titration solvent. The end point is chosen as the point at which the curve is most nearly vertical. Curve D—10.00 g of oil containing weak and strong acids plus 125 mL of titration solvent. The end points are chosen as the points at which the curve is most nearly vertical.

where:

A = alcoholic KOH solution used to titrate sample to end point that occurs at the meter reading of the inflection point closest to the meter reading corresponding to basic nonaqueous buffer, or in case of ill-defined or no inflection point, to the meter reading corresponding to the basic nonaqueous buffer, mL,

B = volume corresponding to A for blank titration, mL,

M = concentration of alcoholic KOH solution, mol/L,

m = concentration of alcoholic HCl solution, mol/L,

W = sample, mass, g,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓-2 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (the Calculation of Dynamic Viscosity)

- Scope

1. This test method specifies a procedure for the determination of the kinematic viscosity, V , of liquid petroleum products, both transparent and opaque, by measuring the time for a volume of liquid to flow under gravity through a calibrated glass capillary viscometer. The dynamic viscosity, η , can be obtained by multiplying the kinematic viscosity V , by the density, ρ , of the liquid.

2. The result obtained from this test method is dependent upon the behavior of the sample and is intended for application to liquids for which primarily the shear stress and shear rates are proportional (Newtonian flow behavior). If, however, the viscosity varies significantly with the rate of shear, different results may be obtained from viscometers of different capillary diameters. The procedure and precision values for residual fuel oils, which under some conditions exhibit non-Newtonian behavior, have been included.

3. The range of kinematic viscosities covered by this test method is from 0.2 to 300 000 mm²/s at all temperatures. The precision has only been determined for those materials, kinematic viscosity ranges and temperatures as shown in the footnotes to the precision section.

4. The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

5. This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

- Referenced Documents

1. ASTM Standards

D 446 Specifications and Operating Instructions for Glass Capillary Kinematic Viscometers

D 1193 Specification for Reagent Water

D 1217 Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Liquids by Bingham Pycnometer

D 1480 Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Viscous Materials by Bingham Pycnometer

D 1481 Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Viscous Materials by Lipkin Bicapillary Pycnometer

D 2170 Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens)

D 2171 Test Method for Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer

D 6074 Guide for Characterizing Hydrocarbon Lubricant Base Oils

E 1 Specification for ASTM Thermometers

E 77 Test Method for the Inspection and Verification of Thermometers

2. ISO Standards:

ISO Guide 25—General Requirements for the Calibration and Testing Laboratories

ISO 3104 Petroleum Products—Transparent and Opaque Liquids—Determination of Kinematic Viscosity and Calculation of Dynamic Viscosity
ISO 3105 Glass Capillary Kinematic Viscometers—Specification and Operating Instructions

ISO 3696 Water for Analytical Laboratory Use— Specification and Test Methods

ISO 9000 Quality Management and Quality Assurance Standards—Guidelines for Selection and Use

- Terminology

1. Definitions of Terms Specific to This Standard

1.1 *automated viscometer, n*—apparatus which, in part or in whole, has mechanized one or more of the procedural steps indicated in 10 or 11 without changing the principle or technique of the basic manual apparatus. The essential elements of the apparatus in respect to dimensions, design and operational characteristics are not changed. The measured result from the apparatus does not require correction to bring it into correlation with the basic manual apparatus. The precision of the apparatus shall be of statistical equivalence to, or better (has less variability) than the manual apparatus.

1.1.1 Discussion—Automated viscometers have the capability to mimic some operation of the test method while reducing or removing the need for manual intervention or interpretation. Apparatus which determine kinematic viscosity by physical techniques that are different than those used in this test method are not considered to be Automated Viscometers.

1.2 density, *n*—the mass per unit volume of a substance at a given temperature.

1.3 *dynamic viscosity, n*—the ratio between the applied shear stress and rate of shear of a liquid.

1.3.1 Discussion—It is sometimes called the coefficient of dynamic viscosity or, simply, viscosity. Thus dynamic viscosity is a measure of the resistance to flow or deformation of a liquid.

1.3.2 Discussion—The term dynamic viscosity can also be used in a different context to denote a frequency-dependent quantity in which shear stress and shear rate have a sinusoidal time dependence.

1.4 kinematic viscosity, ν —the resistance to flow of a fluid under gravity.

1.4.1 Discussion—For gravity flow under a given hydrostatic head, the pressure head of a liquid is proportional to its density, ρ . For any particular viscometer, the time of flow of a fixed volume of fluid is directly proportional to its kinematic viscosity, ν , where $\nu = \eta/\rho$, and h is the dynamic viscosity coefficient.

- Summary of Test Method

The time is measured for a fixed volume of liquid to flow under gravity through the capillary of a calibrated viscometer under a reproducible driving head and at a closely controlled and known temperature. The kinematic viscosity is the product of the measured flow time and the calibration constant of the viscometer.

- Significance and Use

Many petroleum products, and some non-petroleum materials, are used as lubricants, and the correct operation of the equipment depends upon the appropriate viscosity of the liquid being used. In addition, the viscosity of many petroleum fuels is important for the estimation of optimum storage, handling, and operational conditions. Thus, the accurate determination of viscosity is essential to many product specifications.

- Apparatus

1. Viscometers—Use only calibrated viscometers of the glass capillary type, capable of being used to determine kinematic viscosity within the limits of the precision given in the precision section.

1.1 *Automation Viscometers*—Automated apparatus may be used as long as they mimic the physical conditions, operations or processes of the manual apparatus they replace. Any viscometer, temperature measuring device, temperature control, temperature controlled bath or timing device incorporated in the automated apparatus shall conform to the specification for these components as

stated in 6 of this test method. The automated apparatus shall be capable of determining kinematic viscosity of a certified reference material within the limits stated

- Calibration and Verification

1. Viscometers—Use only calibrated viscometers, thermometers, and timers as described

2. Certified Viscosity Reference Standards—These are for use as confirmatory checks on the procedure in the laboratory.

2.1 If the determined kinematic viscosity does not agree within $\pm 0.35\%$ of the certified value, recheck each step in the procedure, including thermometer and viscometer calibration, to locate the source of error. Annex A1 gives details of standards available.

2.2 The most common sources of error are caused by particles of dust lodged in the capillary bore and temperature measurement errors. It must be appreciated that a correct result obtained on a standard oil does not preclude the possibility of a counterbalancing combination of the possible sources of error.

3. The calibration constant, C , is dependent upon the gravitational acceleration at the place of calibration and this must, therefore, be supplied by the standardization laboratory together with the instrument constant. Where the acceleration of gravity, g , differs by more than 0.1% , correct the calibration constant as follows:

$$C_2 = (g_2 / g_1) \times C_1$$

- General Procedure for Kinematic Viscosity

1. Adjust and maintain the viscometer bath at the required test temperature within the limits given taking account of the conditions given in Annex A2 and of the corrections supplied on the certificates of calibration for the thermometers.

1.1 Thermometers shall be held in an upright position under the same conditions of immersion as when calibrated.

1.2 In order to obtain the most reliable temperature measurement, it is recommended that two thermometers with valid calibration certificates be used.

1.3 They should be viewed with a lens assembly giving approximately five times magnification and be arranged to eliminate parallax errors.

2. Select a clean, dry, calibrated viscometer having a range covering the estimated kinematic viscosity (that is, a wide capillary for a very viscous liquid and a narrower capillary for a more fluid liquid). The flow time shall not be less than 200 s or the longer time noted in Specifications D 446.

2.1 The specific details of operation vary for the different types of viscometers listed in Table A1.1. The operating instructions for the different types of viscometers are given in Specifications D 446

2.2 When the test temperature is below the dew point, fill the viscometer in the normal manner as required in 10.1. To ensure that moisture does not condense or freeze on the walls of the capillary, draw the test portion into the working capillary and timing bulb, place rubber stoppers into the tubes to hold the test portion in place, and insert the viscometer into the bath. After insertion, allow the viscometer to reach bath temperature, and then remove the stoppers. When performing manual viscosity determinations, do not use those viscometers which cannot be removed from the constant temperature bath for charging the sample portion.

2.2.1 The use of loosely packed drying tubes affixed to the open ends of the viscometer is permitted, but not required. If used, the drying tubes shall fit the design of the viscometer and not restrict the flow of the sample by pressures created in the instrument.

2.3 Viscometers used for silicone fluids, fluorocarbons, and other liquids which are difficult to remove by the use of a cleaning agent, shall be reserved for the exclusive use of those fluids except during their calibration. Subject such viscometers to calibration checks at frequent intervals. The solvent washings from these viscometers shall not be used for the cleaning of other viscometers.