

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วโดยกระบวนการ
ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและปรับปรุงคุณภาพด้วย
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



T107834



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....107834
วัน,เดือน,ปี...1.4 พ.ค. 2553

b.....12212143
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Production of Biodiesel from Waste Frying Oil by Transesterification
Process and Modifying by Hydrogen Peroxide**



**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 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วโดยกระบวนการ
ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและปรับปรุงคุณภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

นักศึกษา นางสาวโชติวรรณ รัตนเสถียร
นางสาวศินี ชนะวงศ์

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร.พัชณี เจริญยิ่ง ศิริณี ใจดี
กรรมการ ดร.ธิเบศ รุ่งโรจน์ชัยพร M S
กรรมการ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วโดยกระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและปรับปรุงคุณภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
นักศึกษา	นางสาวโชติวรรณ รัตนเสถียร นางสาววสินี ชนะวงศ์
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว และเมทานอล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณเมทานอล และเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา โดยนำน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว ไปทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้วจึงนำเอาสารละลายมาตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้น ชั้นบนจะเป็นชั้นของเมทิลเอสเทอร์ ส่วนชั้นล่างเป็นชั้นของกลีเซอรอลจะถูกแยกไป หลังจากนั้นปรับปรุงคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลที่ได้ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แล้วทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของไบโอดีเซลเปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ ค่าความร้อน จุดวาบไฟ ค่าความหนืด ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน

จากการทดลองพบว่าสภาวะในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ให้ได้ปริมาณมากที่สุด จะใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1 ต่อ 6 และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0 กรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเมื่อทำการศึกษาคูสมบัติต่าง ๆ ของไบโอดีเซลเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าไบโอดีเซลทั้งสองชนิดมีค่าคุณสมบัติต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้ไบโอดีเซลที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าความร้อนและเลขไอโอดีนลดลงเล็กน้อย แต่ค่าความหนืดและค่าความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความถ่วงจำเพาะไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Production of Biodiesel from Waste Frying Oil by Transesterification Process and Modifying by Hydrogen Peroxide

Name Miss Chotiwan Rattanasatien
Miss Vasinee Chanawongse

Department Chemistry

Program Industrial Chemistry

Academic Year 2006

Special project advisor Dr. Amnat Permsubscul

ABSTRACT

A study was performed to find the best conditions for the transesterification reaction of waste frying oil by means of methanol using sodium hydroxide (NaOH) as catalyst at 60 °C. The operation variables are quantity of NaOH, oil/methanol molar ratio and reaction time. First, methanol were applied into waste frying oil in the presence of NaOH at 60 °C. After the chemical reaction reached the time needed, the mixture was then separated into two phases. Then methyl ester phase was purified by separation of the glycerol to obtain biodiesel. The additional peroxidation process was applied to modify the biodiesel. Biodiesel, both before and after adding hydrogen peroxide, were characterized in many properties.

The result indicated that the biodiesel with the highest yields was obtained using oil/methanol ratio of 1:6, 2 grams of sodium hydroxide and 1 hour of reaction time at 60 °C. The properties of biodiesel are in the commercial standard requirements. In addition, the biodiesel modified by the peroxidation process gives less heating value and iodine number than the ordinary one while the viscosity and acid value were increased. However, the specific gravity has no changes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทาง ตลอดจนตรวจทานแก้ไขโครงการฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง และ ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ และตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พัชนี เจริญยิ่ง ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิค NMR

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย ผศ.ดร. วันฉัตร ชื่นชม ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ผศ.ดร.ปทุมมา สิริพันธ์ โนน และ ผศ.ดร.เพชฌุไชย ไชยสิทธิ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะในโครงการฉบับนี้ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ คุณสุภัทร ชื่นบาน เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิค FT-IR และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่ทุกคนที่กรุณาแนะนำในทุก ๆ เรื่องที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวอันเป็นที่รักสำหรับกำลังใจที่มีให้เสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและกำลังใจที่มีให้มาตลอด

สำหรับประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอมอบให้กับครอบครัว รัตนเสถียร ครอบครัววงษ์ และครอบครัวมีจันทร์ทอง ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้

โชติวรรณ รัตนเสถียร

วสินี ชนะวงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช.....	5
2.2 ปฏิกริยาที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	6
2.2.1 การนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงและการผสม.....	6
2.2.2 การทำไมโครอิมัลชัน.....	7
2.2.3 การแตกสลายด้วยความร้อน.....	7
2.2.4 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	8
2.2.4.1 การทำปฏิกริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	9
2.2.4.2 การทำปฏิกริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	10
2.2.4.3 การทำปฏิกริยาในภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล.....	11
2.3 ผลกระทบร่วมจากปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	14
2.4 คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่สำคัญของไบโอดีเซล.....	14
2.5 ประโยชน์ของไบโอดีเซล.....	15
2.6 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์.....	17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 สารเคมี.....	20
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	20
3.3 วิธีการทดลอง.....	21
3.3.1 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ก่อนปรับปรุงคุณภาพ.....	22
3.3.2 การปรับปรุงคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	26
3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันพืชก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ.....	27
3.3.3.1 การวิเคราะห์ค่าความร้อน.....	27
3.3.3.2 การวิเคราะห์หาจุดวาบไฟ.....	29
3.3.3.3 การวิเคราะห์ค่าความหนืด.....	31
3.3.3.4 การวิเคราะห์ค่าความถี่จำเพาะ.....	33
3.3.3.5 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด.....	33
3.3.3.6 การวิเคราะห์หาเลขไอโอดีน.....	34
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
4.1 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ก่อนการปรับปรุง และการทดสอบคุณสมบัติ.....	35
4.1.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน.....	35
4.1.2 ผลของปริมาณเมทานอลที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน.....	37
4.1.3 ผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาที่มีร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน.....	40
4.2 การปรับปรุงคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	42
4.3 การทดสอบคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันพืชก่อนและหลัง การปรับปรุงคุณภาพ.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 ค่าความร้อน.....	43
4.3.2 จุดวาบไฟ.....	45
4.3.3 ค่าความหนืด.....	45
4.3.4 ค่าความถ่วงจำเพาะ.....	46
4.3.5 ค่าความเป็นกรด.....	47
4.3.6 เลขไอโอดีน.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	3
2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชต่างๆ.....	6
2.2 สมบัติของไหลภาวะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับแก๊สและของเหลว.....	12
2.3 แสดงประเภทปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	13
2.4 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษในไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล.....	18
2.5 แสดงการเปรียบเทียบผลการใช้ไบโอดีเซล 100% (B100) และน้ำมันดีเซล ซึ่งผสมด้วยไบโอดีเซล 20% (B20).....	18
3.1 ตัวแปรในการทดสอบผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	25
3.2 ตัวแปรในการทดสอบผลของปริมาณเมทานอลที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	25
3.3 ตัวแปรในการทดสอบผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	26
3.4 ตัวแปรในการทดสอบผลจากความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่มีต่อคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์.....	26
4.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน.....	35
4.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลที่มีต่อร้อยละของ เมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน.....	37
4.3 ผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน.....	40
4.4 ค่าความร้อนของเมทิลเอสเทอร์ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2015.....	43
4.5 จุดวาบไฟของเมทิลเอสเทอร์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D93.....	45
4.6 ค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D445.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.7 ค่าความถ่วงจำเพาะของเมทิลเอสเทอร์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ.....	46
4.8 ค่าความเป็นกรดของเมทิลเอสเทอร์ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ.....	47
4.9 เลขไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ.....	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ

รูปที่

หน้า

2.1	โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์.....	5
2.2	ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน.....	7
2.3	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	8
2.4	ขั้นตอนของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	9
2.5	กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด.....	10
2.6	กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส.....	11
2.7	เฟสไดอะแกรมของของไหลเหนือภาวะวิกฤต.....	13
3.1	แสดงการกรองขจัดสิ่งเจือปนออกจากร้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว.....	22
3.2	แสดงการตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์.....	22
3.3	แสดงการแยกชั้นของสารละลายในกรวยแยก.....	23
3.4	แสดงการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์กับน้ำกลั่น.....	23
3.5	แสดงการระเหยน้ำที่เหลือออกจากเมทิลเอสเทอร์.....	24
3.6	เปรียบเทียบลักษณะก่อน และหลังการระเหยน้ำออกของชั้นเมทิลเอสเทอร์.....	24
3.7	เครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter-PARR 1281.....	27
3.8	แสดงการชั่งน้ำหนักไบโอดีเซลที่จะทำการทดสอบ.....	28
3.9	แสดงการเปิดฝาของเครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter-PARR 1281.....	28
3.10	แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์ทดสอบ.....	28
3.11	เครื่องหาจุดวาบไฟ Auto Flash Point ISL FP 935G2.....	29
3.12	ถ้วยสำหรับหาจุดวาบไฟ.....	29
3.13	แสดงปริมาณไบโอดีเซลในถ้วยสูงถึงขีดบอกระดับ.....	30
3.14	แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์ทดสอบ.....	30
3.15	แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิของจุดวาบไฟ (FLASH) (E.F.P).....	31
3.16	แสดงสถานะที่ใช้วัดความหนืดที่ 40 °C.....	32
3.17	หลอดแก้วสำหรับบรรจุสาร.....	32
3.18	เครื่องหาความหนืดอัตโนมัติขณะทำงาน.....	32

4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	36
-----	---	----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับค่าความเป็นกรด.....	36
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับเลขไอโอดีน.....	36
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน โมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอล กับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	38
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน โมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอล กับค่าความเป็นกรด.....	38
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน โมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอล กับเลขไอโอดีน.....	39
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยากับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์.....	40
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยากับค่าความเป็นกรด.....	41
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยากับเลขไอโอดีน.....	41
4.10 แสดงการเปรียบเทียบเมทิลเอสเทอร์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ.....	42
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับค่าความเข้มข้นของ H_2O_2	43
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับค่าความเข้มข้นของ H_2O_2	46
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับค่าความเข้มข้นของ H_2O_2	47
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดกับค่าความเข้มข้นของ H_2O_2	48
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขไอโอดีนกับค่าความเข้มข้นของ H_2O_2	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และมูลเหตุจูงใจ

ในปัจจุบันได้มีการใช้งานน้ำมันดิบเป็นพลังงานเชื้อเพลิงในปริมาณมหาศาล โดยเฉพาะ น้ำมันดีเซล เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลสามารถประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางกว่าเครื่องยนต์ชนิดอื่นๆ ทั้งในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ขนาดเล็ก เครื่องจักรอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ยวดยานพาหนะต่าง ๆ [1] ดังนั้นความต้องการในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจึงมีปริมาณสูง โดยเฉพาะในภาคการขนส่ง ซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลถึง 15,300 ล้านลิตร/ปี (2543) จัดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมที่ใช้ทั้งหมดและมีปริมาณเป็น 2 เท่าของน้ำมันเบนซิน อีกทั้งยังมีอัตราการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากปิโตรเลียมเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด และมีอัตราการบริโภคน้ำมันเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดด ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันสำรองลดลงอย่างรวดเร็ว และมีการคาดการณ์ว่าในอีก 40 ปีน้ำมันจะหมดไปจากโลก ทำให้หน่วยงานหลายแห่งได้ทำการวิจัยและคิดค้นพัฒนาพลังงานทดแทนขึ้นมาเพื่อตอบสนองความต้องการ โดยนำวัตถุดิบทางเกษตรกรรมมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซล สามารถใช้ทดแทนหรือเป็นส่วนผสมในน้ำมันดีเซลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ และมีคุณสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันดีเซล คือมีการเผาไหม้ที่ดีกว่า ส่งผลให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่นละออง และก๊าซที่เป็นมลพิษอื่นๆลดลง มีคุณสมบัติในการหล่อลื่นดีกว่าน้ำมันดีเซลจึงช่วยยืดอายุการทำงานของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังมีจุดวาบไฟ เลขซีเทนซึ่งเป็นดัชนีบอกถึงคุณภาพการติดไฟของดีเซล และปริมาณออกซิเจนสูงกว่าน้ำมันดีเซล อีกทั้งยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อ ดร.รูคอล์ฟ ดีเซล ชาวเยอรมันซึ่งเป็นผู้คิดค้นเครื่องยนต์ดีเซลได้สำเร็จ ในปี ค.ศ. 1882 ในขณะนั้นได้ใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบเครื่องยนต์ครั้งนั้น จนประสบความสำเร็จและเป็นต้นแบบของเครื่องยนต์ดีเซลจนถึงปัจจุบัน [2] แต่เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวน้ำมันจากปิโตรเลียมมีราคาถูกและหาได้ง่าย น้ำมันพืชจึงไม่เป็นที่ยอมรับเพราะมีราคาแพงกว่าน้ำมันปิโตรเลียม นอกจากนี้การใช้น้ำมันพืชยังประสบปัญหาเรื่องการที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้หัวฉีดน้ำมัน ฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ อีกทั้งน้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอน้ำได้น้อย และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช้ามาก (Slow/Low Volatility) ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก ส่งผลให้เครื่องยนต์ติดยาก และ หลงเหลือกราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวน และวาล์ว จากคุณสมบัติที่น้ำมันพีชมีความหนืดสูง และระเหยตัวได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยาก เมื่อใช้น้ำมันพีชล้วนๆ โดยตรงในเครื่องยนต์ [3] จนกระทั่งปัจจุบันทั่วโลกประสบปัญหาด้านราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่สูงขึ้นนับตั้งแต่วิกฤตน้ำมันในปี ค.ศ. 1973 เป็นต้นมา ประกอบกับได้มีการพัฒนา และผลิตน้ำมันพีชในรูปแบบไบโอดีเซลเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานกับเครื่องยนต์มากขึ้น ไบโอดีเซลจึงเป็นที่ยอมรับ และได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง

การพัฒนาไบโอดีเซลสามารถพบได้ใน 28 ประเทศ โดยมีประเทศเยอรมัน และฝรั่งเศส เป็นประเทศสำคัญในการผลิตไบโอดีเซลของโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 ประเทศญี่ปุ่นได้เริ่มทำไบโอดีเซลขึ้นในกรุงโตเกียวโดยตั้งเป้าว่าจะผลิตไบโอดีเซลให้ถึงระดับการค้า โดยในปัจจุบัน รถขยะที่ใช้วิ่งใน 220 จังหวัด นั้น จะใช้น้ำมันไบโอดีเซลคิดเป็นร้อยละ 100 และมีการทดลองต่อเนื่องโดยให้รถประจำทางใน 81 จังหวัด ใช้ไบโอดีเซลในลักษณะการผสมระหว่างไบโอดีเซลร้อยละ 20 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 80 [4]

อย่างไรก็ตาม น้ำมันพีชที่ผ่านการทอดแล้วกำลังก่อให้เกิดปัญหาทั่วโลก เนื่องจากน้ำมันทอดใช้แล้วตามบ้านเรือนและแหล่งอุตสาหกรรมจะถูกทิ้งผ่านทางท่อน้ำทิ้ง ก่อให้เกิดปัญหาในกระบวนการบำบัดน้ำเสียและอาจมีการปนเปื้อนในระบบสายโซ่อาหาร โดยสัตว์กินเข้าไปกลายเป็นปัญหาต่อสุขภาพร่างกายมนุษย์ ทั้งนี้ได้มีการแปรรูปน้ำมันทอดใช้แล้วเป็นสบู่และพลังงานโดยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking) โดยผลิตภัณฑ์ที่สำคัญคือไบโอดีเซล [5] ซึ่งในทุกปีที่ผ่านมาได้มีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพีชที่ผ่านการทอดแล้วประมาณ 1500 ตัน [4]

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล และไบโอดีเซลในทางการค้าดังตารางที่ 1.1 พบว่าค่าความร้อนของการเผาไหม้ไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่จุดวาบไฟ ความหนืด และความถ่วงจำเพาะจะมีค่าสูงกว่า [7]

ตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง [6]

คุณสมบัติ	เชื้อเพลิง	
	น้ำมันดีเซล	ไบโอดีเซล
Heating value (cal/g)	11035.7	9712.8
Flash point (°C)	65	125
Viscosity (cSt at 40°C)	2.5	4.3
Specific gravity	0.836	0.882
Iodine value	-	128.5
Peroxide value	-	58.235
Acid Number	-	2.76
TBA	-	90.5

ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซล เพื่อให้ได้คุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยในการปรับปรุงคุณภาพจะใช้กระบวนการเปอร์ออกซิเดชัน (Peroxidation) ซึ่งกระบวนการนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านเภสัชกรรม ทางอาหาร และทางการแพทย์ ในการลดขนาดโมเลกุลของสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้มีขนาดเล็กลง ตัวอย่างเช่น การนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปใช้ในการทำลายพันธะของโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์ในระหว่างกระบวนการเปอร์ออกซิเดชัน พบว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผ่านปฏิกิริยานี้จะมีความหนืดลดลง และมีคุณสมบัติด้านการไหลและการละลายดีขึ้น [8] ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพไบโอดีเซล จะนำไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ ไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการเปอร์ออกซิเดชันกับไบโอดีเซลที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพรวมถึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไบโอดีเซลด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 2) เพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณแอลกอฮอล์ และเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา
- 3) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน รวมถึงหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ด้วย โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่
 1. ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ช่วงที่ทำการศึกษาคือ 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 กรัม
 2. ปริมาณแอลกอฮอล์ คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชและแอลกอฮอล์ ช่วงที่ทำการศึกษาคือ 1:3 1:4 1:5 1:6 และ 1:7
 3. เวลาของปฏิกิริยา ช่วงที่ทำการศึกษาคือ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ชั่วโมง
- 2) ศึกษาถึงกระบวนการปรับปรุงคุณภาพไบโอดีเซลด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ รวมถึงศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ได้โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นร้อยละ 10 15 20 25 และ 30 โดยปริมาตร
- 3) ทดสอบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลก่อนและหลังกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวได้แก่ ค่าความร้อน จุดวาบไฟ ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ เลขไอโอดีน และค่าความเป็นกรด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดไก่ที่ใช้แล้ว เป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งจัดเป็นของเสียไม่สามารถนำมาบริโภค อีกทั้งช่วยลดปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดจากน้ำมันพืชใช้แล้วได้
- 2) สามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช

โดยทั่วไปแล้ว น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ทุกชนิดเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์มีกรดไขมันชนิดต่าง ๆ กันเป็นองค์ประกอบ โดยที่มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ถึงน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมี และกายภาพ แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

น้ำมันพืชเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์มีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 98 ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ ส่วนประกอบที่เหลือจะเป็นส่วนของไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ ซึ่งส่วนใหญ่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันพืชแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่สูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงหรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้นจะมีค่าไอโอดีนสูงขึ้นตามลำดับ น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวเมื่อสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์แล้วน้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวข้น โดยทั่วไปค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีบอกลถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นๆ ซึ่งบอกถึงความยากง่ายของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วย ถ้าน้ำมันมีค่าไอโอดีนสูงจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันง่าย ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิง เพราะจะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในเครื่องยนต์ได้ในเบื้องต้น

น้ำมันชนิดดิบ	ค่าไอโอดีน	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก						
		C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
น้ำมันปาล์ม	14.1-21.0	ND-0.5	0.5-2.0	39.3-47.5	3.5-6.0	36.0-44.0	9.0-12.0	ND-0.5
น้ำมันปาล์มโอดีเน	>56	0.1-0.5	0.5-1.5	38.0-43.5	3.5-5.0	39.8-46.0	10.0-13.5	ND-0.6
น้ำมันปาล์มสเตียรีน	<48	0.1-0.5	1.0-2.0	48.0-74.0	3.9-6.0	15.5-36.0	3.0-10.0	0.5
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	50.0-55.0	45.0-55.0	14.0-18.0	6.5-10.0	1.0-3.0	12.0-19.0	1.0-3.5	ND-0.2
น้ำมันมะพร้าว	6.3-10.6	45.1-53.2	16.8-21.0	7.5-10.2	2.0-4.0	5.0-10.0	1.0-2.5	ND
น้ำมันถั่วลิสง	86-107	ND-0.1	ND-0.1	8.0-14.0	1.0-4.5	35.0-67.0	13.0-43.0	ND-0.3
น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	101	ND	ND	14.9	6.0	41.2	37.4	ND
น้ำมันเมล็ดเรป	94-120	ND	ND-0.2	1.5-6.0	0.5-3.1	8.0-60.0	11.0-23.0	5.0-13.0
น้ำมันถั่วเหลือง	124-139	ND-0.1	ND-0.2	8.0-13.5	2.0-5.4	17.7-28.0	49.8-59.0	5.0-11.0

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติ และองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชต่าง ๆ [9]

หมายเหตุ ND : ไม่พบ

2.2 ปฏิกริยาที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม สามารถเตรียมได้ 4 วิธี [4, 10]

2.2.1 การนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง และการผสม (Direct Use and Blending)

ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำมันพืช และน้ำมันปิโตรเลียม เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชโดยตรงโดยไม่ต้องเติมสารเคมีอื่นเพื่อเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าผสมมากเกินไป อาจเกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว เพราะน้ำมันพืชมีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระนำไปสู่ปัญหาการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ซึ่งทำให้เกิดคราบยางเหนียวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษา และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจากการเผาไหม้ จึงเกิดคราบสะสมที่เครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังทำให้เครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ในการนำน้ำมันพืชผสมกับน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

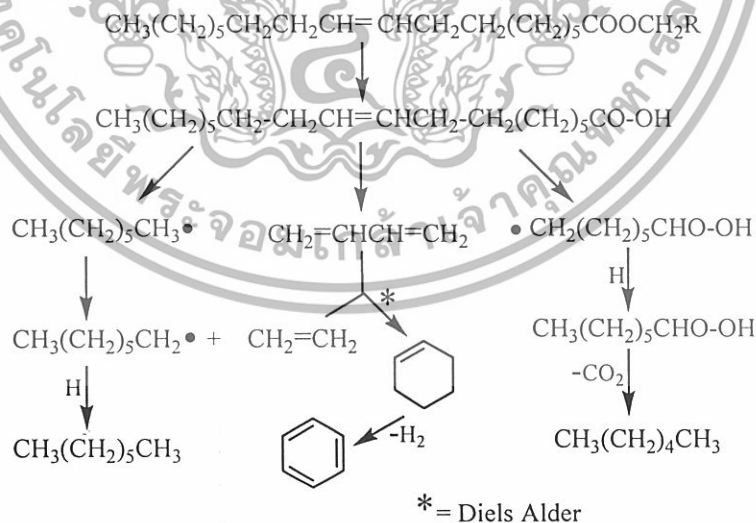
ดีเซล พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันพืชที่อัตราส่วน 80 ต่อ 20 จะให้ผลเหมือนกรณีใช้น้ำมันดีเซลร้อยละ 100 อัตราส่วนดังกล่าวจึงเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด

2.2.2 การทำไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

การผสมน้ำมันพืชกับเมทานอล ซึ่งของเหลวทั้งสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่กระจายอยู่ได้ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดมีประจุ และไม่มีประจุ โดยเกิดในลักษณะการกระจายอนุภาคของเหลวในตัวกลางที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดอย่างสมดุล มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1-150 นาโนเมตร วิธีนี้สามารถลดปัญหาความหนืดได้ดีโดยใช้ตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล และ 1-บิวทานอล แต่จะเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้กระบวนการนี้ได้มีการปรับปรุงลักษณะการฉีดเป็นละอองฝอยของน้ำมันจากหัวฉีด

2.2.3 การแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking or Pyrolysis)

กระบวนการไพโรไลซิสเป็นการเปลี่ยนสารหนึ่งไปเป็นสารอื่น ๆ มากกว่าหนึ่งสารโดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวหรือมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย โดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือออกซิเจนเป็นการนำน้ำมันพืชมาให้ความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งทำให้ความหนืดของน้ำมันพืชลดลง แต่เกิดปัญหาคือสามารถควบคุมการเกิดผลิตภัณฑ์ได้ยาก

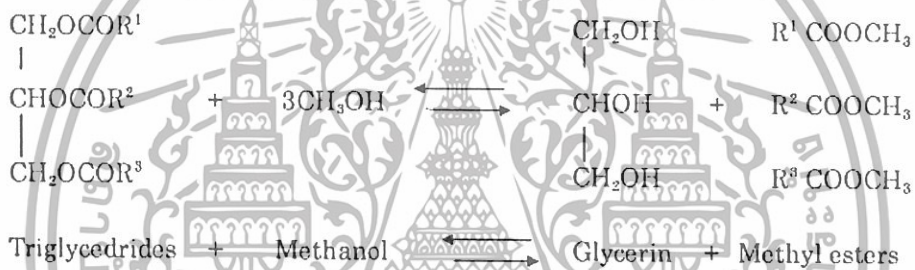


รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ปฏิกริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาเป็นกรดเบส หรือไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกริยา เพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชจาก โมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันสายยาวสามสาย ซึ่งถูกเชื่อมด้วยพันธะเอสเทอร์เข้ากับ โมเลกุลของกลีเซอรอล 1 โมเลกุล โดยกรดไขมันนี้แตกต่างกัน เนื่องจากความยาวของสายโซ่คาร์บอนตำแหน่งของพันธะคู่ในสายโซ่น้ำมันพืชจะถูกเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีไปเป็น โมโนอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสายยาว (ไบโอดีเซล) และ ไดกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอางได้ ตัวอย่างปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันกับเมทิลแอลกอฮอล์เกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ในทางปริมาณสารสัมพันธ์ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ต้องการ 3 โมล ของแอลกอฮอล์ในการเกิดปฏิกริยา แต่หากใช้อัตราส่วนโมลที่สูงกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์มากขึ้น จากปฏิกริยานี้จะเห็นว่าปฏิกริยาสามารถย้อนกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์ ซึ่งคือเมทานอลในปริมาณมากเกินไป จะช่วยให้ปฏิกริยาดำเนินไปข้างหน้าทางผลิตภัณฑ์ได้ดี ทำให้ได้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้นี้จะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่นิยมมากเพราะวิธีไมโครอิมัลชันและวิธีการผสมน้ำมันด้วยตัวทำละลายมักเกิดปัญหาในเรื่องประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ และเกิดคราบคาร์บอน ส่วนวิธีไพโรไลซิสนั้นจะผลิตก๊าซโซลีนออกมามากกว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพ นอกจากนี้ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันยังให้ผลิตภัณฑ์ร่วมที่มีประโยชน์ทางการค้าคือ กลีเซอรอล

ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกริยาแบบผันกลับได้ แต่สามารถเร่งปฏิกริยาให้ไปข้างหน้าทางผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยา และใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาส່วนมากมักใช้เมทานอลหรือเอทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา เนื่องจากมีราคาถูก หาง่าย เป็นโมเลกุลที่มีขั้วขนาดเล็กจึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว แต่ปฏิกิริยานี้ต้องไม่มีน้ำเพราะน้ำจะไปทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเอสเทอร์ลดลงและการแยกเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลทำได้ยากมากขึ้น ดังนั้นการเตรียมต่างในปฏิกิริยาจะใช้วิธีละลายต่างในเมทานอลแทนน้ำ

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันมีลำดับ 3 ขั้นตอนเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ คือ ขั้นแรกจะเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นไดกลีเซอไรด์ ตามด้วยเปลี่ยนไดกลีเซอไรด์เป็นโมโนกลีเซอไรด์ และเปลี่ยนโมโนกลีเซอไรด์เป็นกลีเซอรอลและได้เอสเทอร์ 3 โมล ในขั้นนี้คุณสมบัติของเอสเทอร์จะคล้ายน้ำมันดีเซล แสดงขั้นตอนได้ดังรูป 2.4



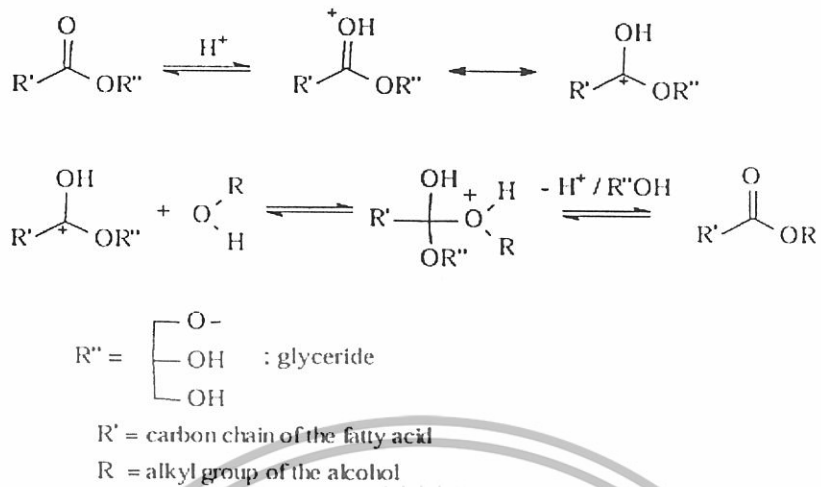
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถทำได้หลายวิธีได้แก่

2.2.4.1 การทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ด้วย กรดบรอนสเตด (Brownsted) เช่น กรดซัลโฟนิก กรดซัลฟิวริก เป็นต้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง แต่เกิดปฏิกิริยาช้ามาก โดยต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 3 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์ [11]

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้กรดบรอนสเตด (Brownsted) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เริ่มจากโปรตอนไปโปรโตเนตที่หมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ทำให้เกิดคาร์โบแคทไอออน หลังจากนั้นจึงเกิดการชนด้วยนิวคลีโอไฟล์ของแอลกอฮอล์เกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล โดยสารมัธยันต์นี้จะปล่อยกลีเซอรอลออกมาทำให้เกิดเอสเทอร์ใหม่ และตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่ดังแสดงในรูปที่ 2.5



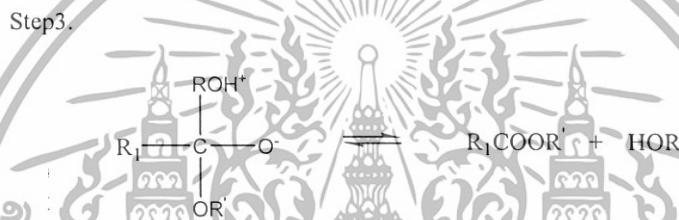
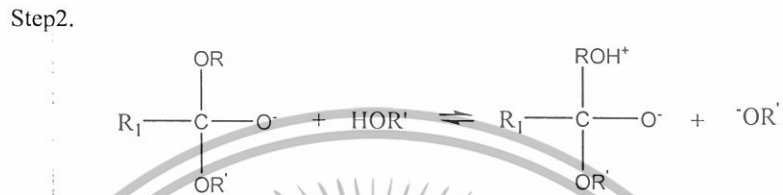
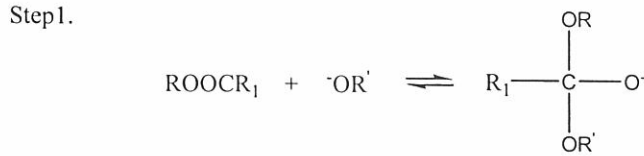
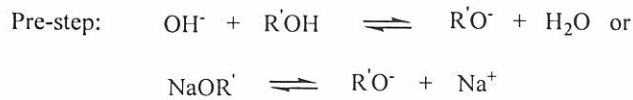
รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด

2.2.4.2 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะเกิดเร็วกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่อาจเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันร่วมด้วยทำให้ความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ที่ได้ลดลง

กลไกปฏิกิริยาเริ่มจากขั้นแรก แอลกอฮอล์ไอออน จะเข้าชนที่ตำแหน่งคาร์บอนิลของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งทำให้เกิดสารมัธยันต์ลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล ขั้นที่สอง เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารมัธยันต์กับแอลกอฮอล์ทำให้เกิดแอลกอฮอล์ไอออน และขั้นสุดท้ายเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของสารมัธยันต์เกิดเป็นเอสเทอร์ และไตรกลีเซอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Where R-OH diglyceride, R_1 long chain alkyl group and R' short alkyl group

รูปที่ 2.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส

ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสจะให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์สูง โดยใช้เวลาที่สั้นแต่ปฏิกิริยานี้มีข้อเสียคือ สิ้นเปลืองพลังงานในการเกิดปฏิกิริยามาก การนำกลีเซอรอลกลับมาใช้ใหม่ทำได้ยาก ต้องกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยากรด และเบสออกจากผลิตภัณฑ์ น้ำเสียที่มีเบสต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยทิ้ง และกรดไขมันและน้ำจะรบกวนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน [12]

2.2.4.3 การทำปฏิกิริยาในภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล [13]

จากตารางที่ 2.2 การทำปฏิกิริยาในภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล เป็นวิธีที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะที่สภาวะนี้ต้องใช้อุณหภูมิสูง ทำให้พันธะไฮโดรเจนของเมทานอลอ่อนลง และสภาพขั้วของเมทานอลลดลง ทำให้เมทานอลกับน้ำมันพืชสามารถรวมเป็นเฟสเดียวกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

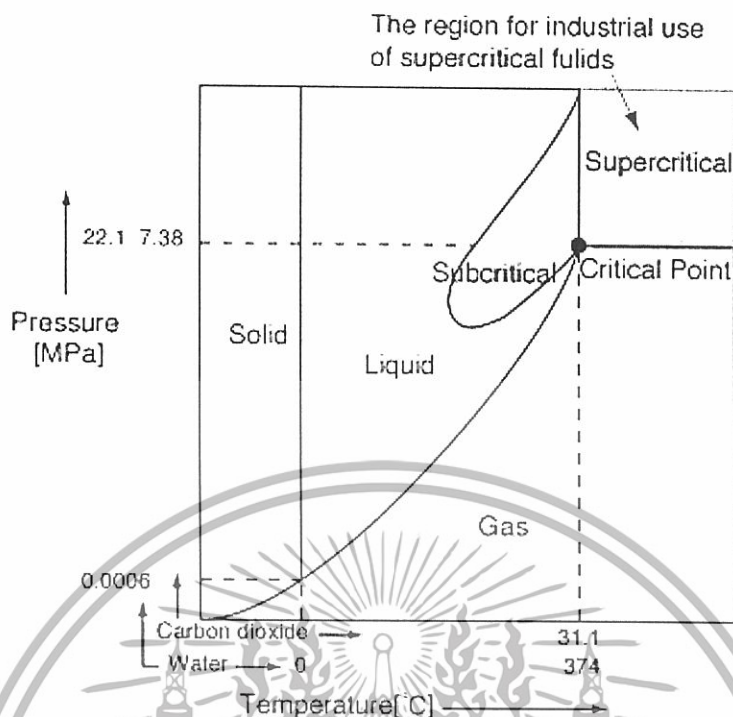
ตารางที่ 2.2 สมบัติของไหลภาวะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับแก๊สและของเหลว

สถานะของของไหล	ความหนาแน่น (g/cm ³)	Diffusivity (cm ² /sec)	ความหนืด (g/cm · sec)
แก๊ส P = 1 atm, T = 15-30 °C	(0.6 - 2) x 10 ³	0.1 - 0.4	(1 - 3) x 10 ⁻⁴
ของเหลว P = 1 atm, T = 15-30 °C	0.6 - 1.6	(0.2 - 2) x 10 ⁻⁵	(0.2 - 3) x 10 ⁻²
เหนือภาวะวิกฤต P = P _c , T = T _c	0.2 - 0.5	0.7 x 10 ⁻³	(1 - 3) x 10 ⁻⁴
P = 4P _c , T = T _c	0.4 - 0.9	0.2 x 10 ⁻³	(3 - 9) x 10 ⁻⁴

ของไหลเหนือภาวะวิกฤต (Supercritical fluids , SCF)

ของไหลเหนือภาวะวิกฤต หมายถึง สารใด ๆ ในภาวะซึ่งจำแนกไม่ได้ว่าเป็นแก๊สหรือเป็นของเหลว เมื่อพิจารณาถึงแก๊สที่สามารถเปลี่ยนเป็นของเหลวได้ มีอยู่ 2 วิธี โดยการลดอุณหภูมิหรือการเพิ่มความดัน เพื่อลดพลังงานจลน์ทำให้ระยะระหว่างโมเลกุลลดลง เกิดแรงดึงดูดระหว่างกัน ควบแน่นเป็นของเหลว แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุด ๆ หนึ่ง โมเลกุลของแก๊สจะมีพลังงานจลน์มาก ถึงแม้ว่าจะให้ความดันเท่าใด ก็ไม่สามารถทำให้แก๊สเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวได้ อุณหภูมิสูงสุดที่แก๊สยังสามรถควบแน่นเป็นของเหลวได้เรียกว่า อุณหภูมิวิกฤต ความดันที่จุดจุดนี้เรียกว่า ความดันวิกฤต เพราะฉะนั้นจุดวิกฤตคือ จุดที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิวิกฤต และความดันเท่ากับ ความดันวิกฤต

ที่อุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิวิกฤต และความดันมากกว่าความดันวิกฤต เรียกว่าสภาวะเหนือวิกฤต โดยสารที่อยู่ในสภาวะนี้จะจำแนกไม่ได้ว่าเป็นแก๊สหรือเป็นของเหลว



รูปที่ 2.7 เฟสไดอะแกรมของของไหลเหนือภาวะวิกฤต

ของไหลเหนือภาวะวิกฤตมีคุณสมบัติอยู่ระหว่างแก๊สกับของเหลว จากตารางที่ 2.2 พบว่า ความหนาแน่นของของไหลเหนือภาวะวิกฤตมีค่าใกล้เคียงกับของเหลว เมื่อนำมาใช้เป็นตัวทำละลาย โมเลกุลของสารที่ต้องการละลาย จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของของไหลภาวะเหนือวิกฤต เกิดอันตรกิริยากันเกิดการละลายได้ดี ขณะเดียวกันของไหลภาวะเหนือวิกฤต มีความหนืดและการแพร่กระจายใกล้เคียงกับแก๊ส ทำให้สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างภายในของตัวถูกละลายได้ดีและด้วยสมบัติเหล่านี้จึงนำของไหลเหนือภาวะวิกฤตมาใช้เป็นตัวทำละลาย

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเตรียมได้จากทั้ง 3 วิธี สรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงประเภทปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน [14]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน		
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน มีตัวเร่งปฏิกิริยา		ภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล
กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา
- ทำปฏิกิริยา 1-45 ชั่วโมง	- ทำปฏิกิริยา 1-8 ชั่วโมง - เกิดปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชัน	- ทำปฏิกิริยา 2-4 นาที - ผลผลิตทันทีที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ผลลัพธ์ร่วมจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชนั้นจะได้ผลลัพธ์ร่วมคือ กลีเซอรอล หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กลีเซอริน มีโครงสร้างเป็นสารประกอบจำพวกพอลิไฮดรอลิก แอลกอฮอล์ (Polyhydric Alcohol) มีชื่อทางการค้าว่า 1,2,3-โพรเพนไตรออล (1,2,3-Propanetriol)

คุณสมบัติของกลีเซอรอล

1) คุณสมบัติทางกายภาพ

เป็นของเหลวใส หนืด มีรสหวาน ละลายน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี ละลายได้เล็กน้อยใน ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลอีเทอร์ และไดออกเซน ไม่ละลายไฮโดรคาร์บอน จะไม่ค่อยพบผลึก กลีเซอรอลเนื่องจากผสมน้ำแล้วมีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมาก กลีเซอรอลร้อยละ 66.7 ที่มีน้ำ 33.3 โดยน้ำหนัก จะมีจุดเยือกแข็งอยู่ที่ -46.5 องศาเซลเซียส

2) คุณสมบัติทางเคมี

กลีเซอรอลเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนแอลกอฮอล์ทั่วไปโดยที่คาร์บอนอะตอมนอกมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอะตอมกลางภายใต้สภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง กลีเซอรอลที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียสจะไม่เกิดอะโครลีน (Acrolein) ในทางกลับกัน ในสภาวะกรดจะเกิดอะโครลีนที่ 160 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสกลีเซอรอลจะดีไฮเดรตเกิดเป็นอีเทอร์ลิงค์โพลีกลีเซอรอล (Ether-linked polyglycerol) ที่อุณหภูมิห้องกลีเซอรอลจะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็ว และถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย โดยที่คาร์บอนอะตอมถูกออกซิไดซ์เป็นอัลดีไฮด์ ส่วนคาร์บอนอะตอมกลางเกิดเป็นคาร์บอนิล

2.4 คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่สำคัญของไบโอดีเซล

2.4.1 ค่าความร้อน (Heating value)

ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงคือปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิงเนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของพลังงานต่อปริมาณของมวลสาร นิยมวัดโดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกสาร ไฮโดรคาร์บอน เมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจน ผลของการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอยู่ในสถานะของไอน้ำ) ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนแฝงสูงสุด แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัวค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟแสดงถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ไอของเชื้อเพลิงมีปริมาณมากพอที่ทำให้เกิดการติดไฟ คุณสมบัตินี้ไม่มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ แต่จะบอกถึงความสามารถในการติดไฟของเชื้อเพลิง ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยในการขนส่งและการเก็บรักษาเชื้อเพลิง

2.4.3 ค่าความหนืด (Viscosity)

ความหนืดหรือความข้นใส คือ แรงต้านทานภายในตัวของน้ำมันต่อการไหล กล่าวคือน้ำมันใสจะไหลได้ง่าย ส่วนน้ำมันข้นจะไหลได้ช้า ความหนืดของน้ำมันจึงต้องเหมาะสมเพื่อให้ระบบการฉีดน้ำมัน (Injection System) ฉีดเป็นฝอยอย่างละเอียด ในขณะเดียวกันน้ำมันจะช่วยหล่อลื่นปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงได้ด้วย น้ำมันที่ข้นเกินไปจะไม่กระจายเป็นฝอย ในขณะที่น้ำมันที่ใสเกินไปจะทำให้การหล่อลื่นไม่เพียงพอ

2.4.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรดจะแสดงถึงปริมาณของกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซล ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของน้ำมัน เนื่องจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันนอกจากจะเกิดจากการออกซิไดซ์พันธะคู่ของกรดไขมันแล้ว ยังอาจเกิดจากการสลายพันธะเอสเทอร์ ให้กรดไขมันอิสระออกมา ปริมาณกรดไขมันอิสระรวมทั้งความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพและความเก่าใหม่ของน้ำมัน

2.4.5 เลขไอโอดีน (Iodine value)

เลขไอโอดีนจะแสดงถึงความไม่อิ่มตัวหรือปริมาณพันธะคู่ในไบโอดีเซล แสดงได้ด้วยจำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดไว้ด้วยน้ำมัน 100 กรัม เลขไอโอดีนเป็นค่าคงที่และเฉพาะตัวสำหรับน้ำมันแต่ละชนิด น้ำมันที่มีพันธะคู่มากจะมีเลขไอโอดีนสูง ซึ่งพันธะคู่นี้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันได้ เลขไอโอดีนจึงเป็นค่าที่แสดงถึงอายุการใช้งานของน้ำมัน

2.5 ประโยชน์ของไบโอดีเซล

1) ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel Board) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม (US Environmental) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการวิจัยและทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่าง ๆ กับเครื่องยนต์ดีเซล และได้รายงานว่ามีไบโอดีเซลสูตรที่มีไบโอดีเซล 100% (B100) และสูตรที่มีไบโอดีเซล 20% ผสมกับดีเซล 80% (B20) จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถลดมวลปลดปล่อยจากการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนกรมอุทธรณ์
กองทัพอากาศ ได้รายงานผลการทดลองใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้า
ว่าสามารถลดควันท่วมได้มากกว่าร้อยละ 40

- การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากผลิตจากพืช
- การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วไปประกอบ
อาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันมิให้นำน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (ซึ่งประกอบด้วยสารไดออกซิน
ที่เป็นสารก่อมะเร็ง) ไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ [15]

2) ประโยชน์ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

- การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมัน
ดีเซลจากผลการทดลองของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
พบว่า การเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว และน้ำมันมะพร้าวในอัตราร้อยละ
0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า
- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากในไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ปริมาณร้อยละ
10 ทำให้การผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศมีการกระจายตัวกันสม่ำเสมอ และเป็น
การเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น
- แม้ค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อดีข้อนี้
ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลไม่ทำให้กำลังเครื่องยนต์ลดลง

3) ประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

- การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิต
ทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค
- การใช้ไบโอดีเซลสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งใน
แต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศ เพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 300,000
ล้านบาท

4) ประโยชน์ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศ

- ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก ตลาดน้ำมันดีเซลใน
ประเทศไทยมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซินกว่า 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่น
อาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้อยู่ในประเทศไทย ดังนั้นไบโอดีเซลจึงช่วยลด
ความไม่สมดุลของโรงกลั่นได้
- การผสมไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 1-2 สามารถเพิ่มความหล่อลื่นในน้ำมันดีเซลได้
โดยเฉพาะกรณีที่จะมีการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

5) ประโยชน์ด้านความมั่นคง

- การใช้ไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศถือเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ [16]

2.6 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลนั้นมีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือว่าไม่มีผลทางด้านลบ หรือในกรณีของเครื่องยนต์เก่า อาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนซีลยางบางส่วนเท่านั้น

โดยทั่วไปการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศนั้นนิยมนำไปผสมสูตรต่างๆ เช่น

- B2 (ไบโอดีเซล 2% : ดีเซล 98%) มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา และบังคับใช้ทั้งมลรัฐในปี พ.ศ.2548
- B5 (ไบโอดีเซล 5% : ดีเซล 95%) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส โดยกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายเป็นน้ำมันสูตร B5
- B20 (ไบโอดีเซล 20% : ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติและสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ (Alternative Motor Fuels Act : AMFA 1988) ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะรถของบริษัท และรถของหน่วยราชการกว่า 147 แห่งรวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษ เช่น รถรับส่งนักเรียน รถประจำทาง เรือ หรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในเหมืองแร่ ทั้งนี้ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตระบบหัวฉีดน้ำมันและเครื่องยนต์
- B40 (ไบโอดีเซล 40% : ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อผลในการลดมลพิษ
- B100 (ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ในประเทศเยอรมนี และออสเตรเลีย โดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์รายใหญ่ของประเทศ

จากตารางที่ 2.4 และ 2.5 พบว่าแม้เครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจะปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ออกมาในปริมาณใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่ปริมาณของไฮโดรคาร์บอน แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ ฝุ่นละออง และสารก่อมะเร็งอื่นจะมีปริมาณน้อยกว่า จึงส่งผลดีในแง่สิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน ทั้งนี้หากมีการผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลจะส่งผลให้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ฝุ่นละออง และสารก่อมะเร็งลดลงในสัดส่วนที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับไบโอดีเซลบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบมลพิษในไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซล [16]

แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์	เทียบเท่าน้ำมันดีเซล
ไฮโดรคาร์บอน	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 40
แก๊สไนโตรเจนออกไซด์	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 15
ฝุ่นละออง	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 40
สารก่อมะเร็ง	ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 50

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบผลการใช้ไบโอดีเซล 100% (B100) และน้ำมันดีเซลซึ่งผสมด้วยไบโอดีเซล 20% (B20) [16]

มลพิษในไอเสีย	ไบโอดีเซล 100% (B100)	น้ำมันดีเซลที่มีไบโอดีเซล 20 % (B20)
1. แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์	ลดลง 42.3%	ลดลง 12.6%
2. ไฮโดรคาร์บอน	ลดลง 56.3%	ลดลง 11.0%
3. ฝุ่นละออง	ลดลง 55.4%	ลดลง 18.0%

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dorado, M.P. และคณะ (2004) [18] ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรทางเคมีที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันมะกอกใช้แล้ว พบว่าการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และเมทานอลจะสามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันได้ดีกว่าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และเอทานอล ทั้งนี้ปริมาณ KOH และเมทานอลที่มากหรือน้อยเกินไปจะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์ลดลง เนื่องจากเกิดสบู่หรือมีกลีเซอไรด์บางส่วนไม่ได้ทำปฏิกิริยา นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาในการแยกชั้นเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลจะช่วยให้การแยกชั้นดีขึ้น อย่างไรก็ตามสถานะที่ดีที่สุดในการทดลองนี้คือที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ KOH ร้อยละ 1.26 เมทานอลร้อยละ 12 เวลาในการปั่นกว 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น 90 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นร้อยละ 11.38 ของเอสเทอร์ที่ได้ที่ 25 องศาเซลเซียส และทำให้แห้งด้วยโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 ของเอสเทอร์ที่ได้ โดยจะได้ร้อยละเอสเทอร์เท่ากับ 94 ส่วนปริมาณกลีเซอไรด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา ซึ่งหลงเหลืออยู่เล็กน้อยจะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Encinar, J.M. และคณะ (2005) [19] ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยอาศัยเมทานอล และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ และโพแทสเซียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับตัวแปรอื่นๆ ในการทดลองจะใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันระหว่าง 3 ต่อ 1 ถึง 9 ต่อ 1 ความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 0.1 ถึง 1.5 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิระหว่าง 25 ถึง 65 องศาเซลเซียส และมีการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันแบบ 2 ชั้นเพื่อเปรียบเทียบ โดยแยกกลีเซอรอลออกก่อนในขั้นแรก นอกจากนี้ยังวิเคราะห์สมบัติต่างๆของไบโอดีเซลที่ได้ ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อน คัชชีเทน จุดเกิดหมอก (Cloud point) จุดไหลเท (Pour point) จุดวาบไฟ (Flash point) จุดเผาไหม้ (Combustion point) เลขสปอนนิฟิเคชัน (Sponication value) เลขไอโอดีน (Iodine value) และใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ที่เวลาการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ กัน พบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติดีที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6 ต่อ 1 ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 65 องศาเซลเซียส และทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันแบบ 2 ชั้น

Felizardo, P. และคณะ (2006) [6] พบว่า ในการศึกษาสถานะที่ดีที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้ว (WFO) และ เมทานอลผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันนาน 1 ชั่วโมง และปรับค่าอัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอล/WFO ระหว่าง 3.6 และ 5.4 และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ โซเดียมไฮดรอกไซด์/WFO ระหว่าง ร้อยละ 0.2 ถึง 1.0 ทั้งนี้ น้ำมันทอดใช้แล้วในการทดลองมีค่าความเป็นกรด (Acid Value) เท่ากับ 0.42 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ผลการทดลองสรุปได้ว่า ที่อัตราส่วน เมทานอล/WFO เท่ากับ 4.8 และ โซเดียมไฮดรอกไซด์/WFO เท่ากับร้อยละ 0.6 จะให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณเมทานอลหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์จะช่วยให้ขั้นตอนการแยกและทำเมทิลเอสเทอร์ให้บริสุทธิ์กระทำได้ง่ายขึ้น ดังเห็นได้จากเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความหนืดลดลง และมีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ถึงร้อยละ 98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) น้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว (น้ำมันปาล์มทอดไถ่จากตลาดนัดทิพย์วารี)
- 2) เมทานอล (Methanol (CH_3OH)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab Scan
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide (NaOH)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 4) แอนไฮดรรัสแมกนีเซียมซัลเฟต (Anhydrous Magnesium Sulfate (MgSO_4)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 5) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide (H_2O_2)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 6) เอทานอล (Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 7) ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab Scan
- 8) ฟีนอล์ฟทาเลิน (Phenolphthalene) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 9) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide (KOH)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 10) คลอโรฟอร์ม (Chloroform (CHCl_3)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab Scan
- 11) ไอโอดีน (I_2) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 12) โบรมีน (Bromine (Br_2)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific
- 13) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide (KI)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 14) แป้ง (Starch) ตราโบว์แดง
- 15) โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab Scan
- 16) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid (HCl)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab Scan
- 17) อะซิโตน (Acetone (CH_3COCH_3)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab Scan

3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

- 1) Auto Flash Point- Pensky-Martens Closed Cup รุ่น ISL FP 935G2
- 2) Automatic Digital Kinematic Viscometer-ERTCO รุ่น CAV-2000
- 3) Adiabatic Bomb Calorimeter-PARR 1281
- 4) Hotplate/stirrer
- 5) Water bath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) เครื่องชั่งไฟฟ้า
- 7) ขวดก้นกลม 3 คอ
- 8) คอนเดนเซอร์
- 9) เทอร์โมมิเตอร์
- 10) แท่งแม่เหล็ก
- 11) ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
- 12) บีกเกอร์ขนาด 50 100 และ 500 มิลลิลิตร
- 13) กรวยแยก
- 14) บิวเรต
- 15) ปิเปตขนาด 5 10 และ 25 มิลลิลิตร
- 16) กระบอกตวง 100 มิลลิลิตร
- 17) กรวยแก้ว
- 18) ลำลี
- 19) แท่งแก้ว
- 20) ซ้อนตักสาร
- 21) พิกโนมิเตอร์
- 22) ขาดัง และที่จับ

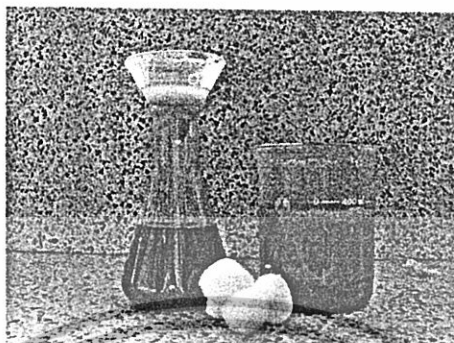
3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

- 1) การตั้งเครื่องเมทิลเอสเทอร์ก่อนปรับปรุงคุณภาพ
- 2) การปรับปรุงคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
- 3) การทดสอบคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันพืชก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ

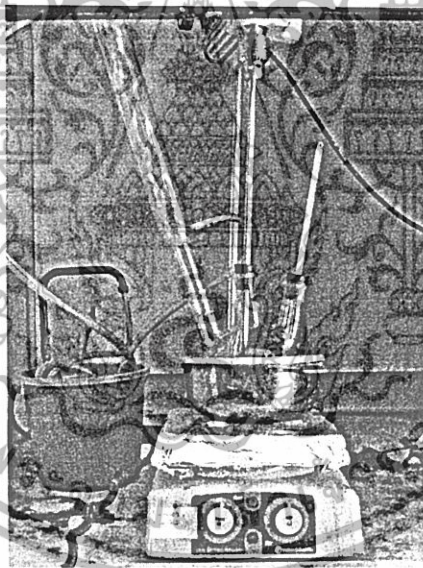
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ก่อนปรับปรุงคุณภาพ



รูปที่ 3.1 แสดงการกรองขี้ดสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว

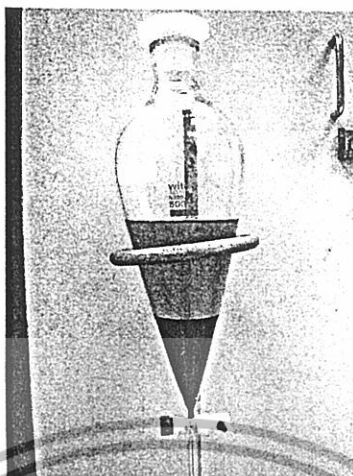
- 1) ทำการกำจัดสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วโดยการกรองด้วยสำลีดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.2 แสดงการตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์

- 2) ตั้งอุปกรณ์รีฟลักซ์ดังรูปที่ 3.2 โดยต่อขวดก้นกลม 3 คอเข้ากับเทอร์โมมิเตอร์ และคอนเดนเซอร์
- 3) ใส่น้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วลงไป 200 กรัม นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยน้ำออก
- 4) นำโซเดียมไฮดรอกไซด์มาละลายในเมทานอล หลังจากนั้นจึงนำมาเติมลงในขวดก้นกลม 3 คอ

สารละลายจะถูกตั้งรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ พร้อมทั้งทำการปั่นกววน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงการแยกชั้นของสารละลายในกรวยแยก

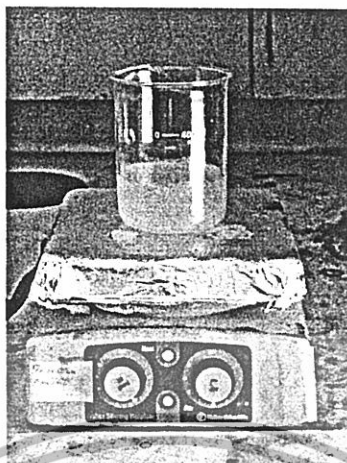
- 5) หลังจากทีปฏิบัติการเกิดสมบูรณ์แล้ว จึงนำเอาสารละลายมาตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้นดังรูปที่ 3.3 โดยชั้นบนจะเป็นชั้นอินทรีย์ซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์มีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายน้ำมัน สีเหลือง ส่วนชั้นล่างเป็นชั้นของกลีเซอรอลมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาล



รูปที่ 3.4 แสดงการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์กับน้ำกลั่น

- 6) แยกเอาชั้นกลีเซอรอลออกไป แล้วล้างชั้นเมทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร 2 ครั้ง จะได้ชั้นเมทิลเอสเทอร์ที่มีลักษณะขุ่นเล็กน้อย และมีสภาพเป็นกลาง โดยวัดค่า pH ด้วยกระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการระเหยน้ำที่เหลืออกจากเมทิลเอสเทอร์



รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบลักษณะก่อน(A) และหลัง (B) การระเหยน้ำออกของชั้นเมทิลเอสเทอร์

- 7) คุณน้ำที่เหลืออกจากเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ออกโดยใช้แอนไฮดริสแมกนีเซียมซัลเฟต หรือให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำออกดังรูปที่ 3.5 จะได้เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันพืชที่ใส ของเหลวคล้ายน้ำมัน เปรียบเทียบได้จากรูปที่ 3.6 จากนั้นนำเมทิลเอสเทอร์ไปชั่งน้ำหนัก และหาร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองที่ 3.3.1 จะทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOH) ปริมาณของเมทานอล (MeOH) และเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา โดยสภาวะต่างๆ ในการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.3 จากนั้นทำการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ค่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มากที่สุดนำมาทำการปรับปรุงคุณภาพในการทดลองที่ 3.3.2

ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรในการทดสอบผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	NaOH (กรัม)	น้ำมันพืช : MeOH	เวลา (ชั่วโมง)
1	60	1.0	1:6	1
2	60	1.5	1:6	1
3	60	2.0	1:6	1
4	60	2.5	1:6	1

ผลของปริมาณเมทานอลที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรในการทดสอบผลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	NaOH (กรัม)	น้ำมันพืช : MeOH	เวลา (ชั่วโมง)
1	60	2.0	1:3	1
2	60	2.0	1:4	1
3	60	2.0	1:5	1
4	60	2.0	1:6	1
5	60	2.0	1:7	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาที่มีร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรในการทดสอบผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	NaOH (กรัม)	น้ำมันพืช : MeOH	เวลา (ชั่วโมง)
1	60	2.0	1:6	0.5
2	60	2.0	1:6	1.0
3	60	2.0	1:6	1.5
4	60	2.0	1:6	2.0

3.3.2 การปรับปรุงคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

นำเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมได้จากสถานะที่เหมาะสม มาเติมด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.4 ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของเมทิลเอสเทอร์ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C พร้อมกับการปั่นกวน 10 นาที หลังจากนั้นนำไปกรองจะได้เมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรในการทดสอบผลจากความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์

ครั้งที่	ความเข้มข้นของ H ₂ O ₂ (%v/v)
1	10
2	15
3	20
4	25
5	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันพืชก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จะถูกนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค และวิธีดังต่อไปนี้

- 1) ค่าความร้อน (Heating value) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2015
- 2) จุดวาบไฟ (Flash point) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D93
- 3) ค่าความหนืด (Viscosity) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D445
- 4) ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)
- 5) ค่าความเป็นกรด (Acid value)
- 6) เลขไอโอดีน (Iodine value)

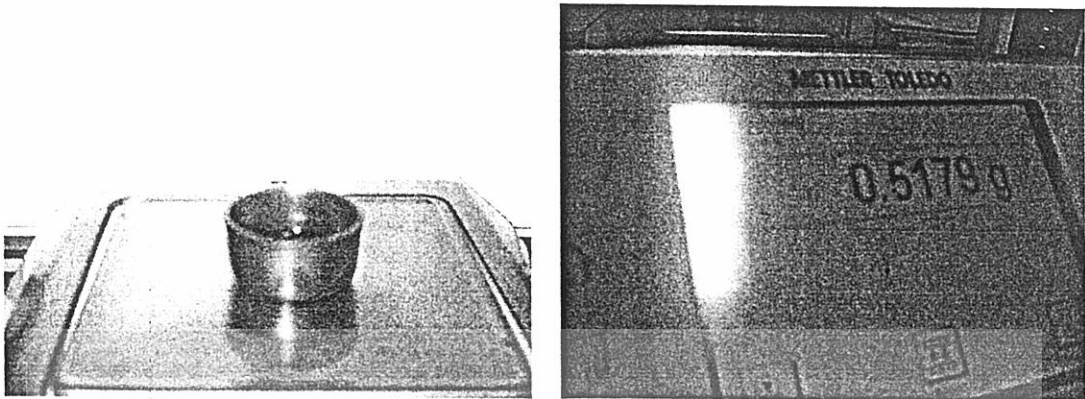
3.3.3.1 การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Acid value)



รูปที่ 3.7 เครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter-PARR 1281

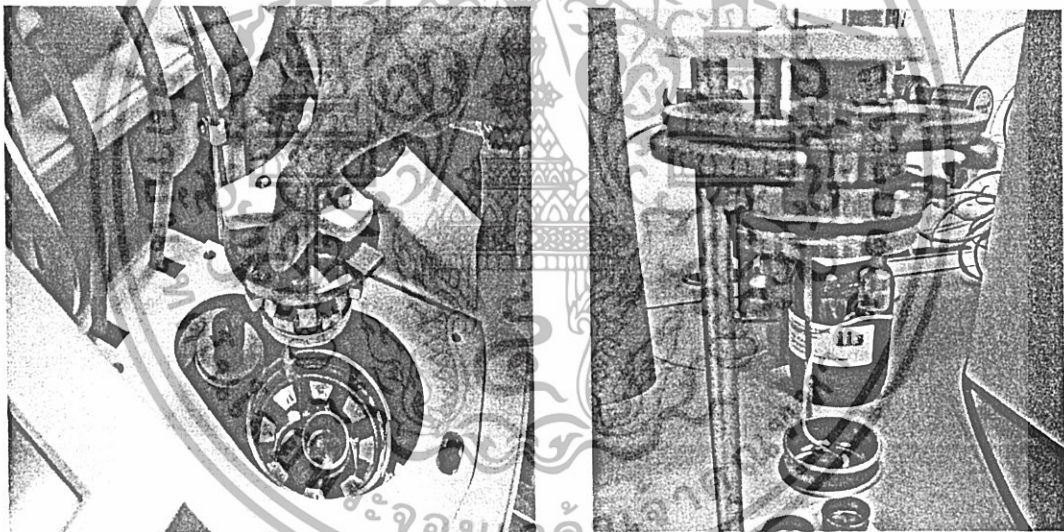
การทดสอบด้วยวิธีนี้ ใช้เพื่อหาค่าความร้อนของไบโอดีเซลจากเครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter-PARR 1281 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ตามมาตรฐาน ASTM D2015 และมีขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงการชั่งน้ำหนักไบโอดีเซลที่จะทำการทดสอบ

- 1) ชั่งน้ำหนักของไบโอดีเซลที่จะทำการทดสอบให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในถ้วยชามเคลือบด้วยครุชเชิล จดบันทึกน้ำหนักที่ชั่งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



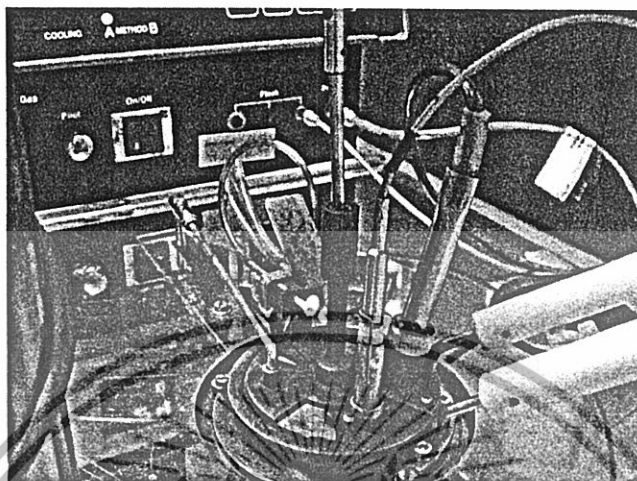
รูปที่ 3.9 แสดงการเปิดฝาของเครื่อง

รูปที่ 3.10 แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์ทดสอบ

- 2) เปิดฝาของเครื่อง นำชุดการทดสอบมาประกอบเข้ากับถ้วยชามเคลือบด้วยครุชเชิล โดยทำการมัดเส้นด้ายกับ ลวดของเครื่องมือให้แน่น แล้วจุ่มปลายของเส้นด้ายอีกด้านลงในน้ำมันในถ้วยชามเคลือบด้วยครุชเชิลดังแสดง ในรูปที่ 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ
- 3) ปิดฝาเครื่องให้สนิท และทำการป้อนค่าน้ำหนักที่บันทึกไว้ หลังจากนั้นกดปุ่มให้เครื่องเริ่ม การทดสอบ เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบเครื่องจะรายงานผลออกมาโดยอัตโนมัติ
- 4) ก่อนทำการทดลองครั้งต่อไป ต้องเช็คชุดการทดสอบให้แห้งและเปลี่ยนถ้วยชามเคลือบด้วยครุชเชิลใหม่ทุกครั้ง ที่ทำการทดสอบ

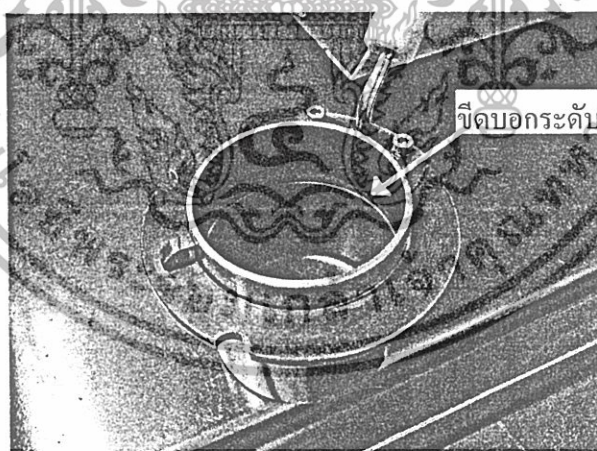
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2 การวิเคราะห์หาจุดวาบไฟ (Flash point)



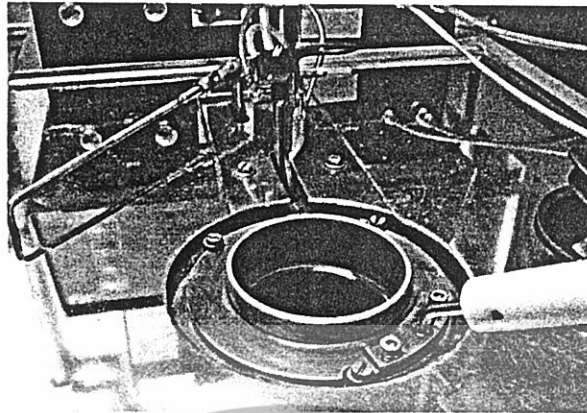
รูปที่ 3.11 เครื่องหาจุดวาบไฟ Auto Flash Point ISL FP 935G2

ในการหาจุดวาบไฟจะใช้เครื่องหาจุดวาบไฟ Auto Flash Point ISL FP 935G2 แบบ Pensky-Martens Closed Cup ดังรูปที่ 3.11 โดยมีขั้นตอนในการทดลองหาจุดวาบไฟดังนี้



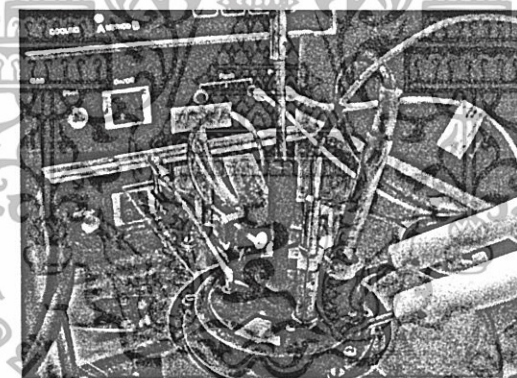
รูปที่ 3.12 ถ้วยสำหรับหาจุดวาบไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงปริมาณไบโอไซด์เซลในถ้วยสูงถึงขีดบอกระดับ

- 1) เทไบโอไซด์เซลใส่ลงในถ้วยสำหรับหาจุดวาบไฟ โดย ให้ปริมาณของไบโอไซด์เซลถึงบริเวณขอบบอกระดับพอดีดังลูกศรชี้แสดงในรูปที่ 3.12 และ 3.13



รูปที่ 3.14 แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์ทดสอบ

- 2) ทำการประกอบด้วยครุฑิเบิลเข้ากับเครื่องอย่างระมัดระวัง โดยปิดฝาและประกอบเครื่องปั่นกววน หัวจุดไฟ ให้เข้าที่ ดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิของจุดวาบไฟ (FLASH) (E.F.P)

- 4) ทำการตั้งค่าอุณหภูมิของจุดวาบไฟ (E.F.P) ของไบโอดีเซลที่เราสมมุติขึ้น และกดปุ่มให้เครื่องทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.15 รอจนเครื่องวัดจุดวาบไฟออกมา ซึ่งในกรณีของไบโอดีเซลจะมีจุดวาบไฟสูงมาก หากเดินเครื่องถึงอุณหภูมิจุดวาบไฟที่แท้จริง อาจทำให้เครื่องชำรุดเสียหายได้ จึงมีการกำหนดให้ไบโอดีเซลทางการค้าที่ใช้ทั่วไปต้องมีจุดวาบไฟมากกว่า 120°C เมื่อเครื่องทำการวัดจนอุณหภูมิจุดวาบไฟเลย 120°C แล้วจึงหยุดเครื่อง จากนั้นทำการล้างด้วยใสน้ำมันด้วยอะซิโตนแล้วทำการทดลองต่อไป

3.3.3.3 การวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity)

การทดสอบวิธีนี้จะศึกษาถึงค่าความหนืดไคเนมาติก (Kinematic viscosity) ของไบโอดีเซล โดยใช้เครื่องวัดความหนืดอัตโนมัติ ERTCO CAV-2000 ซึ่งจะทำการวัดจากเวลาที่ปริมาตรของเหลวที่กำหนดไหลลงตามหลอดแก้วกاپิลลารี (Calibrated glass capillary viscometer) ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีขั้นตอนดังนี้

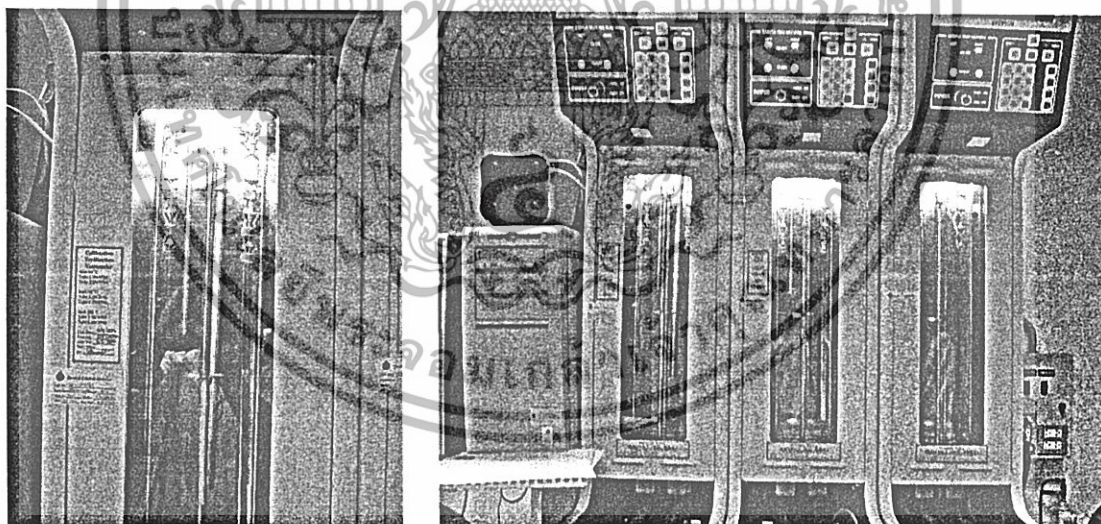
- 1) กำหนดสถานะที่ใช้วัดความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C และเทไบโอดีเซลที่ต้องการทดสอบลงในหลอดแก้วสำหรับบรรจุสาร ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และ 3.18 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงสถานะที่ใช้วัดความหนืดที่ 40 °C รูปที่ 3.17 หลอดแก้วสำหรับบรรจุสาร

- 2) นำหลอดแก้วสำหรับบรรจุสารเข้าเครื่องวัดความหนืดอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.18 กรอกรหัสข้อมูลของตัวอย่าง และกดปุ่ม START เพื่อเริ่มการทดสอบ เครื่องจะดำเนินการตามโปรแกรมที่ได้ตั้งไว้ โดยเวลาในการไหลของตัวอย่างปริมาณทั้งหมดที่ทดสอบจะต้องไม่น้อยกว่า 200 วินาที แต่ไม่เกิน 1000 วินาที



รูปที่ 3.18 เครื่องหาความหนืดอัตโนมัติขณะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.4 การวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

วิธีทำ

- 1) นำฟิสิกโนมิเตอร์ไปล้างด้วยอะซิโตนเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก
- 2) ชั่งน้ำหนักฟิสิกโนมิเตอร์ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง พร้อมจดบันทึกน้ำหนักที่ได้
- 3) เทน้ำกลั่นลงในฟิสิกโนมิเตอร์จนเต็ม
- 4) นำไปชั่งน้ำหนัก พร้อมจดบันทึกน้ำหนักที่ได้
- 5) ทำซ้ำ ข้อ 1 2 3 และ 4 แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย
- 6) ทำซ้ำข้อ 1 2 3 4 และ 5 โดยเปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นน้ำมัน

วิธีการคำนวณ

ความถ่วงจำเพาะ = ความหนาแน่นของน้ำมัน/ความหนาแน่นของน้ำกลั่น
โดย ความหนาแน่น = น้ำหนักของสาร (g) / ปริมาตรของสาร (ml)

3.3.3.5 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value) [17]

วิธีทำ

- 1) ใส่เอทานอลกับอีเทอร์อย่างละ 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวย เขย่าให้เข้ากัน เติมฟีนอล์ฟทาลีน 3-4 หยด แล้วทำให้ตัวทำละลายเป็นกลางด้วยการเติม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จนเห็นเป็นสีชมพูอ่อนๆ (ไม่ต้องจดปริมาตร)
- 2) นำขวดดังกล่าวไปวางบนเครื่องชั่ง ปรับน้ำหนักให้เป็นศูนย์ แล้วเติมน้ำมันประมาณ 5 กรัม ลงไป เขย่าและไทเทรตด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จนถึงจุดยุติ ซึ่งได้สารละลายสีชมพูคงตัว (5-10 วินาที)
- 3) จดปริมาตรต่างที่ใช้ไทเทรต แล้วนำไปคำนวณหาค่าความเป็นกรด

วิธีการคำนวณ

ให้ g เป็นจำนวนกรัมของน้ำมันที่ใช้

ให้ V เป็นจำนวนมิลลิลิตรของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

จำนวนโมลของ KOH ที่ใช้ = $0.05V / 1000$

จำนวนมิลลิกรัมของ KOH = $(0.05V / 1000) \times MW_{\text{KOH}} \times 1000$

= $(0.05V) \times 56$

ค่าความเป็นกรด = $(0.05V) \times 56 / g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.6 การวิเคราะห์หาเลขไอโอดีน (Iodine value) [17]

การเตรียมสารละลายฮานส์ไอโอดีน

ละลายไอโอดีน 13.2 กรัม ในกรดแอซิดิกกล้วน 1 ลิตร นำไปอุ่นให้ร้อน เพื่อช่วยให้ไอโอดีนละลายดีขึ้น ทำให้เย็นแล้วเติมโบรมีนลงไป 0.3 มิลลิลิตรเก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาที่มีฝาปิดแน่น

วิธีทำ

1. นำขวดรูปกรวย (ล้างภายในขวดด้วยคลอโรฟอร์ม) วางบนเครื่องชั่งปรับน้ำหนักให้เป็นศูนย์แล้วเติมน้ำมันประมาณ 0.3-1 กรัม
2. เติมคลอโรฟอร์ม 10 มิลลิลิตร แล้วเปิดสารละลายฮานส์ไอโอดีนลง 20 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 45 นาที (ให้ทำขวดเปรียบเทียบแบบลบล้างไปพร้อมกัน โดยทำเช่นเดียวกันแต่ไม่ใส่น้ำมัน)
3. เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับฮานส์ไอโอดีนที่เหลืออยู่ในชั้นคลอโรฟอร์ม ซึ่งจะได้ไอโอดีนออกมาอยู่ในชั้นของ โพแทสเซียมไอโอไดด์ (เห็นสารละลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม)
4. ใช้น้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร ชะล้างไอโอดีนที่ติดอยู่ที่ผนังขวด และฝาให้หมดแล้วรีบปิดฝา
5. นำไปไทเทรตกับโซเดียมไทโอซัลเฟต จนสีของไอโอดีนจาง (เห็นเป็นสีน้ำตาลจางๆ อมเหลือง) แสดงว่าเหลือไอโอดีนอีกเพียงเล็กน้อย จึงเติมน้ำเปล่าลงไปประมาณ 0.5-1 มิลลิลิตร สารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน แล้วไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินหายไป จดปริมาตรไว้

วิธีการคำนวณ



ให้ A = มิลลิลิตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตขวดตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตขวดเปรียบเทียบ

จากสมการ 1 โมลของไอโอดีน = 2 โมลของโซเดียมไทโอซัลเฟต

ดังนั้น จำนวนโมลของไอโอดีนที่ถูกดูดด้วยไขมัน = $\frac{1}{2} [0.2 (B-A) / 1000]$

น้ำหนักโมเลกุลของไอโอดีน = 254

จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดด้วยไขมัน = $\frac{1}{2} [0.2 (B-A) / 1000]$

= $2.54/100 (B-A)$

เนื่องจากเลขไอโอดีน = จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดด้วยไขมัน 100 กรัม

g = จำนวนกรัมของน้ำมันที่ใช้

ดังนั้น เลขไอโอดีน = $[2.54/100 (B-A)] \times 100 / g$

= $2.54 (B-A) / g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้วกับเมทานอล ซึ่งใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอนคือ ตอนที่ 1 เป็นการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอล และเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา ตอนที่ 2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากตอนที่ 1 เพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ โดยนำไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และตอนที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ ค่าความร้อน จุดวาบไฟ ค่าความหนืด ค่าความถ่วงจำเพาะ เลขไอโอดีน และค่าความเป็นกรด

4.1 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ก่อนการปรับปรุง และการทดสอบคุณสมบัติ

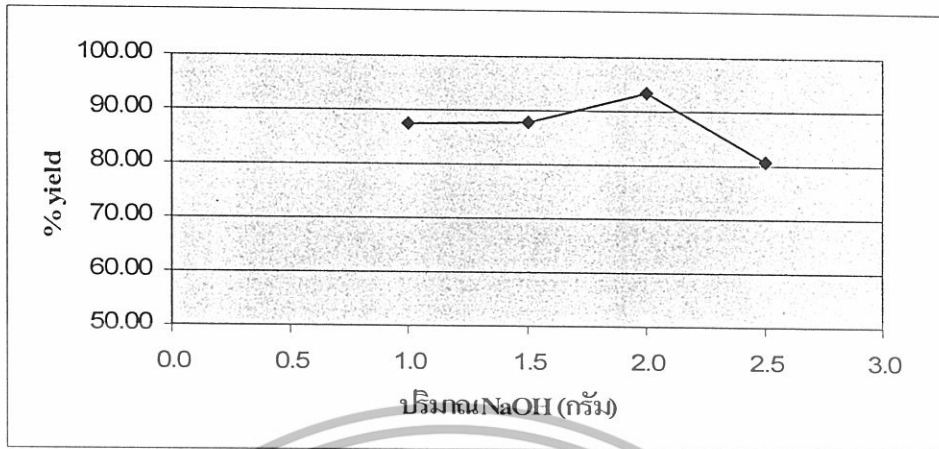
4.1.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOH) ที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน

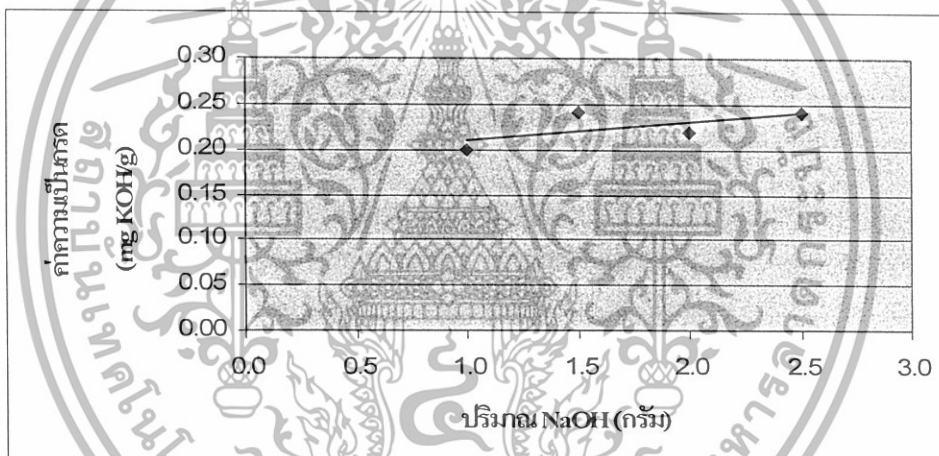
ครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	NaOH (กรัม)	น้ำมันพืช : MeOH	เวลา (ชั่วโมง)	% yield	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	เลขไอโอดีน
1	60	1.0	1:6	1	87.23	0.20	65.79
2	60	1.5	1:6	1	87.72	0.24	64.84
3	60	2.0	1:6	1	93.19	0.22	59.92
4	60	2.5	1:6	1	80.80	0.24	60.37

จากตารางที่ 4.1 นำมาสร้างกราฟระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOH) กับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% yield) ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน ได้ดังรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

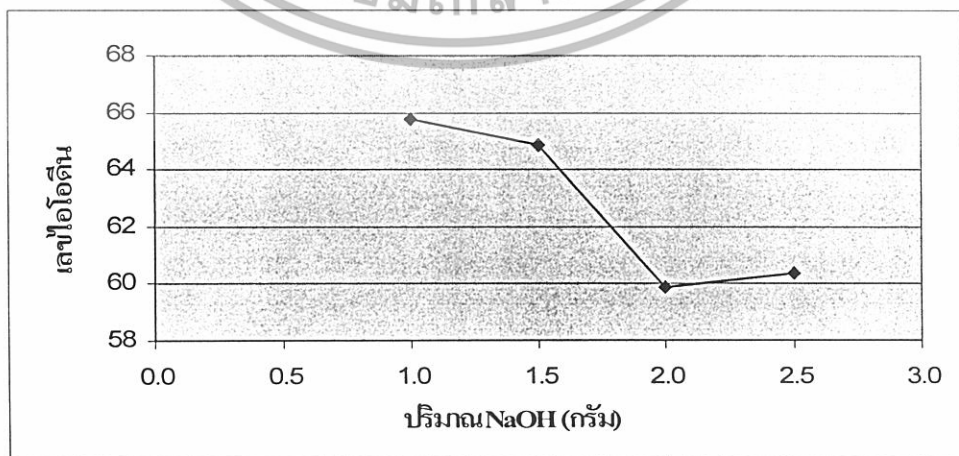
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOH) กับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% yield)



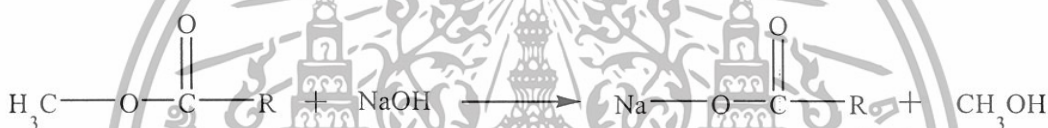
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOH) กับค่าความเป็นกรด (Acid value)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOH) กับเลขไอโอดีน (Iodine value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าผลผลิต (%yield) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOH) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก NaOH จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันก่อน จากนั้น NaOH ที่เหลือจึงเข้าไปทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ถ้าใช้ปริมาณ NaOH มาก ผลผลิตจะมาก โดยจากการทดลองพบว่าปริมาณ NaOH ที่ 2.0 กรัมจะให้ผลผลิตสูงที่สุด แต่เมื่อใช้ NaOH มากเกินไป จะทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ซึ่งทำให้เกิดเกลือของกรดไขมันอิสระ (สบู่) เกิดเป็นอิมัลชันขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ลดลง ทำให้ผลผลิตต่ำลง ทั้งนี้ค่าความเป็นกรดที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังรูปที่ 4.2 ส่วนเลขไอโอดีนจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ NaOH มากขึ้น ดังรูปที่ 4.3 เนื่องจากอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังสมการ ซึ่งทำให้เมทิลเอสเทอร์เกิดการแตกสลายพันธะกลายเป็นโซเดียมอะซิเตตซึ่งสามารถละลายอยู่ในรูปอิมัลชันกับน้ำได้ ทำให้พันธะคู่มิ่จำนวนลดลง ส่งผลให้เลขไอโอดีนมีค่าลดลง

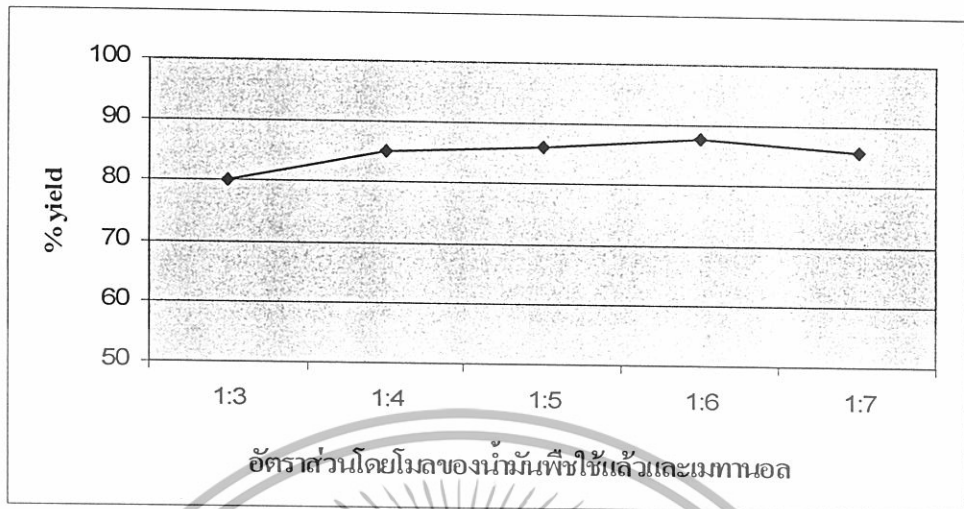


4.1.2 ผลของปริมาณเมทานอลที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน
 ตารางที่ 4.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน

ครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	NaOH (กรัม)	น้ำมันพืช : MeOH	เวลา (ชั่วโมง)	% yield	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	เลขไอโอดีน
1	60	2.0	1:3	1	79.99	0.25	61.90
2	60	2.0	1:4	1	85.08	0.25	62.18
3	60	2.0	1:5	1	86.04	0.28	62.16
4	60	2.0	1:6	1	87.59	0.25	62.25
5	60	2.0	1:7	1	85.80	0.22	62.67

จากตารางที่ 4.2 นำมาสร้างกราฟอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลกับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% yield) ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน ได้ดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

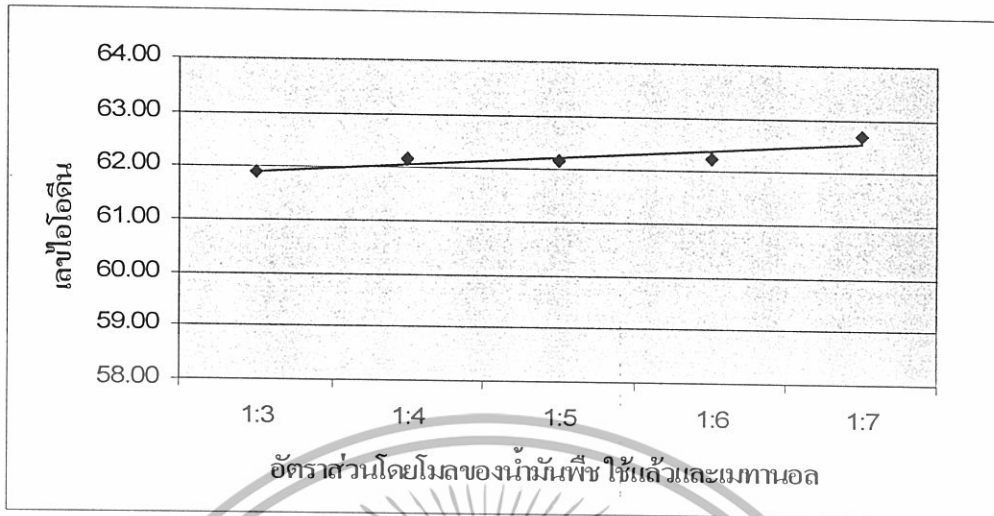


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลกับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% yield)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลกับค่าความเป็นกรด (Acid value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืช ใช้แล้วและเมทานอลกับเลขไอโอดีน (Iodine value)

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืช ใช้แล้วและเมทานอลเป็นตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เพราะผลผลิตและความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรนี้ จากปริมาณสารสัมพันธ์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ดังสมการ



จากสมการต้องใช้ 3 โมลของเมทานอล และ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์เพื่อที่จะได้ 3 โมลของเมทิลเอสเทอร์กับ 1 โมลของกลีเซอรอล อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่อยู่ในสมดุล ซึ่งปริมาณเมทานอลที่มากเกินไปสามารถทำให้ปฏิกิริยาผันไปด้านหน้า ส่งผลให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยจากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:6 จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ ได้เมทิลเอสเทอร์มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Tomasevic และ Marinkovic [20] ซึ่งศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว พบว่าอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:6 เป็นอัตราส่วนที่ทำให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด อย่างไรก็ตาม เมื่ออัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

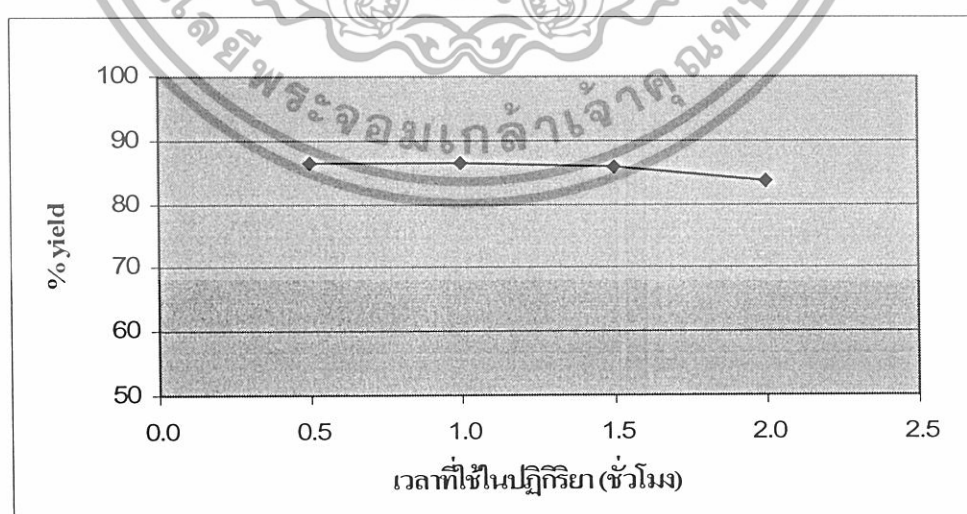
โดยโมลระหว่างเมทานอลต่อไตรกลีเซอไรด์ที่สูง จะมีผลกับการแยกชั้นของกลีเซอรอลกับเมทิลเอสเทอร์ทำได้ยาก และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงเมื่อปริมาณเมทานอลมากเกินไป จึงส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีค่าลดลง แต่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลจะไม่มีผลมากนักต่อค่าความเป็นกรด (รูปที่ 4.5) และเลขไอโอดีน (รูปที่ 4.6)

4.1.3 ผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาที่มีร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน

ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาที่มีต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน

ครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	NaOH (กรัม)	น้ำมันพืช : MeOH	เวลา (ชั่วโมง)	% yield	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	เลขไอโอดีน
1	60	2.0	1:6	0.5	86.34	0.20	64.60
2	60	2.0	1:6	1.0	86.41	0.24	61.62
3	60	2.0	1:6	1.5	85.89	0.20	60.32
4	60	2.0	1:6	2.0	83.74	0.25	59.75

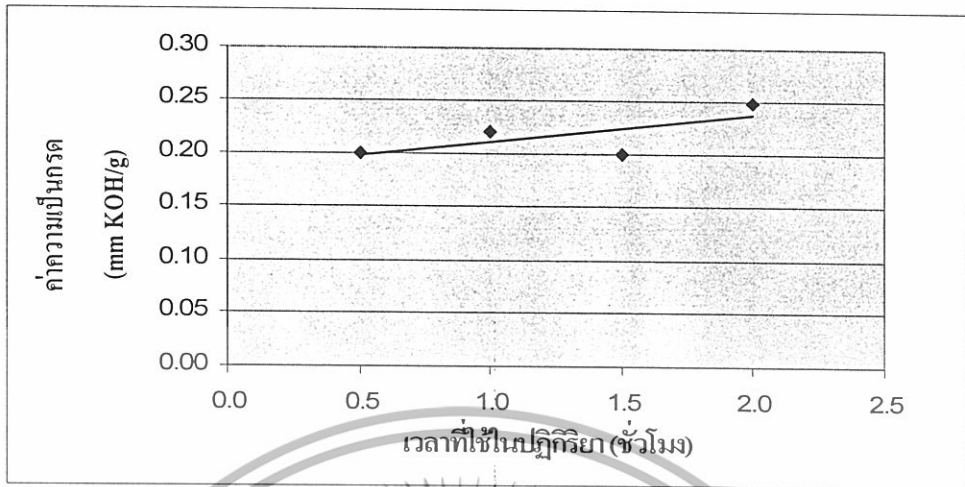
จากตารางที่ 4.3 นำมาสร้างกราฟเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยากับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% yield) ค่าความเป็นกรด และเลขไอโอดีน ได้ดังรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



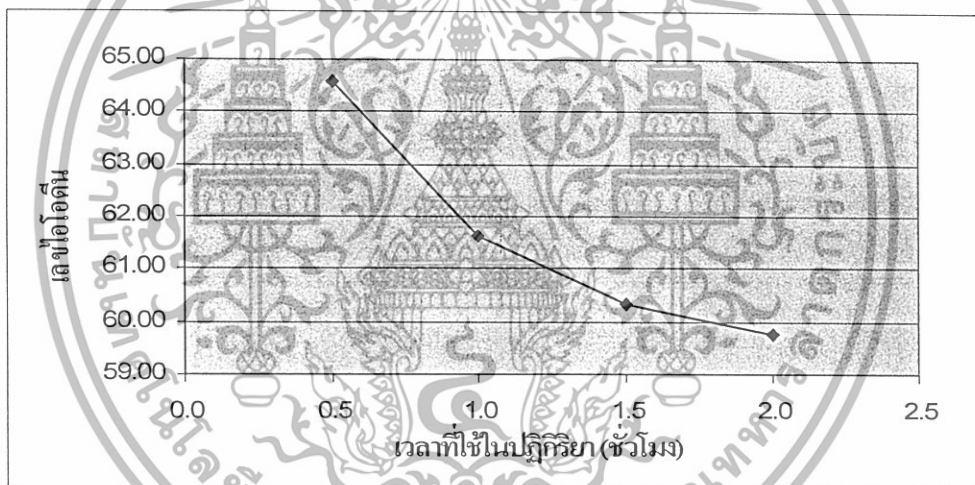
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา (ชั่วโมง) กับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

(% yield)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา (ชั่วโมง) กับค่าความเป็นกรด (Acid value)



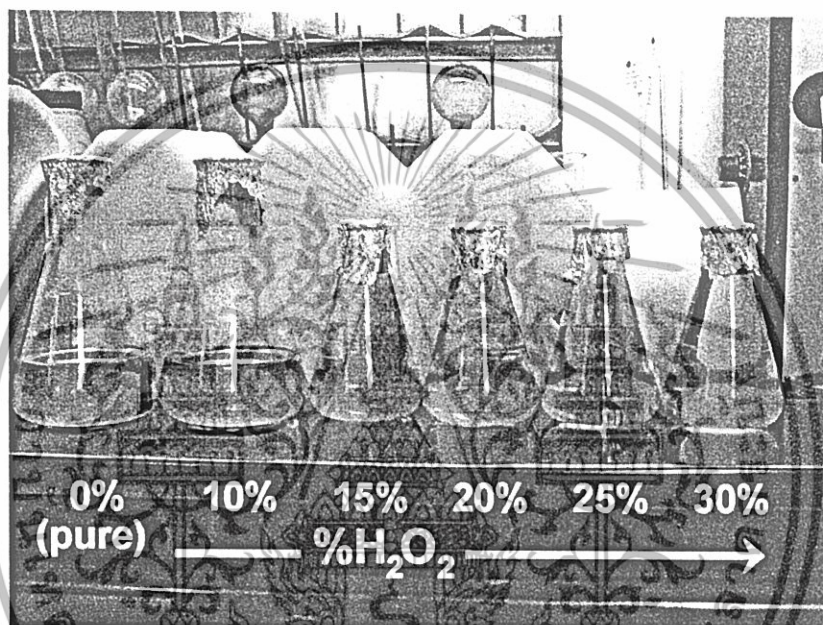
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา (ชั่วโมง) กับเลขไอโอดีน (Iodine value)

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจะเกิดสมบูรณ์เมื่อให้เวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 30 นาทีขึ้นไป โดยปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นจนถึงที่เวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการสลายตัวบริเวณหมู่คาร์บอนิลของเมทิลเอสเทอร์จากความร้อน ดังนั้นที่ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยา คือ 1 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม เวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาจะส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อค่าความเป็นกรด ดังรูปที่ 4.8 ส่วนเลขไอโอดีนจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พันธะคู่ของเมทิลเอสเทอร์มีโอกาสแตกตัวได้มากขึ้น ทำให้เลขไอโอดีนมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การปรับปรุงคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จากผลการทดลองที่ 4.1 สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ได้ คือ ใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว 200 กรัม ทำปฏิกิริยากับเมทานอลในอัตราส่วน 1:6 โดยโมล และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0 กรัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เป็น 87.59



รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบเมทิลเอสเทอร์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ

เมื่อทำการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ได้แล้ว จะนำไปปรับปรุงคุณภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรของเมทิลเอสเทอร์ ได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว ดังรูปที่ 4.10

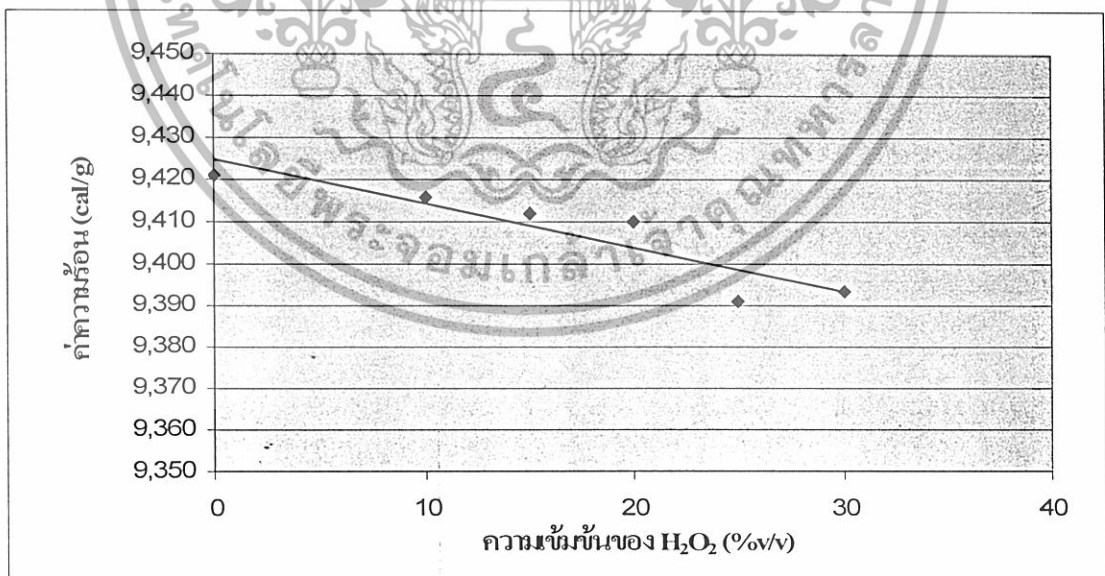
4.3 การทดสอบคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันพืชก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ

4.3.1 ค่าความร้อน (Heating value)

ตารางที่ 4.4 ค่าความร้อน (Heating value) ของเมทิลเอสเทอร์ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2015

ความเข้มข้นของ H ₂ O ₂ (%v/v)	ค่าความร้อน (cal/g)
0	9,421.17
10	9,415.92
15	9,411.95
20	9,410.02
25	9,390.83
30	9,393.27

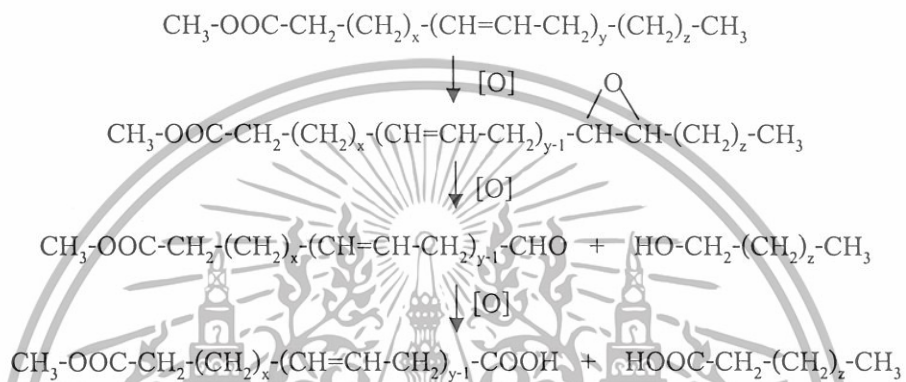
จากตารางที่ 4.4 นำมาสร้างกราฟค่าความร้อน (Heating value) กับความเข้มข้นของ H₂O₂ (%v/v) ได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน (Heating value) กับความเข้มข้นของ H₂O₂ (%v/v)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 พบว่าค่าความร้อนมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ H_2O_2 ในช่วง 10-30 %v/v โดยค่าความร้อนจะอยู่ในช่วง 9,393-9,416 cal/g การที่ค่าความร้อนมีค่าลดลงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจาก H_2O_2 ที่เติมลงไปจะเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ของหมู่แอลคิลใน เมทิลเอสเทอร์ ทำให้พันธะคู่แตกออก และเปลี่ยนเป็นอัลดีไฮด์ ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันเป็นคาร์บอนิล จากนั้นอัลดีไฮด์จะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็นกรดคาร์บอกซิลิกได้ แสดงได้ดังสมการ



จะเห็นได้ว่าการเติม H_2O_2 จะเป็นการเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ ทำให้สัดส่วนองค์ประกอบของออกซิเจนเพิ่มขึ้น และลดสัดส่วนองค์ประกอบของคาร์บอน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Cherng-Yuan Lin และคณะ [21] โดยทำการปรับปรุงคุณภาพของ เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลืองและเมทานอลด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่า ค่าความร้อนของเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าลดลง เมื่อนำไปทำการเผาไหม้ และ วัดปริมาณกากคาร์บอน (carbon residue) พบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ จะให้ ปริมาณกากคาร์บอนหลังการเผาไหม้น้อยกว่าเมทิลเอสเทอร์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ เนื่องจาก สัดส่วนองค์ประกอบของออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นในเมทิลเอสเทอร์นั่นเอง ดังนั้นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนของคาร์บอนน้อยจึงมีค่าน้อย แต่จะส่งผลดีในแง่ของการเผาไหม้ที่ สมบูรณ์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 จุดวาบไฟ (Flash point)

ตารางที่ 4.5 จุดวาบไฟ (Flash point) ของเมทิลเอสเทอร์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D93

ความเข้มข้นของ H ₂ O ₂ (%v/v)	จุดวาบไฟ (°C)
0	>120
10	>120
15	>120
20	>120
25	>120
30	>120

พบว่าค่าจุดวาบไฟของไบโอดีเซลในการทดลองนี้มีค่ามากกว่า 120 °C ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน โดยค่าจุดวาบไฟของไบโอดีเซลมีค่าสูงเนื่องจากไบโอดีเซลประกอบด้วยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีจุดเดือดสูง ทำให้การกลายเป็นไอของไบโอดีเซลเกิดขึ้นช้า

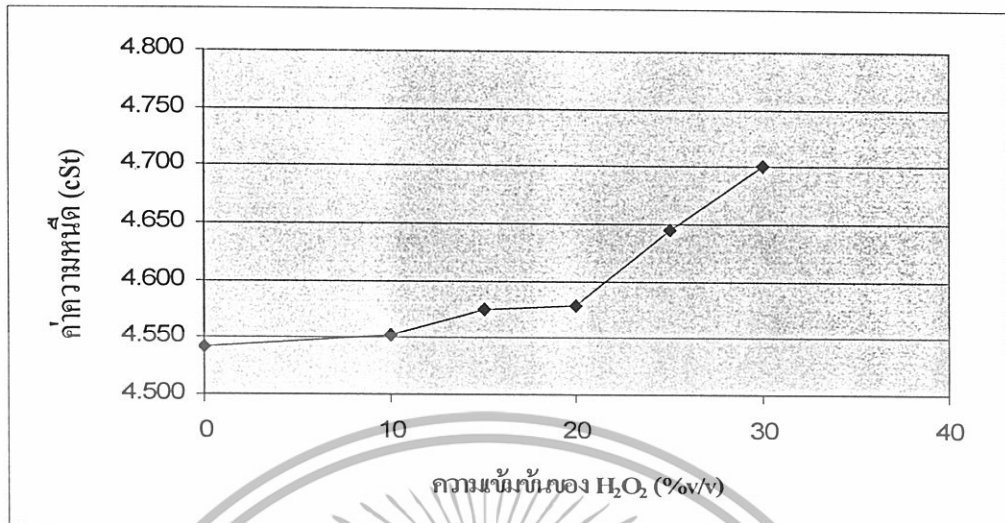
4.3.3 ค่าความหนืด (Viscosity)

ตารางที่ 4.6 ค่าความหนืด (Viscosity) ของเมทิลเอสเทอร์ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D445

ความเข้มข้นของ H ₂ O ₂ (%v/v)	ค่าความหนืด (cSt)
0	4.542
10	4.553
15	4.575
20	4.579
25	4.645
30	4.700

จากตารางที่ 4.6 นำมาสร้างกราฟค่าความหนืด (Viscosity) กับความเข้มข้นของ H₂O₂ (%v/v) ได้ดังรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืด (Viscosity) กับความเข้มข้นของ H₂O₂ (%v/v)

จากรูปที่ 4.12 พบว่าค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ H₂O₂ เนื่องจากการเติม H₂O₂ อาจทำให้เกิด free radical บนสายโซ่ของเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่เมทิลเอสเทอร์ ค่าความหนืดจึงสูงขึ้น

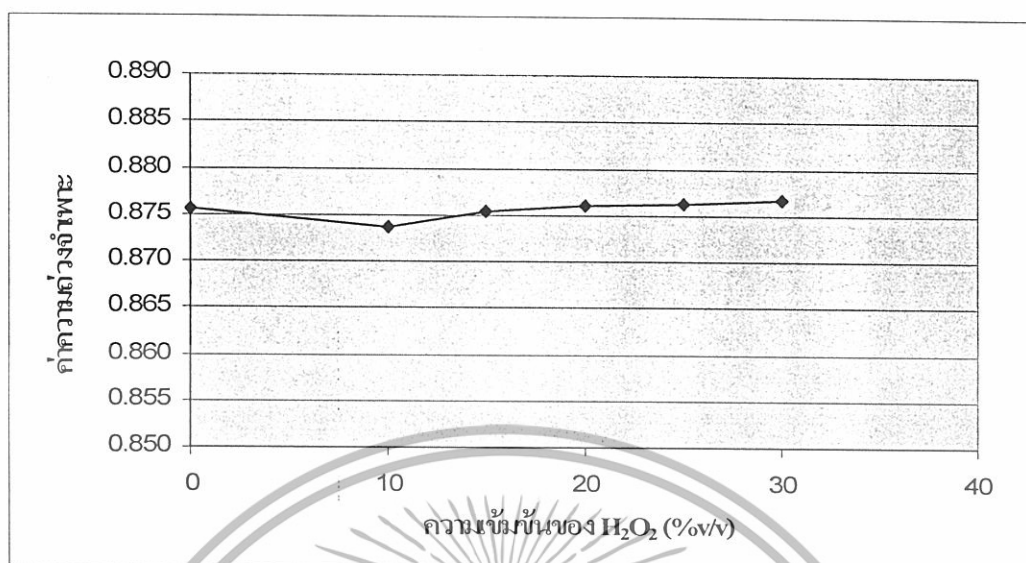
4.3.4 ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ตารางที่ 4.7 ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของเมทิลเอสเทอร์ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ

ความเข้มข้นของ H ₂ O ₂ (%v/v)	ค่าความถ่วงจำเพาะ
0	0.8755
10	0.8736
15	0.8754
20	0.8760
25	0.8762
30	0.8766

จากตารางที่ 4.7 นำมาสร้างกราฟค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) กับความเข้มข้นของ H₂O₂ (%v/v) ได้ดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) กับความเข้มข้นของ H₂O₂ (%v/v)

จากรูปที่ 4.13 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากการเติม H₂O₂ ไม่ส่งผลกระทบต่อความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซล

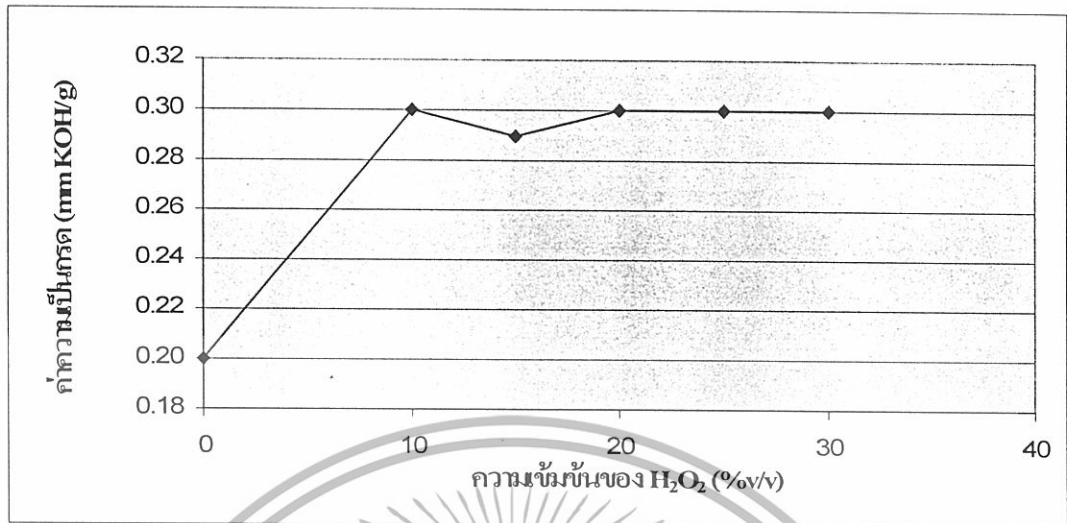
4.3.5 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ตารางที่ 4.8 ค่าความเป็นกรด (Acid value) ของเมทิลเอสเทอร์ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ

ความเข้มข้นของ H ₂ O ₂ (%v/v)	ค่าความเป็นกรด (mm KOH/g)
0	0.20
10	0.30
15	0.29
20	0.29
25	0.30
30	0.30

จากตารางที่ 4.8 นำมาสร้างกราฟค่าความเป็นกรด (Acid value) กับความเข้มข้นของ H₂O₂ (%v/v) ได้ดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด (Acid value) กับความเข้มข้นของ H₂O₂ (%v/v)

จากรูปที่ 4.14 พบว่าค่าความเป็นกรดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติม H₂O₂ อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบริเวณพันธะคู่ของเมทิลเอสเทอร์ เกิดเป็นวงอีพอกไซด์ ซึ่งเมื่อสลายตัวจะได้กรดคาร์บอกซิลิก ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดสูงขึ้น

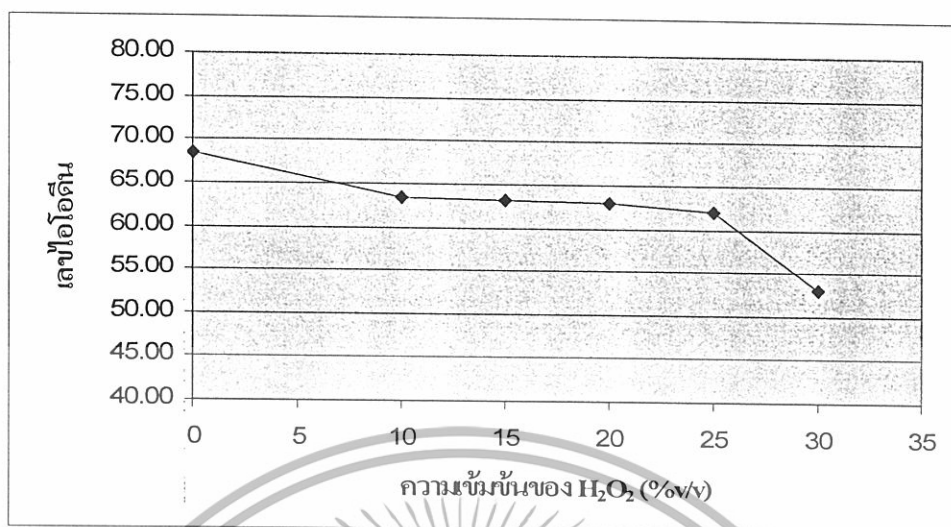
4.3.6 เลขไอโอดีน (Iodine value)

ตารางที่ 4.9 เลขไอโอดีน (Iodine value) ของเมทิลเอสเทอร์ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ

ความเข้มข้นของ H ₂ O ₂ (%v/v)	เลขไอโอดีน
0	68.40
10	63.45
15	63.12
20	62.85
25	62.08
30	52.87

จากตารางที่ 4.9 นำมาสร้างกราฟเลขไอโอดีน (Iodine value) กับความเข้มข้นของ H₂O₂ (%v/v) ได้ดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขไอโอดีน (Iodine value) กับความเข้มข้นของ H₂O₂ (%v/v)

จากรูปที่ 4.15 พบว่าเลขไอโอดีนมีค่าลดลง เนื่องจากการเติม H₂O₂ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบริเวณพันธะคู่ของเมทิลเอสเทอร์ ทำให้จำนวนพันธะคู่บนสายโซ่ของเมทิลเอสเทอร์ลดลง ส่งผลให้เลขไอโอดีนมีค่าลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและปรับปรุงคุณภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และทำการศึกษาสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ พบว่า

- 5.1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว คือ การใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการทอดแล้ว 200 กรัม ทำปฏิกิริยากับเมทานอลในอัตราส่วน 1:6 โดยโมล และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0 กรัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 5.1.3 คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ได้ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้ไบโอดีเซลหลังการปรับปรุงคุณภาพ มีค่าความร้อน และเลขไอโอดีลดลงเล็กน้อย แต่ค่าความหนืดและค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความตึงผิวเฉพาะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 สามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าของน้ำมันพืชใช้แล้วและช่วยลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากน้ำมันพืชใช้แล้วได้
- 5.2.2 ควรทดลองนำไบโอดีเซลที่ได้มาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์จริง
- 5.2.3 ควรทดลองนำไบโอดีเซลที่ได้ทดสอบด้วยเทคนิค Liquid Chromatograph Mass Spectroscopy (LCMS) เปรียบเทียบกับไบโอดีเซลที่บริสุทธิ์ เพื่อให้เห็นความแตกต่างได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hobson, G.D. **Modern Petroleum Technology Part 2** 5th ed. New York : John Wiley & Sons, 1984 : 821-823.
- [2] สถาบันวิจัยพลังงาน. น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซล. [Online]. Available : <http://www.thaibiodiesel.com/thaistory5.html>
- [3] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ไบโอดีเซลกับการใช้งาน. [Online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php?Aid=409&page=2>
- [4] Kusdiana, D., Saka, Sh. **Effects of Water on Biodiesel Fuel Production by Supercritical Methanol Treatment**. Journal of Bioresource Technology, 91(2004) 289-295.
- [5] Zaher, F. **Utilization of used frying oil as diesel engine fuel**. Energy Sources, 25(2003) 819-826.
- [6] Felizardo, P., Correia, M.J.N., Raposo, I., Mendes, J.F., Berkemeier, R., Bordado, J.M. **Production of Biodiesel from Waste Frying Oils**. Journal of Waste Management, 26(2006) 487-494.
- [7] Cherng, Y.L., Hsiu, A.L., Lang, B.H. **Fuel Structure and Properties of Biodiesel produced by the Peroxidation Process**. Fuel, 85(2006) 1743-1749.
- [8] Wang, Y., Hollingsworth, R.L., Kasper, D.L. **Ozonolytic Depolymerization of Polysaccharides in Aqueous Solution**. Carbohydr.Res., 319(1999) 141-147.
- [9] พลังงานทดแทน ไบโอดีเซลและเอทานอล. บทความและงานวิจัย. คณะกรรมการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร.
- [10] Ma, F., Hanna, M.A. **Biodiesel Production: A Review**. Bioresource Technology, 70(1999) 1-15.
- [11] Schuchardt, U., Sercheli, R., Vargas, R. M. **Transesterification of vegetable oils : a review**. J Braz Chem Soc, 9(1998) 199-210.
- [12] Dmytryshyn, S.L., Dalai, A. K., Chaudhari, S. T., Mishra, H. K., Reaney, M. K.

Synthesis and characterization of vegetable oil derived ester : evaluation for

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- their diesel additive properties.** *Bioresource Technology*, 92(2004) 55-64.
- [13] Weiliang, C., Hengwen, H., Jingchang, Z. **Preparation of biodiesel from soybean oil using supercritical methanol and co-solvent.** *Fuel* 84 (2005) 347-351.
- [14] Ayhan Demirbas. **Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey.** *Energy Conversion and Management*, 44(2003) 2093-2098.
- [15] สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. **ข้อดี ข้อด้อยของไบโอดีเซล.**
[Online]. Available : http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/adv_disadv.php
- [16] คณะวิชาสัตวศาสตร์ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกาญจนบุรี. **ไบโอดีเซลจากน้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้ว.** [Online]. Available : <http://www.riverkwai.co.th/kaset/bio.html>
- [17] สิริภักดิ์ สระตันดี. **ปฏิบัติการชีวเคมีเบื้องต้น.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 73-81.
- [18] Dorado, M.P. และคณะ. **Kinetic Parameter Affecting the Alkali-Catalyzed Transesterification Process of Used Olive Oil.** *Energy Fuels*, 18 (2004) 1457-1462.
- [19] Encinar, J.M. และคณะ. **Biodiesel from Used Frying Oil. Variables Affecting the Yields and Characteristics of the Biodiesel.** *Eng. Chem.*, 44 (2005) 5491-5499.
- [20] Tomasevic AV, Marinkovic SS. **Methanolysis of Used Frying Oil.** *Fuel Process Technol*, 81 (2003) 1-6.
- [21] Lin CY, Lin HA, and Hung LB. **Fuel Structure and Properties of Biodiesel Produced by The Peroxidation Process.** *Fuel*, 85(2006) 1743-1749.