

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

BIODIESEL SYNTHESIS IN A TUBULAR REACTOR



อนวัช ดรงค์ภินนท์
ANAWAT DURONGPINON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย

รพ.

ด 1621

๒๕๔๗

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-9680-23-5

เลขหมู่.....

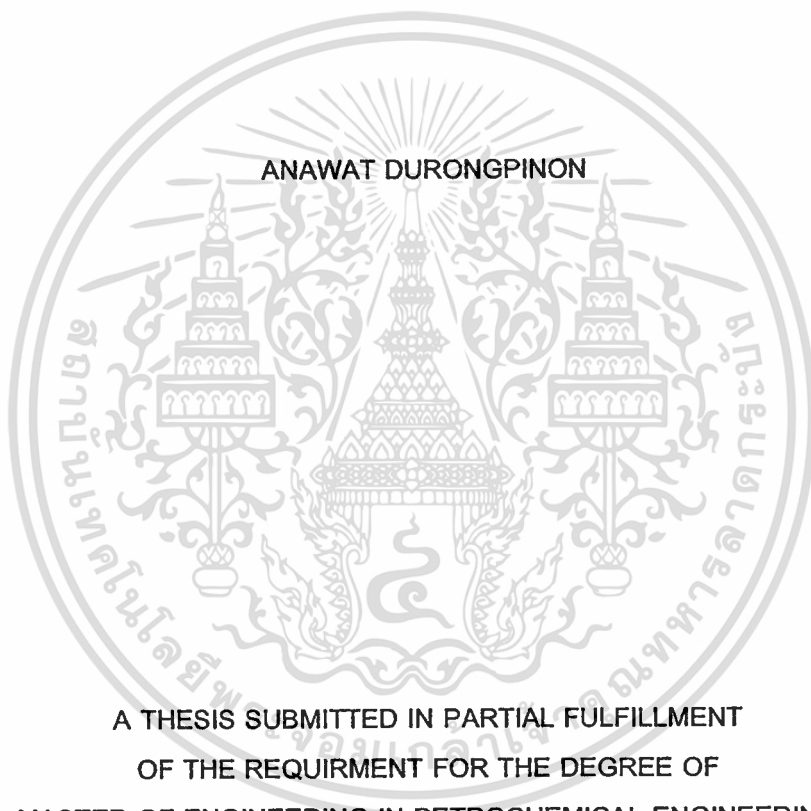
เลขทะเบียน...50952...

วัน,เดือน,ปี 26 พ.ค. 2547

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BIODIESEL SYNTHESIS IN A TUBULAR REACTOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN PETROCHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974-9680-23-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ
นักศึกษา	นายอนวัช ดุรงค์ภินนท์
รหัสประจำตัว	43061214
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมปิโตรเคมี
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. ประกอบ กิจไชยา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมันปาล์ม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ระบบต่อเนื่องแบบท่อ ซึ่งภายในบรรจุด้วยเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ที่สามารถช่วยในการผสมน้ำมันและเมทานอลเพื่อให้ทำปฏิกิริยาได้ดี อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 90, 110 และ 130°C ที่ความดัน 8 บาร์ อัตราส่วนความเข้มข้นโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชเป็น 6:1 และ 4.5:1 พบว่า เมื่อแปรค่าเรเดนซีไทม์ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณ เมทิลเอสเทอร์สูงและมีความหนืดต่ำมีอยู่ 2 ช่วง คือ ที่เรซิเดนซีไทม์ 15 และ 42 นาที ซึ่งอธิบายได้จากการผสมที่ดีเนื่องจากอัตราการไหลและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพียงพอ ตามลำดับ เมื่อแปรค่าอุณหภูมิพบว่า ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และหากไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วอัตราการเกิดปฏิกิริยา จะช้ามากแม้จะใช้อุณหภูมิสูง อัตราส่วนไศย์โมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชที่ 6:1 ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีกว่า อัตราส่วน 4.5:1

สภาวะการทดลองที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืด ณ 40°C ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานน้ำมันดีเซล ASTM D 975 (ความหนืด 1.3 ถึง 4.1 เซนติสโตคร) โดยจะมีปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพมากกว่า 95% โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สภาวะที่เรซิเดนซีไทม์ต่ำประมาณ 15 นาที อัตราส่วนความเข้มข้นโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชเป็น 6:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 110 และ 130°C ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืด 3.3 และ 3.1 เซนติสโตคร ปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพ 95 และ 98 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

Thesis Title	Biodiesel Synthesis in a Tubular Reactor
Student	Mr. Anawat Durongpinon
Student ID.	43061214
Degree	Master of Engineering
Program	Petrochemical Engineering
Year	2004
Thesis Adviser	Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya

ABSTRACT

This research proposes a study of transesterification of palm oil and methanol. The reaction was catalysed by 0.1%wt sodium hydroxide in a continuous tubular reactor. Static mixer was installed inside the reactor for enhancing the mixing as well as improving the reaction rate. Reaction conditions were temperature at 90, 110 and 130°C, pressure at 8 bar, and the methanol to oil molar ratios at 6:1 and 4.5:1. It was found that two values of the residence time, which could provide low-viscosity methyl ester products, were 15 and 42 minutes. The short residence time, 15 minutes, led to good mixing inside the reactor. Meanwhile, the longer residence time, 42 minutes, provided a sufficient long reaction time without the good mixing. Raising temperature and methanol to oil molar ratio enhanced reaction rate. The presence of catalyst was significant to this reaction.

Two reaction conditions, which could provided the product viscosity that met ASTM-D-975, were the residence time at 15 minutes, the methanol to oil molar ratio at 6:1, and the reaction temperatures at 110 and 130°C. The product viscosity and methyl ester yield of these two reaction conditions were 3.1 cSt and 95 and 98%wt, respectively.

II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี จากความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่าน ก่อนอื่น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและ คำปรึกษาอันมีคุณค่ายิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และแนวคิด อีกทั้งตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของ วิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำหรับเงินทุนวิจัยที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับเครื่องมือต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณชัชวีร์ ไทยสุชาติ สำหรับคำปรึกษาที่ดี และคุณจักรพงศ์ ไชยบุรี ที่ให้ความ ช่วยเหลือในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

ขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโท ที่ร่วมศึกษาแลกเปลี่ยนความรู้

ขอขอบพระคุณ คุณดุรงค์ คุณเดือนจิตร และคุณดิเรก ดุรงค์ภินนท์ และขอขอบใจ คุณอนันตยา และเด็กหญิง อรورا ดุรงค์ภินนท์ สำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือให้ผู้วิจัยบรรลุ ในการต่อสู้กับอุปสรรคต่างๆ รวมทั้งเป็นแรงผลักดันให้งานวิจัยนี้สำเร็จเร็วยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณ ทุกคน ครูอาจารย์ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ข้อผิดพลาดประการใดเกิดจากความเขลาของข้าพเจ้า แต่เพียงผู้เดียว

อนวัช ดุรงค์ภินนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	3
2.1 น้ำมันดีเซล.....	3
2.1.1 เครื่องยนต์ดีเซล.....	3
2.1.2 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล.....	4
2.2 เชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกใหม่.....	7
2.2.1 สมบัติของน้ำมันพืชในการเป็นเชื้อเพลิง.....	8
2.2.2 ปัญหาของน้ำมันพืชในการเป็นเชื้อเพลิง.....	9
2.2.3 อนุพันธ์ของไตรกลีเซอไรด์ทดแทนน้ำมันดีเซล.....	10
2.3 น้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	14
2.3.1 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	15
2.3.2 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	17
2.3.3 กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	18
2.3.4 ตัวแปรของกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน.....	19
2.4 การใช้ น้ำมันดีเซลชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซล.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 เครื่องปฏิกรณ์.....	23
2.5.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ.....	23
2.5.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.....	23
2.5.3 เปรียบเทียบเครื่องปฏิกรณ์แบบดังกวนต่อเนื่องและแบบท่อ.....	23
2.6 เครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่.....	24
บทที่ 3 การทดลอง.....	25
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	25
3.2 สารเคมี.....	25
3.3 อุปกรณ์.....	26
3.4 วิธีการทดลอง.....	26
3.4.1 ศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ.....	26
3.4.2 กระบวนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์ต่อเนื่องแบบท่อ.....	26
3.4.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเรติเดนซ์ไทม์.....	27
3.4.4 การศึกษาผลของเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่.....	28
3.4.5 การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	28
3.4.6 การเก็บตัวอย่าง.....	28
3.5 การวิเคราะห์คุณภาพ.....	29
3.5.1 การหาค่าความหนืด.....	29
3.5.2 การวิเคราะห์สารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ.....	29
3.5.2.1 การเตรียมสารมาตรฐาน.....	30
3.5.2.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณของผลิตภัณฑ์.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	32
4.1 สมบัติของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ.....	32
4.1.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 ความหนืด.....	32
4.2 การวิเคราะห์ค่าความหนืดและปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	32
4.2.1 ผลของอุณหภูมิ.....	32
4.2.2 ผลของเรซินดีเซลชีวภาพ.....	33
4.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน.....	36
4.2.4 ผลของตัวผสมไร้การเคลื่อนที่.....	37
4.2.5 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	40
เอกสารอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก.....	44
ภาคผนวก ก การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	45
ภาคผนวก ข ผลการทดลองหาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์.....	48
ภาคผนวก ค ผลการทดลองหาปริมาณผลิตภัณฑ์.....	50
ภาคผนวก ง การคำนวณหาค่าความดันของระบบ.....	55
ประวัติผู้เขียน.....	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลในแต่ละประเทศ.....	6
2.2 คุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว.....	7
2.3 คุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า.....	8
2.4 สมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช.....	9
2.5 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันชนิดต่างๆ.....	14
2.6 มาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพ ASTM D 6751.....	15
2.7 ข้อกำหนดมาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพในแต่ละประเทศ.....	16
2.8 การเลือกใช้ไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ เพื่อผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในแต่ละประเทศ.....	17
3.1 อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลกับน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลอง.....	28
4.1 คุณสมบัติ วิธีทดสอบตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซล ข้อกำหนดกระทรวงพาณิชย์ มาตรฐาน ASTM D 975 และคุณสมบัติน้ำมันดีเซลชีวภาพ น้ำมันดีเซล และน้ำมัน ดีเซลชีวภาพผสม.....	36

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของการสลายตัวด้วยความร้อนของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไพโรไลซิส.....	10
2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	13
2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	13
2.4 เครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่.....	24
3.1 เครื่องปฏิกรณ์ต่อเนื่องแบบท่อที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 ไดอะแกรมการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ.....	27
3.3 เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ (Saybolt) ของ Koehler รุ่น K21590.....	30
3.4 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี.....	30
4.1 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน เป็น 6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เรซินเดนซีโม่ต่างๆ.....	33
4.2 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล ต่อน้ำมันเป็น 6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เรซินเดนซีโม่ต่างๆ.....	33
4.3 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน เป็น 4.5:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เรซินเดนซีโม่ต่างๆ.....	34
4.4 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล ต่อน้ำมันเป็น 4.5:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เรซินเดนซีโม่ต่างๆ.....	34
4.5 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุณหภูมิ 130°ซ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล ต่อน้ำมันเป็น 6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เรซินเดนซีโม่ต่างๆ.....	38
4.6 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากอุณหภูมิ 130°ซ อัตราส่วนโดยโมล ของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เรซินเดนซีโม่ต่างๆ.....	38
4.7 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุณหภูมิ 130°ซ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล ต่อน้ำมันเป็น 6:1 ที่เรซินเดนซีโม่ต่างๆ.....	39
4.8 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากอุณหภูมิ 130°ซ อัตราส่วนโดยโมล ของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ที่เรซินเดนซีโม่ต่างๆ.....	39

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยขาดแคลนแหล่งทรัพยากรด้านพลังงานปิโตรเลียม ทำให้ต้องนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศจำนวนมาก ซึ่งคิดเป็นมูลค่ามหาศาลในแต่ละปี และราคาน้ำมันปิโตรเลียมดิบในตลาดโลกมีความผันผวนด้านราคาขึ้นลงตลอดเวลา จากผลกระทบในเรื่องของราคาและการขาดดุลการค้า ทำให้มีการมองหาแหล่งพลังงานใหม่ที่จะนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียม น้ำมันพืชสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนที่น้ำมันดีเซลจากน้ำมันปิโตรเลียมได้ [1] และเป็นที่น่าสนใจเนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย โดยที่เป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่ดี แก๊สที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้แทบจะไม่มีสารประกอบซัลเฟอร์เลย อีกทั้งยังมีแหล่งกำเนิดที่สามารถสร้างทดแทนใหม่ได้ (Renewable Resource) ยิ่งไปกว่านั้นพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศในการสังเคราะห์แสง ทำให้ช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ซึ่งบรรเทาการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ แต่ปัญหาของการใช้น้ำมันพืชแทนที่น้ำมันดีเซลคือ น้ำมันพืชมีความหนืดค่อนข้างสูงเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของไตรกลีเซอไรด์ เมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน อาจเกิดปัญหาการอุดตันของหัวฉีด ทำให้มีการค้นคว้าอนุพันธ์อื่นๆ ของไตรกลีเซอไรด์

Fatty Acid Methyl Esters (FAMES) [2] เป็นที่รู้จักกันในชื่อน้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไตรกลีเซอไรด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เล็กลง โดยไฮดรอกซิลที่หมู่เอสเทอร์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของกรดไขมันคือน้ำมันดีเซลชีวภาพ หรือเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAMES) ซึ่งมีความหนืดลดลงจากน้ำมันพืชมากพอที่จะใช้แทนที่น้ำมันดีเซลได้ ซึ่งจากการทดลองใช้เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันกับเครื่องยนต์ดีเซล [3] พบว่ามีไฮโดรคาร์บอนและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้นในปริมาณน้อย และมีค่าสีเทนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพช่วยลดมลพิษทางอากาศ

น้ำมันดีเซลชีวภาพได้กลายเป็นทางเลือกใหม่สำหรับประเทศไทยเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม วัตถุประสงค์ที่สำคัญในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพคือน้ำมันพืช อีกทั้งประเทศไทยสามารถผลิตน้ำมันพืชได้เอง เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง ส่วนในด้านวิธีการผลิตนั้น กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องมีความน่าสนใจต่อการลงทุนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในเชิง

พาดินทรีย์ เนื่องจากอัตราการผลิตที่สูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ แต่มีข้อด้อยในการผสม ในท่อ เนื่องจากธรรมชาติของสารตั้งต้นทั้งสองไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน อาจปรับปรุงการผสมได้ โดยการติดตั้งเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ (Static Mixer)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ ที่มีตัวช่วยผสมไร้การเคลื่อนที่บรรจุอยู่ภายใน

1.2.2 ทำการสังเคราะห์และวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ สภาวะ อุณหภูมิ และความดัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการผลิต ในเชิงการค้า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเรซิเดนซ์ไทม์ ฯลฯ ที่มีต่อการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ แบบต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ และศึกษาสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากการ สังเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ

1.4 ขั้นตอนการทำวิจัย

1.4.1 ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชโดยการทำให้ ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1.4.2 ออกแบบและจัดสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

1.4.3 ทำการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพโดยใช้ปฏิกรณ์แบบท่อ

1.4.4 วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากกระบวนการผลิต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบข้อมูลการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ทำกรสังเคราะห์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่ จัดสร้างที่สภาวะ อุณหภูมิ และความดัน (ยังไม่พบว่ามียางงานไว้ในเอกสารวิชาการ) ซึ่งจะเป็น ข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตเชิงการค้าต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 น้ำมันดีเซล [4]

น้ำมันดีเซลเป็นปัจจัยหนึ่งที่ขาดไม่ได้ในอุตสาหกรรมของประเทศ มีการใช้กับรถบรรทุกหนัก รถเมล์ หัวรถจักร เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องจักรในเกษตรกรรม เหมืองแร่ เป็นต้น น้ำมันดีเซลคือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีทั้งพาราฟิน แนฟทีน โอลิฟิน และอะโรมาติก จำนวนคาร์บอนอะตอมอยู่ในช่วง 12 ถึง 18 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบโดยตรง (Straight-Run) แต่ในปัจจุบันเนื่องจากมีกระบวนการแตกตัวในโรงกลั่นหลายกระบวนการ จึงอาจมีน้ำมันส่วนที่ได้จากการแตกตัวผสมอยู่ เพื่อเพิ่มปริมาณให้สอดคล้องกับอุปสงค์ที่เพิ่มขึ้นตลอดเวลาโดยที่ราคายังถูกที่สุดอยู่ ช่วงจุดเดือดที่กว้างซึ่งอยู่ระหว่าง 150 ถึง 370°C น้ำมันดีเซลอาจจะประกอบด้วยน้ำมันที่มีคุณภาพต่างกันหลายสมบัติ เช่น ความหนืด ค่าซีเทน จุดวาบไฟ การกลายเป็นไอ เป็นต้น ASTM D 975 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลของประเทศสหรัฐอเมริกาได้แบ่งน้ำมันดีเซลออกหลายประเภท ซึ่งข้อกำหนดในแต่ละประเทศขึ้นกับภูมิประเทศและสภาพอากาศที่ใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 แต่ในประเทศไทยมีอยู่ 2 ประเภทเท่านั้น คือ น้ำมันดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้า น้ำมันดีเซลทั้งสองประเภทแม้จะคล้ายคลึงกัน แต่มีความต้องการด้านคุณภาพต่างกัน โดยน้ำมันดีเซลหมุนเร็วจะมีข้อกำหนดคุณภาพที่เข้มงวดกว่า เพื่อให้เหมาะสำหรับเครื่องยนต์และการใช้งาน จึงมีราคาแพงกว่า

1. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์หมุนเร็ว หรือที่เป็นที่รู้จักในชื่อต่างๆ เช่น Automotive Diesel Oil (AOD), Gas Oil หรือน้ำมันโซลา น้ำมันดีเซลชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูงกว่า 1000 รอบต่อนาที เช่น รถกระบะ รถบรรทุก รถโดยสาร เป็นต้น

2. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์หมุนช้า หรืออาจรู้จักกันในชื่อ Industrial Diesel Oil (IDO) หรือน้ำมันซีได้ เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบปานกลางหรือรอบต่ำ เช่น เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือเดินทะเลและการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

2.1.1 เครื่องยนต์ดีเซล [5]

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูง และจุดระเบิดเอง (High Compression, Self Ignition Engine) ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบโดยไม่ต้องใช้หัวเทียน วงจรของเครื่องยนต์ประกอบด้วยขั้นตอนการส่งอากาศเข้าไป

ในห้องเผาไหม้ การอัดอากาศภายในกระบอกสูบ การฉีดเชื้อเพลิงเป็นฝอยเข้าไปซึ่งเผาไหม้ทันที แก๊สจากการเผาไหม้ขยายตัว และปล่อยแก๊สจากการเผาไหม้ออกไป

เครื่องยนต์ดีเซลมีหลายขนาด เช่น อาจมีกำลังเพียงไม่กี่แรงม้า ไปจนถึงกำลังหลายพันแรงม้า ความเร็วรอบเริ่มจาก 100 รอบต่อนาที ไปจนถึง 4,000 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่พัฒนาแล้วอย่างสมบูรณ์ทั้งในแง่การขนส่ง การผลิตกำลังไฟฟ้า และอื่นๆ จึงอาจแบ่งได้เป็น

1. ชนิดรอบต่ำ คือ น้อยกว่า 300 รอบต่อนาที ใช้สำหรับงานหนักต่อเนื่อง โดยมีรอบคงที่ เช่น การขับเคลื่อนเรือเดินทะเล การผลิตกำลังไฟฟ้า
2. ชนิดรอบปานกลาง คือ ระหว่าง 300 ถึง 1,000 รอบต่อนาที ใช้สำหรับงานที่ค่อนข้างหนัก และรอบค่อนข้างคงที่ เช่น สถานีผลิตไฟฟ้า สถานีสูบน้ำ เป็นต้น
3. ชนิดรอบสูง คือ ตั้งแต่ 1,000 รอบต่อนาทีขึ้นไป ใช้สำหรับงานที่มีความเปลี่ยนแปลงบ่อยๆ และความเร็วเปลี่ยนแปลงไปมามาก เช่น รถขนส่ง รถบรรทุก และรถไฟ

2.1.2 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล [6]

1. ค่าความหนืด เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความต้านทานในตัวต่อการไหลของน้ำมัน คือ น้ำมันที่มีความหนืดน้อยจะไหลได้ง่าย ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดมากกว่าจะไหลได้ยากกว่า ความหนืดมีผลต่อระบบการฉีดน้ำมัน และยังมีส่วนในการหล่อลื่นปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงอีกด้วย โดยน้ำมันที่มีความหนืดมากเกินไป จะทำให้ละอองน้ำมันที่ฉีดออกไปไม่กระจายเท่าที่ควร แต่หากน้ำมันมีความหนืดน้อยเกินไปก็จะไม่เพียงพอสำหรับการหล่อลื่น

2. เลขซีเทน เป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพในการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง กล่าวคือ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการจุดระเบิดและการลุกติดไฟได้เร็ว ยิ่งค่าซีเทนมีค่าสูงเท่าใดก็ยิ่งจะมีช่วงเวลาความล่าช้าในการจุดระเบิดสั้นลง และทำให้มีปริมาณของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการจุดระเบิดมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนที่สูงกว่าจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันที่น้อยกว่า และทำให้ควบคุมการเผาไหม้ได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์เนื่องจากมีช่วงเวลาความล่าช้าในการจุดระเบิดสั้น ทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมในห้องเผาไหม้จะลดลงก่อนถึงการลุกติดไฟ และยังลดปริมาณการปล่อยไฮโดรคาร์บอนและแก๊สจําพวกไนโตรเจนออกไซด์ได้อีกด้วย นอร์มัลเฮกซะเดกเคน (ซีเทน) ซึ่งสามารถติดไฟได้ง่ายได้ถูกกำหนดให้มีค่าซีเทนเป็น 100 และให้เฮปตะเมทิลโนเนนที่ติดไฟยากมีค่าซีเทนเป็น 15 ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนสูงก็จะมีความสามารถในการต้านทานการน็อคของเครื่องยนต์ที่มากขึ้นด้วย

3. ดัชนีซีเทน เป็นค่าประมาณสำหรับค่าซีเทน เนื่องจากการหาค่าซีเทนต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลพิเศษโดยเฉพาะ ในการเปรียบเทียบคุณภาพในการจุดระเบิดกับเชื้อเพลิงมาตรฐาน ซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายสูงและสิ้นเปลืองเวลา จึงได้มีการประมาณค่าซีเทนด้วยดัชนีซีเทนซึ่ง

สามารถคำนวณได้จากการวัดค่าความถี่ไอและอุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

4. จุดวาบไฟ เป็นอุณหภูมิต่ำที่สุดที่น้ำมันเชื้อเพลิงจะระเหยกลายเป็นไอน้ำมันมากพอที่ลุกติดไฟได้เมื่อถูกกับเปลวไฟ จุดวาบไฟมีความสำคัญในการขนส่งและการสำรองเชื้อเพลิงในถังของอันตรายจากอัคคีภัย นอกจากนี้ น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำยังก่อให้เกิดการลื่นเปื้อน เนื่องจากจะมีการระเหยเมื่อไปเกาะอยู่ตามผนังกระบอกสูบ น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมโดยทั่วไปกำหนดให้มีจุดวาบไฟไม่ต่ำกว่า 52°C

5. อุณหภูมิการกลั่น เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการระเหยของน้ำมัน มีผลต่อเครื่องยนต์ดังนี้

5.1 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แสดงถึงความยากง่ายในการติดเครื่องยนต์ ยิ่งมีค่ามากเครื่องยนต์จะยิ่งติดยาก

5.2 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นจุดที่จะทำให้การอุ่นเครื่องยนต์ทำได้เร็ว การกระจายไอน้ำมันไปยังกระบอกสูบต่างๆ เป็นไปอย่างสม่ำเสมอและปรับส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศได้ถูกต้องตลอดเวลา ทำให้เร่งเครื่องได้ดี เครื่องยนต์มีพลังงานสูง

5.3 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ต้องมีการกำหนดค่าสูงสุดไว้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานให้ได้พลังงานสูงสุดและประหยัดเชื้อเพลิง

5.4 อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุดและส่วนที่เหลือจากการกลั่น มีการกำหนดค่าสูงสุดไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันที่ไม่เผาไหม้เกิดการผสมกับน้ำมันเครื่องมากเกินไป

6. ปริมาณกำมะถัน ในน้ำมันดีเซลนั้นอยู่ในรูปต่างๆ เช่น เมอร์แคปแทน ซัลไฟด์ และไดซัลไฟด์ เป็นต้น กำมะถันเมื่อผ่านห้องเผาไหม้แล้วจะเปลี่ยนเป็นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้น กลายเป็นกรดกำมะถัน ก่อให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

จะเห็นได้ว่าสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซลมีหลายประการ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และเพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของน้ำมันดีเซลให้เป็นผลดีกับเครื่องยนต์และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนทำให้สามารถใช้เครื่องยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดทางรัฐบาลไทยโดยกระทรวงพาณิชย์จึงได้กำหนดมาตรฐานของน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดคุณภาพน้ำดื่มที่เสถียรในแต่ละประเทศ [7]

	Australia	China	India	Japan	Singapore	South Korea	Thailand	Mexico	U.S. ASTM D 975	California (U.S.A)	European Union
ภทร	2002	-	-	-	-	-	-	D	No.2	CARB	EN 590
สีทอนมันเบอร์, ไม่ต่ำกว่า	-	45	48	50	49	-	47	42	40	48	51
ดัชนีชี้แทน, ไม่ต่ำกว่า	46	-	-	45	-	45	47	45	-	-	46
ความหนามัน (kg/m ³) @ 15°ซ	820-860	-	820-870	-	-	-	810-870	820-880	-	820-870	820-860
ความหนืด ณ 37.8°ซ (cSt)	2.0-4.5	3.0-8.0	2.0-5.0	2.7	-	2.0-5.8	1.8-4.1	-	1.3-4.1	2.0-4.1	2.0-4.5
อุณหภูมิการกลั่น (°ซ)	-	300	-	-	-	-	-	245-310	-	243-293	-
50%vol.	-	-	350	360	-	-	-	370	-	-	350
85%vol.	-	350	-	-	370	360	350	-	338	288-321	-
90%vol.	370	365	370	-	-	-	-	-	-	-	360
กำหนดกัน (ppm), ไม่สูงกว่า	500	2000-10000	2500	500	500	500	500	3500	5000	500	3500
อะโรมาติก (%vol.), ไม่สูงกว่า	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-
โพลิตะโรมาติก (%vol.), ไม่สูงกว่า	-	-	-	11	-	-	-	-	-	1.4	11
จุลชีพไฟ (°ซ), ไม่ต่ำกว่า	-	-	35	50	-	-	52	-	52	54	55
ภาคถ่าน 10% (%wt), ไม่สูงกว่า	-	0.3	0.3	0.2	-	-	0.05	0.25	-	0.15	0.3
CFPP (°ซ), ไม่สูงกว่า	-	65	6', 18"	-5	-	-	-	-	-	-	-
จุดไหลเท (°ซ), ไม่สูงกว่า	-	-7	3', 15"	-7.5	-	-10', 0"	10	-	-	-	-
จุดหมอก (°ซ), ไม่สูงกว่า	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
น้ำและตะกอน (%vol.), ไม่สูงกว่า	-	0.05	-	-	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.0024
น้ำ (%vol.), ไม่สูงกว่า	-	0.03	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-
ตะกอน (mg/100ml), ไม่สูงกว่า	-	-	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-
เหล็ก (%wt), ไม่สูงกว่า	-	0.01	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	-
ความเป็นกรด (mg KOH/g), ไม่สูงกว่า	-	0.5	0.2	-	-	0.01	-	-	-	-	-

หมายเหตุ *ในฤดูร้อน และ *ไม่กำหนด, CFPP คือ Cold Filter Plugging Point

ตารางที่ 2.2 คุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว [6]

ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด	วิธีทดสอบ
1. ความต้งจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6°ซ	ไม่ต่ำกว่า 0.81 และ ไม่สูงกว่า 0.87	ASTM D 1298
2.1 เลขซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 47	ASTM D 613
2.2 ดัชนีซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 47	ASTM D 976
3. ความหนืดคิเนมาติก ณ อุณหภูมิ 40°ซ, เซนติสโตคร	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และ ไม่สูงกว่า 4.1	ASTM D 445
4. จุดไหลเท, °ซ	ไม่สูงกว่า 10	ASTM D 97
5. ธาตุกำมะถัน, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D 2622 หรือวิธีอื่นที่เทียบเท่า
6. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง, หมายเลข	ไม่สูงกว่า 1	ASTM D 130
7. กากดำ, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D 189
8. น้ำและตะกอน, ร้อยละโดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D 2709
9. เถ้า, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.01	ASTM D 482
10. จุดวาบไฟ, °ซ	ไม่ต่ำกว่า 52	ASTM D 93
11. การกลั่น อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละ 90, °ซ	ไม่สูงกว่า 357	ASTM D 86
12. สี	ไม่สูงกว่า 4.0	ASTM D 1500
13. มีสารเติมแต่ง ซึ่งมีสมบัติในการทำความสะอาดหัวฉีด	-	-
14. สมบัติในการหล่อลื่น ทดสอบโดยวิธีเอช เอฟ อาร์อาร์, ไมโครเมตร	ไม่สูงกว่า 460	CEC F- 06-A-96

ที่มา ประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2541)

เรื่อง กำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว

2.2 เชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกใหม่

เชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกใหม่จะต้องได้รับการยอมรับทางเทคนิค แข่งขันได้ในทางเศรษฐศาสตร์ ได้รับการยอมรับทางด้านสิ่งแวดล้อม จากความต้องการข้างต้น ไตรกลีเซอไรด์ (น้ำมันพืช/ไขมันสัตว์) และอนุพันธ์น่าจะใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ น้ำมันพืชได้จากหลายแหล่งและสามารถสร้างใหม่ได้ มีซัลเฟอร์ในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งต่างจากน้ำมันดีเซลที่ได้จากไฮโดรคาร์บอน ลดการทำลายสิ่งแวดล้อมจากกรดซัลฟูริก ยิ่งไปกว่านั้นน้ำมันพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศในการสังเคราะห์ ซึ่งบรรเทาการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ การใช้น้ำมันพืช เช่น น้ำมันปาล์ม ถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน ถั่วลิสง และน้ำมัน

มะกอก เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล มีมานานเกือบ 9 ทศวรรษแล้ว เนื่องมาจากการลดลงอย่างรวดเร็วของปริมาณน้ำมันดิบ

ตารางที่ 2.3 คุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า [6]

ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด	วิธีทดสอบ
1. ความต้งจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6°ซ	ไม่สูงกว่า 0.92	ASTM D 1298
2.1 จำนวนซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 45	ASTM D 976
2.2 ดัชนีซีเทน		ASTM D 613
3. ความหนืดคินเนมาติก, เซนติสโตคร ณ อุณหภูมิ 40°ซ หรือ ณ อุณหภูมิ 50°ซ	ไม่สูงกว่า 8.0 สูงกว่า 6.0	ASTM D 445 ASTM D 445
4. จุดไหลเท, °ซ	ไม่สูงกว่า 16	ASTM D 97
5. ธาตุกำมะถัน, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 1.5	ASTM D 129 หรือวิธีอื่นที่เทียบเท่า
6. น้ำและตะกอน, ร้อยละโดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า 0.3	ASTM D 2709
7. เถ้า, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.02	ASTM D 482
8. จุดวาบไฟ, °ซ	ไม่ต่ำกว่า 52	ASTM D 93
9. สีมาตรฐาน เอเอสทีเอ็ม	ไม่ต่ำกว่า 4.5 และ ไม่สูงกว่า 7.5	ASTM D 1500

ที่มา ประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2523)

เรื่อง กำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า

การใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลจึงได้รับการส่งเสริมในหลายประเทศ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศและดินที่ต่างกัน ทำให้แต่ละประเทศกำลังมองหา น้ำมันพืชที่แตกต่างกันในการใช้เป็นเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล เช่น น้ำมันถั่วเหลืองในอเมริกา น้ำมันเรพซิดและทานตะวันในยุโรป น้ำมันปาล์มในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และน้ำมันมะพร้าวในฟิลิปปินส์ ซึ่งกำลังพิจารณาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันดีเซล

2.2.1 สมบัติของน้ำมันพืชในการเป็นเชื้อเพลิง [2,3,8]

สมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ความหนืดคินเนมาติกของน้ำมันพืชเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 30 ถึง 40 เซนติสโตคร ที่ 38°ซ ความหนืดที่สูงนี้เกิดจากโมเลกุลและสูตรโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่มากของไตรกลีเซอไรด์ น้ำมันพืชมีน้ำหนักโมเลกุลมากอยู่ในช่วง 600 ถึง 900 ซึ่งสูงกว่าของน้ำมันดีเซลมากกว่า 3 เท่า จุดวาบไฟสูงมาก (มากกว่า 200°ซ) ค่าการให้ความร้อนอยู่ในช่วง 39 ถึง 40 MJ/kg ซึ่งต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (45 MJ/kg) จำนวนออกซิเจนใน

น้ำมันดีเซลทำให้ค่าการให้ความร้อนลดลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เลขซีเทนอยู่ในช่วง 32 ถึง 40 ค่าไอโอดีอยู่ในช่วง 0 ถึง 200 ส่วนจุดเกิดหมอกและจุดไหลเทของน้ำมันพืชสูงกว่าน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 2.4 สมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช [8]

Vegetable Oil	Kinematic Viscosity at 38°C	Cetane Number	Heating Value	Cloud Point	Pour Point	Flash Point	Density	Carbon Residue	Ash	Sulphur
	mm ² /s		MJ/kg	°C	°C	°C	kg/l	%wt	%wt	%wt
Corn	34.9	37.6	39.5	-1.1	-40.0	277	0.9095	0.24	0.010	0.01
Cottonseed	33.5	41.8	39.5	1.7	-15.0	234	0.9148	0.24	0.010	0.01
Crambe	53.6	44.6	40.5	10.0	-12.2	274	0.9044	0.23	0.050	0.01
Linseed	27.2	34.6	39.3	1.7	-15.0	241	0.9236	0.22	<0.010	0.01
Peanut	39.6	41.8	39.8	12.8	-6.7	271	0.9262	0.24	0.005	0.01
Rapeseed	37.0	37.6	39.7	-3.9	-31.7	246	0.9115	0.30	0.054	0.01
Safflower	31.3	41.3	39.5	18.3	-6.7	260	0.9144	0.25	0.006	0.01
H.O.Safflower	41.2	49.1	39.5	-12.2	-20.6	293	0.9021	0.24	<0.001	0.02
Sesame	35.5	40.2	39.3	-3.9	-9.4	260	0.9133	0.25	<0.010	0.01
Soya bean	32.6	37.9	39.6	-3.9	-12.2	254	0.9138	0.27	<0.010	0.01
Sunflower	33.9	37.1	39.6	7.2	-15.0	274	0.9161	0.23	<0.010	0.01
Palm	39.6	42.0	-	31.0	-	267	0.9180	-	-	-
Babassu	30.3	38.0	-	20.0	-	150	0.9460	-	-	-
Tallow	-	-	40.0	-	-	201	-	6.21	-	-

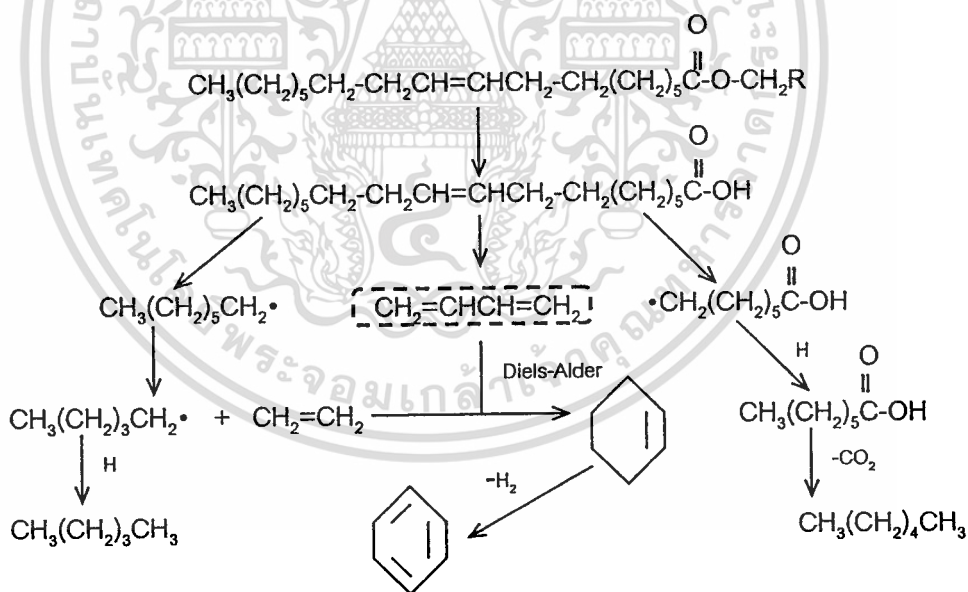
2.2.2 ปัญหาของน้ำมันพืชในการเป็นเชื้อเพลิง [3,8]

การใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปทำให้เกิดปัญหา ซึ่งสัมพันธ์กับชนิดและเกรดของน้ำมันและสภาพภูมิอากาศ การฉีด Atomization และการเผาไหม้ของน้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นแตกต่างอย่างมากกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ความหนืดที่สูงมากของน้ำมันพืชสร้างปัญหาให้กับกระบวนการฉีด ทำให้น้ำมัน Atomization ไม่ดี การผสมกันของน้ำมันกับอากาศไม่ดี ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จุดวาบไฟที่สูงมากของมันเป็นผลมาจากค่าการเป็นไอที่ต่ำ ซึ่งทำให้เกิดการตกตะกอน โดยเกิดเป็นคาร์บอนจุดตันที่หัวฉีด และยังเกิดการเงี้ยวและสลายตัวในน้ำมันหล่อลื่น และจากคุณสมบัติที่มีความหนืดที่สูง ความเป็นไอต่ำของน้ำมันพืช เป็นผลให้การสตาร์ทเครื่องยนต์เมื่ออากาศเย็นทำได้ยาก การทำงานผิดพลาด และการจุดระเบิดคลาดเคลื่อน น้ำมันพืชเกิดโพลีเมอร์ขึ้นได้จากทั้งความร้อนและออกซิเดชัน ทำให้เกิดการตกตะกอนในหัวฉีด เกิดเป็นฟิล์มที่อุดตันการไหลของเชื้อเพลิงและกระบวนการเผาไหม้ ส่วนในระยะยาวน้ำมันพืชทำให้เกิดยางเหนียว ทำให้แหวนลูกสูบติด ปัญหาอื่นๆ คือ ใช้น้ำมันกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไป ซึ่งเครื่องยนต์ต้องทำการปรับปรุงอีกมาก

2.2.3 อุนพันธ์ของไตรกลีเซอไรด์ทดแทนน้ำมันดีเซล [2,8]

รูดอล์ฟ ดีเซล ผู้คิดค้นเครื่องยนต์ดีเซล ได้ใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ในการทดสอบเมื่อปี ค.ศ.1900 เชื้อเพลิงจากน้ำมันพืชจึงมีความเป็นไปได้ในการแทนที่น้ำมันดีเซล แม้ว่าความคิดที่จะใช้น้ำมันพืชมีมาเป็นเวลานานแล้ว แต่ไม่จริงจังนัก เนื่องจากส่วนใหญ่การทดสอบในระยะสั้นให้ผลที่น่าพอใจ แต่ผลในระยะยาวกลับมีปัญหาอย่างรุนแรงกับเครื่องยนต์ เนื่องจากความหนืดที่สูง ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมีของไตรกลีเซอไรด์ และมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จึงมีความพยายามในการพัฒนาอุนพันธ์ของน้ำมันพืชที่มีคุณสมบัติและให้ผลเหมือนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ปัญหาของการใช้ไตรกลีเซอไรด์แทนน้ำมันดีเซล ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ ความหนืดที่สูง ความเป็นไอที่ต่ำ และลักษณะที่เป็น Polyunsaturated ของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งทั้งนี้สามารถลดปัญหาดังกล่าวลงได้โดย 4 วิธี คือ

1. ไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน (ในช่วง 450 ถึง 850°C) ในสภาวะไร้ออกซิเจนหรืออากาศ หรือทำในบรรยากาศของไนโตรเจน ผู้ค้นคว้าหลายๆ คนได้ทำการศึกษาไพโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล การศึกษารวมถึงผลทางอุณหภูมิกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (ส่วนใหญ่ใช้เกลือของโลหะ) เพื่อให้ได้พาราฟินและโอเลฟินเหมือนน้ำมันดีเซล



รูปที่ 2.1 ลักษณะของการสลายตัวด้วยความร้อนของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไพโรไลซิส

การสลายตัวด้วยความร้อนของไตรกลีเซอไรด์ เกิดเป็นสารประกอบอัลเคน อัลคีน อัลคอะไดอิน อะโรมาติก และกรดคาร์บอกซิลิก จากการไพโรไลซิส ของไตรกลีเซอไรด์

กลไกการเกิดปฏิกิริยานั้นค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากมีโครงสร้างและปฏิกิริยาที่เป็นไปได้มากมาย โดยทั่วไปการสลายตัวด้วยความร้อนของโครงสร้างมักเกิดผ่านกลไกอนุพลอิสระและคาร์โบเนียมไอออน รูปแบบอัลเคนและอัลคีนซึ่งมีความสัมพันธ์กันนั้น อธิบายได้จากการเกิดขึ้นของอนุพล RCOO จากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ หลังจากนั้นจึงเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

ส่วนอนุพล R ขณะที่เกิดการแยกส่วนและขจัดเอธิลีน ทำให้ได้อัลเคนและอัลคีนที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคู่ การแตกตัวที่ตำแหน่ง α , β ซึ่งทำให้เกิดเป็นพันธะไม่อิ่มตัว การเกิดไอโซเมอร์เฉพาะตำแหน่งและต่อเนื่องไปถึงการแตกตัว ทำให้มีปริมาณอัลเคนของ C_5 ถึง C_{10} มากขึ้น

การไพโรไลซิสของน้ำมันพืชนั้น มีสัดส่วนของเหลวใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการไพโรไลซิสประกอบด้วย 79 เปอร์เซ็นต์คาร์บอน และ 11.88 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจน [8] ความหนืดลดลงและเลขซีเทนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืช โดยเลขซีเทนเพิ่มจาก 37.9 เป็น 43 ความหนืดที่ 38°C ลดลงจาก 32.6 เป็น 10.2 เซนติสโตรค [8] แต่ยังคงมากกว่าที่กำหนด ซึ่งอยู่ที่ 4.1 เซนติสโตรค น้ำมันพืชที่ผ่านไพโรไลซิสมีปริมาณซัลเฟอร์ น้ำ และตะกอนที่ยอมรับได้ และยังมีค่าการกักกรองทองแดงที่ดี แต่มีค่า ปริมาณกากคาร์บอน และจุดไหลเทที่สูงเกินไป ซึ่งเครื่องยนต์ที่ทดสอบด้วยน้ำมันที่ไพโรไลซิสนั้นมีอายุการใช้งานต่ำ

2. ไมโครอิมัลชัน (Microemulsification) หมายถึงการทำให้เกิดสภาวะสมดุลของการกระจายตัวเป็นคอลลอยด์ของของไหลไอเซนโทรปิก ไมโครอิมัลชันมีเส้นผ่านศูนย์กลางหยดอยู่ในช่วง 100 ถึง 1000 Å สังเคราะห์จากน้ำมันพืช + เอสเทอร์ และสารช่วยกระจายตัว (Dispersant) ซึ่งเป็นตัวทำละลายร่วม (Co-solvent) หรือ น้ำมันพืช + แอลกอฮอล์ + สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) โดยอาจจะใช้น้ำมันดีเซลหรือไม่ก็ได้ เนื่องจากไมโครอิมัลชันจะมีส่วนประกอบของแอลกอฮอล์ จึงมีค่าการให้ความร้อนต่อปริมาตรต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่แอลกอฮอล์มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่สูง ทำให้มีแนวโน้มที่จะลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ซึ่งจะลดการจุดตันของหัวฉีด ไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันถั่วเหลือง:เมทานอล:2-Octanol:Cetane Improver (52.7:13.3:33.3:1) [8] ความหนืดลดลงเหลือ 11.2 เซนติสโตรค ที่ 25°C และในการทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า มีการสะสมของคาร์บอนรอบๆ รูทางเข้าของหัวฉีด และมีตะกอนหนักที่วาล์วไอดี

3. การทำให้เจือจาง (Dilution) การทำให้ น้ำมันพืชเจือจาง สามารถทำได้โดยใช้ตัวทำละลายหรือเอทานอล รวมทั้งน้ำมันดีเซลจากการเจือจางน้ำมันเมล็ดทานตะวันกับน้ำมัน

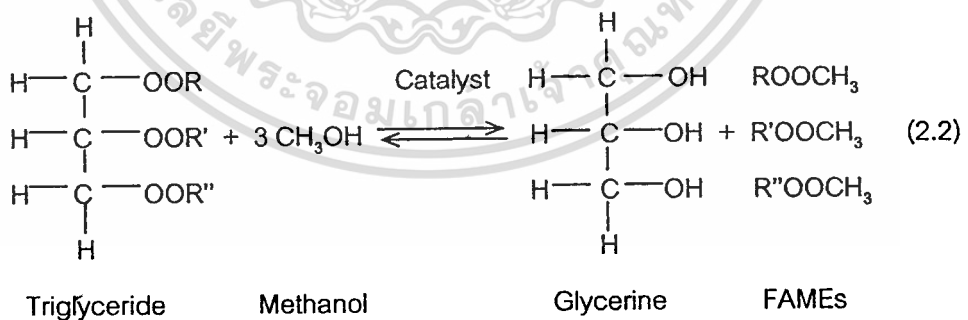
ดีเซล ด้วยอัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร แล้วทำการทดสอบในเครื่องยนต์ [3] พบว่า ความหนืดที่ได้จากการผสมเท่ากับ 4.88 เซนติสโตครด ที่ 40°C

การผสม (Blend) นี้ อาจก่อให้เกิดปัญหาเมื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบ Direct Injection ในระยะยาว เนื่องจากเกิดการอุดตันที่หัวฉีดอย่างรุนแรงจาก Coke และคราบเหนียวจากการเปรียบเทียบกับ การผสมกับน้ำมันดอกคำฝอยที่กรดโอเลอิกสูงนั้นให้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่การใช้ในระยะยาวนั้นไม่เหมาะสม การผสมของน้ำมันถั่วเหลืองกับ Stoddard Solvent (48 เปอร์เซ็นต์พาราฟิน, 52 เปอร์เซ็นต์แนฟทีน) ได้ความหนืด 5.12 เซนติสโตครด ที่ 38°C เชื้อเพลิงที่ได้เกิดการตกตะกอนของคาร์บอนหนักที่วาล์วไอดีและแหวนลูกสูบส่วนบน

4. ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification) หรือ แอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) คือ การเกิดขึ้นของแอลกอฮอล์จากเอสเทอร์กับแอลกอฮอล์อีกตัวหนึ่งในกระบวนการที่คล้ายกับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งใช้แอลกอฮอล์แทนที่จะเป็นน้ำ โดยมีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการนี้มีการใช้อย่างกว้างขวางในการลดความหนืดของไตรกลีเซอไรด์ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันดังแสดงในสมการที่ 2.1



เมื่อใช้เมทานอลในสมการข้างต้น ปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอลดังแสดงในสมการที่ 2.2



Fatty Acid Methyl Esters (FAMES) ซึ่งก็คือ น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) ซึ่งน่าจะใช้แทนที่น้ำมันดีเซล ซึ่งรายละเอียดของน้ำมันดีเซลชีวภาพจะแสดงในหัวข้อต่อไป

โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันได้แสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3

ขั้นแรกไตรกลีเซอไรด์ (TG) เปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ (DG) ขึ้นต่อมาไดกลีเซอไรด์ เกิดเป็นโมโนกลีเซอไรด์ (MG) จากนั้นโมโนกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นกลีเซอริน (G) ในแต่ละขั้นจะได้ เมทิลเอสเทอร์ (RCOOR) เป็นผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพใกล้เคียงกับน้ำมัน ดีเซล ดังนั้นน้ำมันดีเซลชีวภาพจึงกลายเป็นทางเลือกที่สำคัญที่จะแทนที่น้ำมันดีเซล ถ้ามีความ ต้องการใช้มากขึ้น

การเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นเมทิลหรือเอทิลเอสเทอร์ โดยปฏิกิริยาทรานส์เอส เทอร์ฟิเคชันลดมวลโมเลกุลเหลือ 1 ใน 3 ของ TG ความหนืดลดลงประมาณ 8 เท่า และเพิ่มความ เป็นไอ ความหนืดของไบโอดีเซลใกล้เคียงน้ำมันดีเซล เอสเทอร์นี้ประกอบด้วยออกซิเจน 10 ถึง 11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ให้สมบูรณ์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ค่าซีเทน ประมาณ 50 ค่าการให้ความร้อนต่อปริมาตรของไบโอดีเซลใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีเลขซีเทน และจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล

2.3 น้ำมันดีเซลชีวภาพ [2,8]

น้ำมันดีเซลชีวภาพมีนิยามว่าเป็นเอสเทอร์ที่มีหมู่อัลคิลหมู่เดี่ยวของกรดไขมันโซยาวจาก น้ำมันพืชและไขมันสัตว์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้เลยหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณ โดยทั่วไปแล้วน้ำมันดีเซลชีวภาพคือ กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชกับเมทานอล โดยมี คุณสมบัติหลักที่เหมือนน้ำมันดีเซล น้ำมันดีเซลชีวภาพมีคุณสมบัติแตกต่างกันตามชนิดของน้ำมัน ที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันชนิดต่างๆ [7]

เมทิลเอสเทอร์ ของน้ำมันพืช	ความหนืด mm ² /sec	ซีเทน นัมเบอร์	ค่า ความร้อน MJ/Liter	จุดหมอก °C	จุดวาบไฟ °C	ความ หนาแน่น g/L	กำมะถัน %wt
Peanut	4.9 (37.8°C)	54	33.6	5	176	0.883	
Soybean	4.5 (37.8°C)	45	33.5	1	178	0.885	
Babassu	3.6 (37.8°C)	63	31.8	4	127	0.879	
Palm	5.7 (37.8°C)	62	33.5	13	164	0.88	
Sunflower	4.6 (37.8°C)	49	33.5	1	183	0.86	
Tallow	-			12	96		
Rapeseed	4.2 (40°C)	51-59.7	32.8			0.882	
Used rapeseed	9.48 (30°C)	53	36.7		192	0.895	0.002
Used com oil	6.23 (30°C)	63.9	42.3		166	0.884	0.0013

น้ำมันดีเซลชีวภาพสังเคราะห์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับ แอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์ที่เหมาะสมคือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอมีลแอลกอฮอล์ แต่ที่นิยมใช้คือเมทานอล เนื่องจากมีราคาถูกและหาได้ง่าย บางครั้งใช้เอทานอลเพราะผลิตจากแหล่งหมุนเวียนได้ ชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้จะให้น้ำมันดีเซลชีวภาพมีคุณสมบัติส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน แต่มีสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืด จุดเกิดหมอก และจุดไหลเท

2.3.1 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

เนื่องจากน้ำมันดีเซลชีวภาพนั้นผลิตได้จากน้ำมันพืชและไขมันหลายชนิดที่มีคุณสมบัติต่างกัน มีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ดังนั้นการกำหนดคุณภาพมาตรฐานนั้นมีไว้เพื่อให้ น้ำมันดีเซลชีวภาพมีคุณภาพเป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่ง ASTM (American Society of Testing & Materials) ได้กำหนดมาตรฐาน D 6751 สำหรับน้ำมันดีเซลชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.6 และในประเทศต่างๆ ที่ปัจจุบันมีการผลิตและใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพกำหนดมาตรฐานไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2.7 นอกจากนี้ในแต่ละประเทศอาจใช้วัตถุดิบในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพ ASTM D 6751 [9]

คุณสมบัติ (ภาษาไทย)	Property	ASTM Method	ข้อกำหนด	หน่วย
จุดวาบไฟ	Flash Point	D 93	ไม่ต่ำกว่า 130	°C
น้ำและตะกอน	Water & Sediment	D 2709	ไม่สูงกว่า 0.050	%Volume
ความหนืด	Kinematic Viscosity (40 °C)	D 445	1.9-6.0	mm ² /sec
เถ้า	Sulfated Ash	D 874	ไม่สูงกว่า 0.020	%mass
กำมะถัน	Sulphur	D 5453	ไม่สูงกว่า 0.05	%mass
การกัดกร่อนทองแดง	Copper Strip Corrosion	D 130	ไม่สูงกว่า No.3	
ซีเทนัมเบอร์	Cetane	D 613	ไม่ต่ำกว่า 47	
จุดหมอก	Cloud Point	D 2500	รายงาน	°C
กากถ่าน 100% สารตัวอย่าง	Carbon Residue (100% Sample)	D 4530*	ไม่สูงกว่า 0.050	%mass
ความเป็นกรด	Acid Number	D 664	ไม่สูงกว่า 0.80	mg KOH/gm
กลีเซอรินอิสระ	Free Glycerine	D 6584	ไม่สูงกว่า 0.020	%mass
กลีเซอรินทั้งหมด	Total Glycerine	D 6584	ไม่สูงกว่า 0.240	%mass
ปริมาณฟอสฟอรัส	Phosphorous Content	D 4951	ไม่สูงกว่า 0.001	%mass
อุณหภูมิการกลั่น 90%vol.	Distillation Temperature (90% Recovered)	D 1160	ไม่สูงกว่า 360	°C

ตารางที่ 2.7 ข้อกำหนดมาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพในแต่ละประเทศ [9]

Specifications Standard/Specification	Units	Australia ONC1191	France -	Germany DINE51606	Italy UNI10635	Sweden SS155436	USA ASTM D6751	Draft EU EN14214
Introduction Date		Jly1997	Spt1997	Spt1997	Apr1997	Nov1996	2001	2001
Density @ 15°C	g/cm ³	0.85-0.89	0.87-.89	0.875-0.90	0.86-0.90	0.87-0.90	-	0.86-0.90
Viscosity @ 40°C	mm ² /s	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	1.9-6.0	3.5-5.0
Flash Point	°C	≥100	≥100	≥110	≥100	≥100	≥130	≥130
CFPP	°C	0/-15	-	0-10/-20	-	-5	-	0/-15
Pour Point	°C	-	-10	-	0/-15	-	-	-
Sulphur	%max	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01
CCR 100% max.		0.05	-	0.05	-	-	0.05	-
10% disti.residue	%max	-	0.3	-	0.5	-	-	0.3
Sulphated Ash max.	%max	0.02	-	0.03	-	-	0.02	0.01
(Oxide)Ash, max.	%mass	-	-	-	0.01	0.01	-	-
Water max.	mg/kg	-	200	300	700	300	≤0.05	500
Total Contaminants	mg/kg	-	-	20	-	20	-	-
Cu Corosion	3h/50°C	-	-	1	-	-	No.3	1
Cetane No.		≥49	≥49	≥49	-	≥48	≥47	≥47
Neutral No.		≤0.8	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.6	≤0.8	≤0.02
Methanol	%mass	≤0.20	≤0.01	≤0.3	≤0.02	≤0.02	-	≤0.02
Ester Content	%mass	-	≥96.5	-	≥98	≥98	-	≥96.5
Monoglyceride	%mass	-	≤0.8	≤0.8	≤0.8	≤0.8	-	≤0.8
Diglyceride	%mass	-	≤0.2	≤0.4	≤0.2	≤0.1	-	≤0.20
Triglyceride	%mass	-	≤0.2	≤0.4	≤0.1	≤0.1	-	≤0.03
Free Glycerol	%mass	≤0.02	≤0.02	≤0.02	≤0.05	≤0.02	≤0.02	0.25
Total Glycerol	%mass	0.24	0.25	0.25	-	-	0.24	≤115
Iodine No.		≤120	≤115	≤115	-	≤125	-	-
C18:3 & higher acids		≤15	-	-	-	-	-	10
Phosphorous	ppm	≤20	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	10
Alkaline Matter	(Na, k)	-	≤5	≤5	≤10	≤10	-	≤360
Distillation 95%	°C	-	≤360	-	-	-	≤360	*
IBP min.	°C	-	-	-	-	-	-	*
Bound Glycerin		-	-	-	-	-	-	Max 0.8
Oxidation Stability	Hrs.	-	-	-	-	-	-	6 min.
Sediment		-	-	-	-	-	-	≤0.05
Cloud Point		-	-	-	-	-	*	-

หมายเหตุ * ไม่กำหนดค่าเพียงแต่ให้รายงานค่า, CFPP คือ Cold Filter Plugging Point

ตารางที่ 2.8 การเลือกใช้ไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆเพื่อผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในแต่ละประเทศ[9]

ชนิดน้ำมัน	ประเทศ
น้ำมันจากเรพซีด (Rape Seed) 80% น้ำมันทานตะวัน 10%	อิตาลี และฝรั่งเศส
น้ำมันถั่วเหลือง (Soy Bean)	อเมริกา
น้ำมันปาล์ม (Palm Oil)	มาเลเซีย
น้ำมันมะกอก (Olive Oil)	สเปน
น้ำมันเมล็ดฝ้าย (Cotton Seed Oil)	กรีซ
น้ำมันจาโทรฟาเคอร์เคส (Jatropha Curcas Oil)	นิคารากัว
ไขวัว (Beef Tallow)	ไอร์แลนด์
น้ำมันพืชใช้แล้ว (Used Frying Oil)	ออสเตรเลีย

2.3.2 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

การนำน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์หลายชนิดมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น จำเป็นต้องตรวจสอบคุณสมบัติเพื่อจะบอกได้ว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากน้ำมันและไขมันที่ใช้สังเคราะห์นั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสม มีข้อดีข้อด้อยอย่างไรบ้างเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทำการปรับปรุงให้มีคุณสมบัติเชื้อเพลิงดีเซลตามมาตรฐานและข้อกำหนดน้ำมันดีเซล โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ซีเทนัมเบอร์ (Cetane Number) จากการรวบรวมข้อมูลค่าซีเทนัมเบอร์ของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันและไขมันหลากหลายชนิดพบว่า มีค่าซีเทนัมเบอร์อยู่ในช่วง 48 ถึง 60 สำหรับเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลืองอยู่ในช่วง 45 ถึง 56 และเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันจากเรพซีดอยู่ในช่วง 48 ถึง 62 [10] ส่วนค่าซีเทนัมเบอร์ของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันชนิดต่างๆ พบว่า เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่าและมีความอิ่มตัวสูงกว่าจะมีค่าซีเทนัมเบอร์สูงกว่า (นับทมนตร์)

2. จุดวาบไฟ (Flash Point) น้ำมันดีเซลชีวภาพส่วนใหญ่มีจุดวาบไฟสูงกว่า 100°ซ ซึ่งมีความปลอดภัยสูงกว่าน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม จากรายงานของ Graboski และคณะ [10] พบว่า น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากน้ำมันแต่ละชนิดนั้นมีค่าจุดวาบไฟไม่เท่ากัน และการมีสารปนเปื้อนบางชนิดในน้ำมันดีเซลชีวภาพนั้นมีผลต่อจุดวาบไฟ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะบอกได้ว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพแต่ละชนิดที่ได้จากแหล่งที่ต่างกันจะมีจุดวาบไฟเท่ากัน เช่น จากการรวบรวมข้อมูลจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันถั่วเหลือง มีผู้รายงานไว้ด้วยค่าที่ไม่เท่ากัน เช่น 179 143 174 141 127 และ 131°ซ

3. อุณหภูมิการกลั่น (Distillation Temperature) [10] น้ำมันดีเซลชีวภาพนั้น ถ้าหากมีอุณหภูมิการกลั่นที่ 10%vol. ต่ำมากนั้น จะแสดงว่ายังมีแอลกอฮอล์หลงเหลืออยู่ในน้ำมัน

4. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) [10] น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันหลายชนิดที่มีรายงานไว้ นั้น มีค่าอยู่ในช่วง 0.86 ถึง 0.90

5. ค่าความร้อน (Heat of Combustion) [10] น้ำมันดีเซลชีวภาพนั้นมีค่าความร้อนต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก และปริมาตรน้อยกว่าน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นน้ำมันดีเซลชีวภาพจึงมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล

6. จุดหมอก (Cloud Point) [10] จุดหมอกของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากน้ำมันแต่ละชนิดนั้นมีค่าแตกต่างกัน เช่น น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันถั่วเหลืองมีจุดหมอกอยู่ในช่วง -2 ถึง 3°C น้ำมันดีเซลชีวภาพจากข้าวโพดมีจุดหมอกอยู่ในช่วง 12 ถึง 16°C ซึ่งน้ำมันดีเซลชีวภาพที่มีองค์ประกอบกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าจะมีจุดหมอกสูงกว่า โดยปกติในฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำนั้น เพื่อให้ให้น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมีจุดหมอกต่ำลง จึงมีการผสมน้ำมันดีเซลเบอร์ 1 ที่มีจุดหมอกต่ำกว่าลงไป ในน้ำมันดีเซล

7. จุดไหลเท (Pour Point) [10] จุดไหลเทของน้ำมันดีเซลชีวภาพมีแนวโน้มเดียวกับจุดหมอก คือ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่มีความอิ่มตัวสูงกว่าจะมีจุดไหลเทสูงกว่าเช่นกัน เช่น น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันถั่วเหลืองมีจุดหมอกอยู่ในช่วง -7 ถึง 4°C น้ำมันดีเซลชีวภาพจากข้าวโพดมีจุดหมอกอยู่ในช่วง 9 ถึง 13°C

8. ความหนืด (Viscosity) [10] ตัวอย่างน้ำมันดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.08 เซนติสโตค ซึ่งใกล้เคียงกับข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM D 975 ของน้ำมันดีเซล คือ ไม่เกิน 4.1 เซนติสโตค ส่วนน้ำมันดีเซลชีวภาพจากข้าวโพดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.8 เซนติสโตค ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพนั้นไวต่อผลของอุณหภูมิมากกว่าน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม คือ เมื่อลดอุณหภูมิลงเล็กน้อยค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพจะสูงขึ้นมาก ความบริสุทธิ์ของน้ำมันดีเซลชีวภาพก็มีผลต่อค่าความหนืดเช่นกัน จากตัวอย่างที่มีรายงานน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันถั่วเหลืองที่มี โมโนกลีเซอไรด์ปนอยู่ จะทำให้น้ำมันมีค่าความหนืดสูงขึ้นมาก

2.3.3 กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ [2,8]

กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในเชิงอุตสาหกรรม มีความแตกต่างด้านเทคโนโลยี และยังขายในชื่อทางการค้าต่างกัน เช่น อิตาลีใช้ชื่อ Novamont และ Ballestra ฝรั่งเศสใช้ IFP และเยอรมันใช้ชื่อ Henkel และ ATT

น้ำมันดีเซลชีวภาพผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันและไตรกลีเซอไรด์ผลิตอย่างง่ายดาย โดยทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างที่ความดันบรรยากาศกับเมทานอลอุณหภูมิ 60 ถึง 70°C ของผสมที่ได้เมื่อสิ้นสุด

ปฏิกิริยาจะทำการแยกชั้น โดยแยกชั้นของกลีเซอรินด้านล่างออก ในขณะที่เมทิลเอสเทอร์ชั้นบนต้องทำการล้าง เพื่อขจัดกลีเซอรินที่เหลืออยู่ เมทานอลที่เกินพอจะนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ Condenser ส่งไปที่คอลัมน์เพื่อให้บริสุทธิ์

กระบวนการ Henkel [8] ทำปฏิกิริยาที่ความดัน 9000 kPa และอุณหภูมิ 240°C ใช้เมทานอลมากเกินพอ และตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกทำให้มีอุณหภูมิ 240°C ก่อนใส่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ เมทานอลที่เกินพอจะออกจากเครื่องปฏิกรณ์ และส่งเข้า Bubble Tray Column เพื่อทำให้บริสุทธิ์ และส่งเข้าระบบ ผลิตภัณฑ์ผสมที่ได้จะนำไปเข้าเครื่องแยก โดยกลีเซอริน 90 เปอร์เซ็นต์จะถูกแยกออก เมทิลเอสเทอร์จะถูกส่งต่อไปคอลัมน์กลั่นเพื่อให้บริสุทธิ์

กระบวนการ Lurgi [8] ทำปฏิกิริยาที่ความดันปกติ น้ำมันพืชที่สกัดแล้วและเมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยาในเครื่องผสมและแยกชั้นเป็นแบบ 2-Stage กลีเซอรินที่เกิดขึ้นจะละลายในเมทานอลที่เกินพอ และนำกลับมาโดยใช้ Rectification Column เมทานอลและกลีเซอรินจะถูกแยกจากเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้ Scrubber แบบไหลสวนทางกัน เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะนำไปกลั่นให้บริสุทธิ์

2.3.4 ตัวแปรของกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ตัวแปรที่สำคัญในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ส่งผลกับเวลาและ Conversion [2,8] คือ

1. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิอย่างมาก แต่ถ้าหากมีเวลาที่เพียงพอ ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้แม้ในอุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปจะถูกควบคุมให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดเดือดของเมทานอล (60 ถึง 70°C) ที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรง แต่ต้องทำการกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมัน โดยการสกัดหรือ Pre-esterification แต่ไม่ต้อง Pre-treatment

จากการศึกษา Butanolysis กับ Methanolysis ของน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิต่างๆ ในตัวเร่งปฏิกิริยากรดและด่าง [8] พบว่า ถ้าหากมีเวลาที่พอเหมาะ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิต่ำ ในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง

Mohanprasad และคณะ [11] ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับแอลกอฮอล์ โดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 120 150 และ 180°C พบว่ามี Conversion ต่ำกว่า 20%

Diasakou และคณะ [12] รายงานการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำมันถั่วเหลืองทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลที่สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันถั่วเหลือง 1 โมล ต่อเมทานอล 6 12 21 และ 27 โมล ตามลำดับ ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 220 และ 235°C พบว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

2. อัตราส่วนของแอลกอฮอล์กับน้ำมัน ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกริยาผันกลับได้ซึ่งตามมวลสารสัมพันธ์ต้องการ 3 โมลของแอลกอฮอล์ ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ จะได้ 3 โมลของเอสเทอร์ และ 1 โมลของกลีเซอริน ถ้าต้องการให้ปฏิกริยาไปทางขวา อาจใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปในการทำปฏิกริยา หรือทำการดึงผลิตภัณฑ์ตัวหนึ่งออกไป ซึ่งในกรณีหลังทำได้ยากเนื่องจากเป็นของผสม เมื่อใช้เมทานอลเกินพออัตราการผลิตปฏิกริยาจะมากขึ้นโดยทั่วไปนิยมใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชเป็น 6:1 ทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก Krisnangkura และ Simamaharnnop [13] ทำปฏิกริยาโดยใช้น้ำมันปาล์มกับเมทานอลที่ 70°C ในตัวทำละลายอินทรีย์ (โทลูอิน) โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยา Conversion เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันปาล์มมากขึ้น แต่อัตราส่วนแอลกอฮอล์ที่มากขึ้นทำให้การแยกกลีเซอรินทำได้ยาก

Freedman และคณะ [14] ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้น โดยทำปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชหลายชนิดคือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน ถั่วลิสง และน้ำมันเมล็ดฝ้าย โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ตั้งแต่ 1:1 ถึง 1:6 พบว่า น้ำมันทุกชนิดมีแนวโน้มเดียวกันคือ Conversion จะมากขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น

ปี ค.ศ.2001 Lang และคณะ [15] ทำการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันคาโนลา (Canola) และน้ำมันลินซีด (Linseed Oil) กับเมทานอล เอทานอล 2-โพรพานอล และบิวทานอล พบว่าเอสเทอร์ของไขมันแต่ละชนิดที่ได้มีคุณสมบัติส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน แต่บิวทิลเอสเทอร์ของไขมันทุกชนิดมีจุดหมอกต่ำกว่าเมทิลเอสเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และโพรพิลเอสเทอร์คือ มีจุดหมอกเท่ากับ -6°C ถึง -10°C เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์มีจุดหมอกอยู่ในช่วง 1°C ถึง -2°C และ 2-โพรพิลเอสเทอร์มีจุดหมอกในช่วง 3°C ถึง 7°C แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าการสังเคราะห์เอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์ที่มีหมู่อัลคิลที่ใหญ่กว่าจะทำให้เอสเทอร์ที่ได้มีจุดหมอกต่ำลง

3. ชนิดและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกริยา ตัวเร่งปฏิกริยาที่ใช้ในปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีทั้งต่าง กรด และเอนไซม์ เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างตัวเร่งปฏิกริยาชนิดกรด ได้แก่ กรดกำมะถัน กรดฟอสฟริก กรดเกลือ กับตัวเร่งปฏิกริยาชนิดต่าง (อัลคอกไซด์ของโลหะอัลคาไล) เช่น Sodium Alkoxides ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ตัวเร่งปฏิกริยาชนิดต่างให้ผลในการเร่งปฏิกริยาที่ดีกว่าตัวเร่งชนิดกรดประมาณ 4000 เท่า ในปริมาณเท่ากัน [2,8] จึงเป็นที่นิยมใช้ต่างในการทำปฏิกริยาทรานส์เมทิลเอชัน

นอกจากนี้ ต่างมีการกัดกร่อนเครื่องมือในอุตสาหกรรมน้อยกว่ากรด ที่ความเข้มข้นของต่างที่ใช้อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ผลถึง 94 ถึง 99 เปอร์เซ็นต์

Conversion การเพิ่มความเข้มข้นต่างที่มากกว่านี้ ไม่ทำให้ Conversion เพิ่มขึ้น และยังเพิ่มค่าใช้จ่ายมากขึ้น

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระและน้ำในไตรกลีเซอไรด์ที่มีการเร่งปฏิกิริยาด้วยต่าง ทำการวิจัยผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์ ผลของกรดไขมันอิสระในไตรกลีเซอไรด์ และผลของปริมาณน้ำในแอลกอฮอล์ที่มีต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขวัวพบว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่าโซเดียมเมทอกไซด์ ไขวัวมีกรดไขมันอิสระปนอยู่ได้ไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไขวัว และมีปริมาณน้ำในไขวัวได้ไม่เกิน 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไขวัว ซึ่งน้ำและกรดไขมันอิสระจะทำให้เกิดปฏิกิริยา Saponification เกิดเป็นสบู่ ซึ่งสบู่จะรบกวนการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอริน และการทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ทำได้ยาก รวมถึงทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์น้อยลง [13]

เอนไซม์ที่นิยมใช้ได้แก่ ไลเปส สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ในทั้งของผสม Aqueous และ Non-aqueous [16] ซึ่งเอนไซม์ไลเปสจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นกรดไขมันอิสระ จากนั้นจึงทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่ได้ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างที่กรดไขมันอิสระเป็นสิ่งรบกวนปฏิกิริยา ทำให้ตัวเร่งเอนไซม์ใช้ได้ดีกับน้ำมันพืชใช้แล้ว แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยมากมายแสดงให้เห็นว่าผลได้ของปฏิกิริยาและเวลาทำปฏิกิริยานั้นยังไม่ได้เท่าการเร่งปฏิกิริยาด้วยต่าง

4. การผสม ปัจจัยที่มีความสำคัญของการกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ องค์การผสมระหว่างแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์ เนื่องจากมีการแยกชั้นเพราะละลายเข้ากันไม่ได้ ดังนั้นการผสมจึงมีบทบาทที่สำคัญที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน สำหรับการผลิดในขนาดใหญ่การออกแบบผลของการผสมจึงมีความสำคัญมาก เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีสารตั้งต้นมีธรรมชาติที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ปฏิกิริยาส่วนใหญ่เกิดขึ้นได้ที่ระหว่างผิวสัมผัสของของเหลว อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงเกิดขึ้นได้ช้า

ผลของการกวนผสมต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากรายงานการวิจัยของ Ma และคณะ [17] ที่ศึกษาผลของการกวนผสมต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขวัว ซึ่งสารตั้งต้นไขวัวที่หลอมจนกลายเป็นของเหลวนั้นไม่รวมตัวกับสารละลายต่างในเมทานอล และไม่เกิดปฏิกิริยาหากไม่มีการกวนผสม

5. ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น สิ่งที่เป็นเบื่อนในน้ำมันจะมีผลกับระดับของ Conversion ภายใต้สภาวะเดียวกันน้ำมันพืชดิบให้ Conversion 67-84 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่น้ำมันที่บริสุทธิ์แล้วให้ Conversion 94-97 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เป็นผลมาจากกรดไขมันอิสระ ซึ่ง

ขีดขวางการทำงานของตัวเร่ง อย่างไรก็ตามภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงปัญหานี้จะหมดไป [2,8]

2.4 การใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปสามารถใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพได้โดยไม่ต้องปรับแต่งมากนัก [3] เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมแล้วน้ำมันดีเซลชีวภาพมีเลขซีเทนสูงกว่า ทำให้ค่าการหน่วงการจุดระเบิดสั้นกว่า และมีระยะเวลาการเผาไหม้นานกว่า ดังนั้นจึงมีของเสียปล่อยออกมาน้อย แก๊สที่ปล่อยออกมามีกลิ่นน้อย ลดปริมาณคาร์บอนที่หิวจัด น้ำมันดีเซลชีวภาพสามารถผสมกับน้ำมันดีเซลได้ โดยนิยมผสมน้ำมันดีเซลชีวภาพในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีงานวิจัยหลายๆ ชิ้นแสดงว่า การผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันดีเซลชีวภาพลดควัน ผุ่นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย หนึ่งในข้อจำกัดในการใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพคือ มีแนวโน้มที่จะตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°C โดยเมทิลและเอทิลเอสเทอร์ของน้ำมันพืชจะตกผลึกและแยกจากน้ำมันดีเซล ซึ่งพบได้ในฤดูหนาว และผลึกจะไปอุดตันท่อและไส้กรองเชื้อเพลิง เกิดปัญหาในปั๊มเชื้อเพลิงและการทำงานของเครื่องยนต์ หนทางแก้ปัญหานี้คือ การใช้เอสเทอร์ที่มีโซ่กิ่ง เช่น Isopropyl Esters [8] ซึ่ง Isopropyl Esters ของน้ำมันถั่วเหลืองตกผลึกที่ 7 ถึง 11°C ซึ่งต่ำกว่าเมทิลเอสเทอร์อื่นๆ อีกวิธีที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเอสเทอร์น้ำมันพืชคือ กำจัดเอสเทอร์อิ่มตัวที่มีจุดหลอมเหลวสูง โดยเหนี่ยวนำให้เกิดการตกผลึกโดยใช้ความเย็น โดยกระบวนการที่รู้จักกันว่า Winterization ซึ่งทำการลดจุดเกิดหมอกของเอสเทอร์ โดยทำให้สมดุลภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเกิดหมอกแต่มากกว่าจุดไหลเห ยึดช่วงเวลาให้นานขึ้น จากนั้นกรองของแข็งออก

ปัญหาหลักที่พบในการเก็บรักษาน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นเวลานาน เกิดขึ้นจากการสลายตัวด้วยน้ำ (Hydrolytic Degradation) และการสลายตัวจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation) การสลายตัวด้วยน้ำเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเมทิลเอสเทอร์ เมื่อน้ำทำหน้าที่เป็นตัวกลางของปฏิกิริยา ซึ่งปฏิกิริยาจะถูกชักจูงให้เกิดขึ้นโดยกรดเริ่มที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การละลายและความเป็นอิมัลชันในน้ำของน้ำมันดีเซลชีวภาพนั้นเกี่ยวพันอย่างมากกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันดีเซลชีวภาพที่มีผลิตภัณฑ์ที่เป็นตัวกลางของปฏิกิริยาได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์ปริมาณมาก มีแนวโน้มให้ดูดซึมน้ำ ซึ่งมีผลลบมากกว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพที่มีส่วนประกอบหลักคือเมทิลเอสเทอร์

การสลายตัวจากออกซิเดชันเกิดจากไฮโดรเปอร์ออกไซด์นำไปสู่การออกซิเดชันขั้นที่สองของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลจากธรรมชาติของสารพวกไขมันแท้ซึ่งมีพันธะคู่ ทำปฏิกิริยากับแสงอุลตราไวโอเล็ต โลหะบางชนิดซึ่งเป็น Pro-oxidizing agent อุณหภูมิ และอากาศ

การศึกษาพฤติกรรมของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันเรพส์ซึ่งทำการควบคุมสภาวะในการจัดเก็บ โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 20 และ 40°C ในภาชนะที่เป็นเหล็กและแก้วในเวลา 80 วันพบว่า มีปริมาณน้ำ กรด และเปอร์ออกไซด์ต่างกัน การเกิดออกซิเดชันของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันเรพส์ นั้นขึ้นกับชนิดของที่จัดเก็บและอุณหภูมิเป็นอย่างมาก [8]

2.5 เครื่องปฏิกรณ์ [18]

2.5.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor) สารตั้งต้น (Reactant) ทั้งหมด ถูกป้อนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ไว้ก่อนแล้วจึงเริ่มปฏิกิริยา เมื่อเสร็จสิ้นปฏิกิริยาตามเวลาที่กำหนดจึงนำของผสม (ผลิตภัณฑ์+สารทำปฏิกิริยาที่เหลืออยู่) ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งโดยทั่วไปเป็นแบบถังกวน

2.5.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง (Continuous Reactor) สารทำปฏิกิริยาถูกป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไหลออกตรงทางออก ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้มีทั้งแบบถังกวนและแบบท่อไหล

ในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง (Continuous Stirred-Tank Reactor) นั้น เนื่องจากตามทฤษฎีมีการผสมกันดีมาก ความเข้มข้นเท่ากันทั้งที่ทางเข้าและทางออก อัตราการเกิดปฏิกิริยานั้นขึ้นกับความเข้มข้น จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้าที่ Conversion สูง ส่วนเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อนั้น ที่พื้นที่หน้าตัดเดียวกันจะมีความเข้มข้นเท่ากัน โดยความเข้มข้นสารตั้งต้นลดลงตามความยาวในแกนไหล ดังนั้นในตอนต้นจะมีความเข้มข้นของสารตั้งต้นสูงและลดลงเรื่อยๆ Conversion จะขึ้นกับความยาวของเครื่องปฏิกรณ์

โดยทั่วไปการผลิตในอุตสาหกรรมที่ต้องการการผลิตจำนวนมาก มักใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่อง เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอยู่ในสถานะคงตัว (Steady State) ทำให้ควบคุมได้ง่าย ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังช่วยลดขั้นตอนการถ่ายเทสารทำปฏิกิริยาเข้า-ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งต้องทำในกรณีแบบกะออกไปได้ จึงประหยัดค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน นอกจากนี้กระบวนการแบบกะต้องการปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่กว่า ดังนั้นจึงต้องการเงินลงทุนสูงกว่า มีความแตกต่างในทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแต่ละกะ

2.5.3 เปรียบเทียบเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่องและแบบท่อ

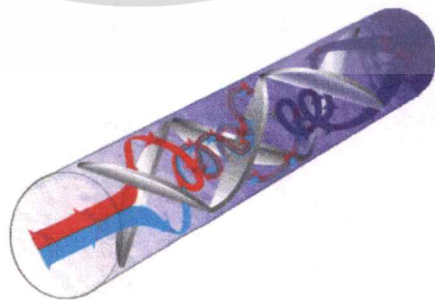
โดยทั่วไปแล้วเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อมีความต้องการขนาดของเครื่องปฏิกรณ์เล็กกว่าแบบถังกวนต่อเนื่องที่ Conversion เดียวกัน ข้อดีของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อคือ การผสมในท่อสำหรับระบบหลายวัฏภาค (Multiphase) ส่วนเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่องนั้นจะได้ Conversion ที่ไม่สูง แม้จะมีการผสมที่ดีกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเนื่องจากความเข้มข้นที่ต่ำ

มูลเหตุจูงใจในการเลือกใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อสำหรับงานวิจัยนี้คือ กระบวนการแบบกะที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพนั้นมีข้อด้อยหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบต่อเนื่อง กล่าวคือ กระบวนการแบบกะต้องการปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่กว่า ดังนั้นจึงต้องการเงินลงทุนสูงกว่า มีความแตกต่างในทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแต่ละกะ และไม่เหมาะสำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์ ส่วนเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเป็นการเกิดปฏิกิริยาในท่อไหลอย่างต่อเนื่อง ต้องการเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กกว่า มีกำลังการผลิตสูง ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ถึงแม้ว่าจะมีข้อด้อยในการผสมเนื่องจากธรรมชาติของสารตั้งต้นทั้งสองไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบต่อเนื่องของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อของ Krisnangkura และ Simamahannop [13] ที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืช 6:1 ที่อุณหภูมิ 60°C พบว่าได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเติมตัวทำละลายโทลูอีนช่วยในการทำละลายจะได้ผลิตภัณฑ์ประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงการผสมโดยติดตั้งตัวช่วยผสมไว้การเคลื่อนที่ (Static Mixer)

2.6 เครื่องผสมไว้การเคลื่อนที่ [19]

คือ อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการผสมที่อยู่กับที่ไม่ต้องใช้หน่วยขับเคลื่อนใดๆ อาศัยอัตราไหลของของไหลและวัสดุกันภายในท่อทำให้ของไหลไหลสลับกันไปมาระหว่างกลางท่อและผนังท่อทำให้เกิดการผสมอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำมาแก้ปัญหาในกระบวนการผสมได้

เมื่อนำเครื่องผสมไว้การเคลื่อนที่มาใช้ในการผสมทำให้เพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 400% ประหยัดพลังงานและสามารถใช้กับของไหลที่มีความหนืดสูงได้ ทำให้ประหยัดในการติดตั้งและค่าบำรุงรักษาขณะใช้งาน ตลอดจนมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เครื่องผสมไว้การเคลื่อนที่ที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมเหมืองแร่ การผลิตสีและเรซิน การผลิตอาหารและยา โพลีเมอร์และพลาสติก และการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 2.4 เครื่องผสมไว้การเคลื่อนที่

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ
3. ศึกษาปัจจัยในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ
 - อุณหภูมิ
 - เเรซิเดนซ์ใหม่
 - อัตราส่วนน้ำมันพืชกับเมทานอล
 - ผลของการใช้ตัวผสมไร้การเคลื่อนที่
 - ผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
4. วิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตได้
5. วิเคราะห์ปริมาณของน้ำมันดีเซลชีวภาพในผลิตภัณฑ์ที่ได้

3.2 สารเคมี

1. น้ำมันปาล์ม
2. เมทานอล เกรดการค้า
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์
4. กรดไฮโดรคลอริก
5. เตตระไฮโดรฟูรัล
6. โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส
7. ไตรแคปรีน (Tricaprin)
8. N-Methyl-N-(Trimethylsilyl)-Trifluoroacetamide (MSTFA)
9. 1-Monooleoylglycerol
10. Triolein
11. 1,2-Dioleoylglycerol
12. น้ำกลั่น
13. ไพริดีน

3.3 อุปกรณ์

1. กระบอกตวง
2. ขวดรูปชมพู
3. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าละเอียด 4 ตำแหน่ง
4. ปีกเกอร์
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. ขวดวัดปริมาตร
7. บีมของเหลว
8. เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์
9. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

3.4.1.1 หาปริมาณกรดไขมันอิสระ (A.O.C.S. Official Method Ca 5a-40) [20]

3.4.1.2 หาค่าความหนืด

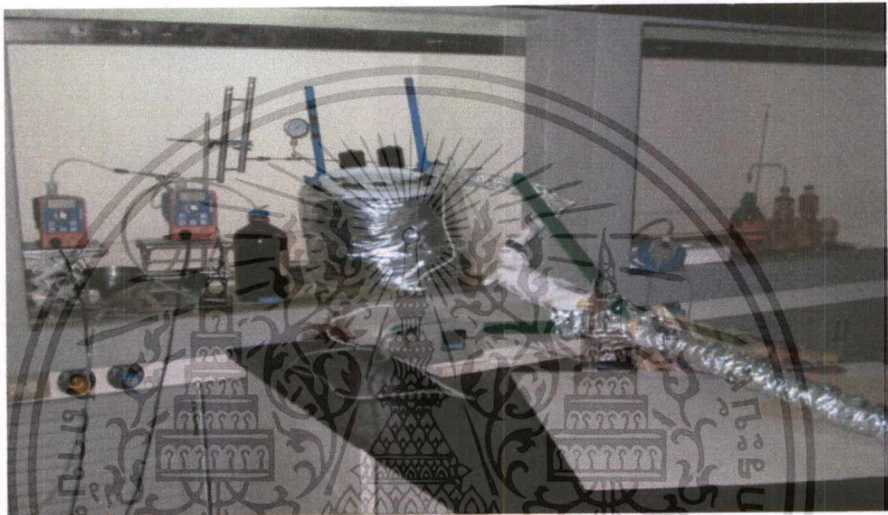
3.4.2 กระบวนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์ต่อเนื่องแบบท่อ

ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในเครื่องปฏิกรณ์ระบบต่อเนื่องแบบท่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 โดยทำการสุบสารละลายไฮดรอกไซด์ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในเมทานอลและน้ำมันปาล์ม ด้วยบีม Prominent รุ่น Gala1602 และ Gala0713 สำหรับน้ำมันปาล์มและเมทานอลตามลำดับ สารตั้งต้นทั้งสองจะเริ่มผสมกันบางส่วนที่ข้อต่อ 3 ทางก่อนเข้าท่อ Preheater ซึ่งเป็นท่อทองแดงเปล้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว ยาว 12 เมตร ปริมาตร 40 มิลลิลิตร จุ่มในอ่างน้ำมันที่ทำการให้ความร้อนด้วยขดลวดให้ความร้อนให้ได้อุณหภูมิที่กำหนด จากนั้นของผสมจะไหลต่อไปยังเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อส่วนแรกทำจากเหล็กไร้สนิมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 1 เมตร ปริมาตร 490 มิลลิลิตร ภายในบรรจุตัวช่วยผสมไร้การเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นเองทำจากเหล็กไร้สนิม มีการควบคุมอุณหภูมิโดยให้ความร้อนโดยใช้เส้นลวดความร้อนพันรอบภายนอกท่อ เพื่อป้องกันการลดลงของอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ จากนั้นสารจะไหลเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อส่วนที่ 2 เรียกว่า Residence Tube เป็นท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว ยาว 15 เมตร ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ปริมาตรรวมของระบบประมาณ 755 มิลลิลิตร ระบบถูกควบคุมความดันโดยใช้ Back Pressure Regulator ที่ปลาย Residence

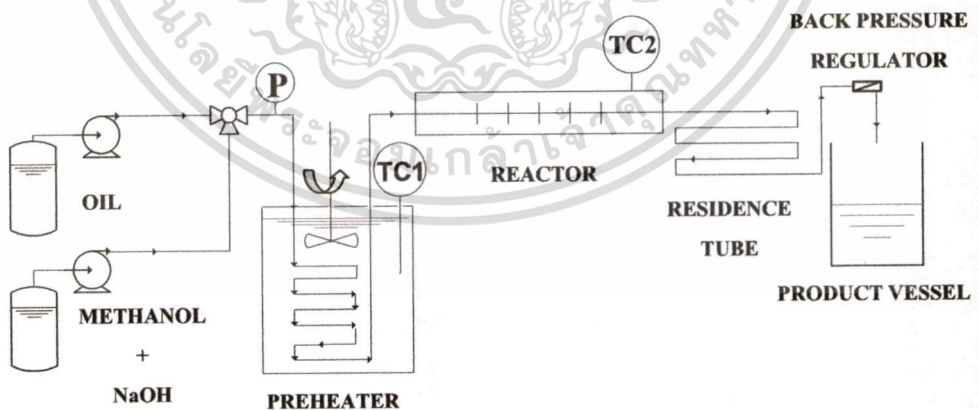
Tube ไร่ที่ 8 บาร์ ซึ่งเป็นความดันที่ทำให้เมทานอลยังคงสถานะของเหลวที่อุณหภูมิ 130°C คำนวณจากความดันไอของเมทานอลที่อุณหภูมิ 130°C จากสมการของอ็องตวน (Antoine) [21]

3.4.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเรซิเดนซ์ไทม์

ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เป็น 90, 110 และ 130°C ความดัน 8 บาร์ อัตราการไหลตั้งแต่ 17 ถึง 98 มิลลิลิตรต่อนาที เรซิเดนซ์ไทม์ 7 ถึง 42 นาที โดยคิดจากจุดเริ่มต้นที่ข้อต่อ 3 ทางจนถึงสิ้นสุดที่ปลายทางออก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ใช้เป็นไปตามอัตราส่วนที่ ก และ ข ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ต่อเนื่องแบบท่อที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ (P คือ เกจวัดความดัน, TC1 และ TC2 คือ เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การศึกษาผลของการใช้เครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่

ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยไม่มีตัวช่วยผสมไร้การเคลื่อนที่ที่อุณหภูมิ 130°C เรซิเดนซ์ไทม์ 7 ถึง 42 นาที ความดัน 8 บาร์ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลกับน้ำมันปาล์มตามอัตราส่วนที่ ก ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลกับน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลอง

อัตราส่วน	น้ำมันปาล์ม	เมทานอล	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
อัตราส่วนที่ ก	1 โมล	6 โมล	0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน
อัตราส่วนที่ ข	1 โมล	4.5 โมล	0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน
อัตราส่วนที่ ค	1 โมล	6 โมล	ไม่มี

3.4.5 การศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 130°C เรซิเดนซ์ไทม์ 7 ถึง 42 นาที ความดัน 8 บาร์ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลกับน้ำมันปาล์มตามอัตราส่วนที่ ค ในตารางที่ 3.1

3.4.6 การเก็บตัวอย่าง

1. เริ่มเก็บตัวอย่างหลังจากปั๊มสารตั้งต้นเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลา 6 เท่าของเรซิเดนซ์ไทม์ เพื่อให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State)
2. หยุดปฏิกิริยาด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ แซเย็น ใสบีกเกอร์ในปริมาณที่เกินพอแล้วรองรับผลิตภัณฑ์ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่ทางออก โดยคำนวณปริมาณของกรดจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในผลิตภัณฑ์
3. ล้างผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง เพื่อล้างกลีเซอริน โซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมทานอลที่เหลืออยู่
4. นำไปแยกชั้นด้วยกรวยแยก
5. ทำการอบระเหยน้ำออกจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันดีเซลชีวภาพ

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพ

3.5.1 การหาค่าความหนืด

นำน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้วัดความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ (Saybolt) ของ Koehler รุ่น K21590 โดยทำการจับเวลาในการไหลที่อุณหภูมิ 40°C ได้เป็นวินาที เซย์โบลต์ คำนวณความหนืดเป็นเซนติสโตคร โดยใช้สมการที่ 3.1 หรือ 3.2 ดังนี้ [22]

$$\text{เมื่อ } 32 > t > 100 \quad \text{viscosity (cSt)} = 100 \times [0.00226t - (1.95/t)] \quad (3.1)$$

$$\text{เมื่อ } t > 100 \quad \text{viscosity (cSt)} = 100 \times [0.00220t - (1.35/t)] \quad (3.2)$$

โดยที่ t คือ เวลา มีหน่วยเป็นวินาทีเซย์โบลต์

3.5.2 การวิเคราะห์สารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี [23]

วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสารผลิตภัณฑ์ หรือร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ ทำโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี เพื่อหาปริมาณสารปาล์มสเตอรินเมทิลเอสเทอร์ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ในผลิตภัณฑ์น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ โดยโมโนกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์ คือ สารอินทรีย์เดี่ยวของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์และเมทิลเอสเทอร์ คือ สารผลิตภัณฑ์ (น้ำมันดีเซลชีวภาพ)

คอลัมน์ที่ใช้	Capillary Column BP-1
ขนาด	ยาว 2 เมตร X 0.32 มิลลิเมตร
ก๊าซพา (Carrier Gas)	ก๊าซฮีเลียม ความดัน 70 psi
Detector	FID อุณหภูมิที่ใช้ 350 องศาเซลเซียส
Injection	อุณหภูมิที่ใช้ 350 องศาเซลเซียส
โปรแกรมอุณหภูมิ	อุณหภูมิตู้อบเริ่มต้นที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที อัตราเพิ่มอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสต่อนาที มีอุณหภูมิสุดท้าย คือ 350 องศาเซลเซียส และทิ้งไว้เป็นเวลา 2 นาที
Split Ratio	50 ต่อ 1
ความดันย้อนกลับ	7.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Back Pressure)

3.5.2.1 การเตรียมสารมาตรฐาน

เตรียม น้ำมัน ดีเซล ซีวภาพ , 1-Monooleoylglycerol, Triolein, 1,2-Dioleoylglycerol และไตรเคปรีน (Tricaprin) อย่างละ 80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟูรัล นำสารที่เตรียมได้แต่ละชนิดมาผสมกันให้มีปริมาตรรวม 2 มิลลิลิตร เติมไตรเคปรีนที่เตรียมไว้ 0.1 มิลลิลิตร เติม MSTFA 0.1 มิลลิลิตร เติมไพรีดีน 0.1 มิลลิลิตร เขย่า 15 นาที นำไปวิเคราะห์ผลหากกราฟมาตรฐานของแต่ละผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ (Saybolt) ของ Koehler รุ่น K21590



รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณของผลิตภัณฑ์

ชั่งตัวอย่าง 160 มิลลิกรัม เติมเตตระไฮโดรฟูราล 1.81 มิลลิลิตร เติม MSTFA 0.1 มิลลิลิตร เติมไพรีดีน 0.1 มิลลิลิตร เซย่า 15 นาที นำไปวิเคราะห์ผลหาปริมาณของแต่ละผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดลองในบทนี้เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบต่างๆซึ่งนำไปสู่ข้อสรุปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองเท่านั้น ส่วนผลการทดลองที่เป็นรายละเอียดตัวเลข ดังเช่น ความหนืดของผลิตภัณฑ์และปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้งหมดในชั้นผลิตภัณฑ์ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก

4.1 สมบัติของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

4.1.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ [19]

ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มที่ใช้เป็นสารตั้งต้นคือ 0.106 % โดยน้ำหนัก ซึ่งน้อยมาก จึงอาจบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้เกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเท่านั้น โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระและเมทานอลเกิดขึ้นน้อยมากอาจจะทิ้งได้

4.1.2 ความหนืด

น้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองมีความหนืดที่วัดได้คือ 39 เซนติสโตรค ที่ 40°ซ

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดและปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพของผลิตภัณฑ์

4.2.1 ผลของอุณหภูมิ

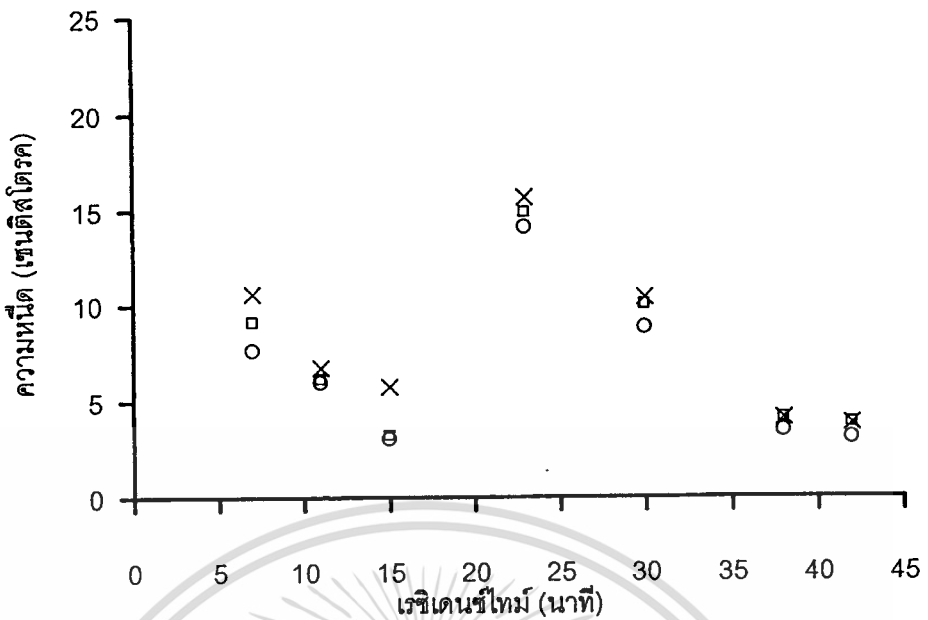
จากผลการหาค่าความหนืดและปริมาณของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้ที่อุณหภูมิการทดลอง 90, 110 และ 130°ซ ทั้งอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 และ 4.5:1 ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 เปอร์เซนต์ เมื่อเรซิเดนซ์ใหม่เป็น 7, 11, 15, 23, 30, 38 และ 42 นาทีตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดลดลงและมีปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะช่วยในการละลายของสารตั้งต้นทั้งสอง ให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ดียิ่งขึ้น[24] โอกาสที่จะทำปฏิกิริยากันจะมีมากขึ้นและจะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นบางส่วน

4.2.2 ผลของเรซินเดนซ์ใหม่

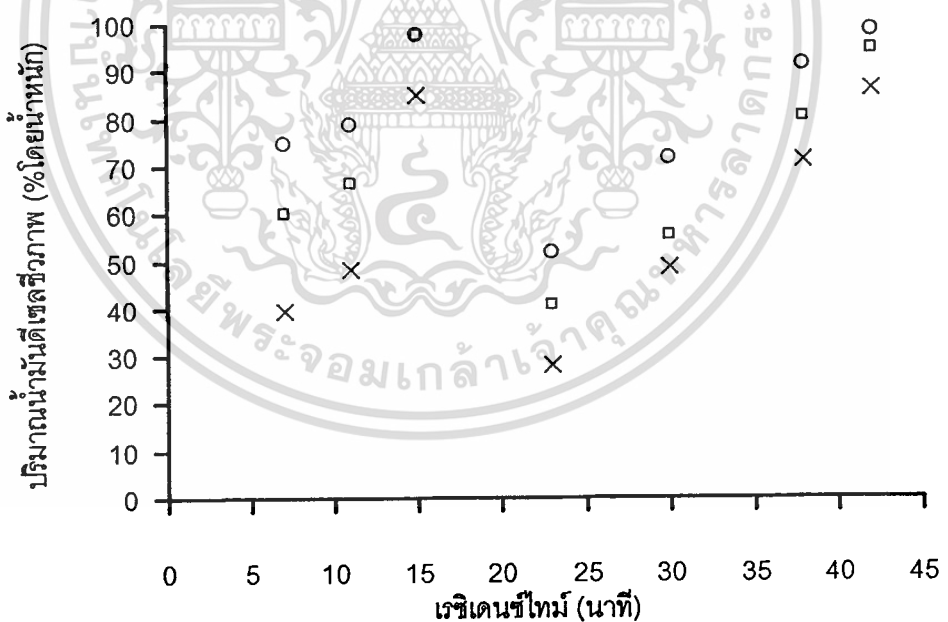
ที่ทุกสภาวะการทดลองมีแนวโน้มผลการทดลองที่เหมือนกันดังรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 โดยในช่วงเรซินเดนซ์ใหม่ที่ทำกรทดลอง คือ 7 ถึง 42 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้ เมื่อแปรค่าเรซินเดนซ์ใหม่ที่ 7 ถึง 15 นาที จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดลดลงและมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่ เรซินเดนซ์ใหม่ 15 นาที โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ 130°C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% นั้นให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดในช่วง 1.3 ถึง 4.1 เซนติสโตก ซึ่งได้ความหนืดตามมาตรฐาน ASTM-D-975 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และมีปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพถึง 98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อธิบายได้ว่า ที่เรซินเดนซ์ใหม่ต่ำกว่า 15 นาทีนั้น แม้จะมีการผสมกันได้ดีมาก เนื่องจากมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่สูง ประกอบกับมีเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ช่วยในการผสม แต่เวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ยังไม่เพียงพอทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ไม่ทันสัก ส่วนที่เรซินเดนซ์ใหม่ 15 นาทีนั้น มีการผสมเพียงพอที่จะทำให้สารตั้งต้นทั้งสองผสมเข้ากันได้ดี ประกอบกับเวลาในเครื่องปฏิกรณ์ในสภาวะที่มีการผสมกันได้ดี นั้นมีมากพอ จึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดที่ได้ตามมาตรฐาน อาจอธิบายผลการทดลองในช่วงเรซินเดนซ์ใหม่นี้ได้ว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีสารตั้งต้นที่มีธรรมชาติที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีระหว่างผิวรอยต่อของวัฏภาคของเหลว อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงช้า การผสมที่ดีจึงมีความสำคัญ แต่เมื่อเกิดการผสมที่ดีซึ่งอาจทำให้เกิดเป็นอิมัลชันของเมทานอลในน้ำมันปาล์มแล้ว แล้วการผสมที่มากขึ้นจะไม่สำคัญอีกต่อไป โดยความสำคัญจะอยู่ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาแทน Ma และคณะ [17] ได้กล่าวถึงผลของการกวนในช่วง 3 นาทีแรกของการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขวัวว่ามีความสำคัญมากหลังจากนั้นอาจหยุดการกวนผสมได้โดยไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้

ที่เรซินเดนซ์ใหม่ระหว่าง 15 นาทีถึง 23 นาที ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเกิดการผสมกันที่เริ่มไม่เพียงพอ เป็นผลมาจากอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่น้อยลง ส่วนเวลาในเครื่องปฏิกรณ์ในสภาวะที่การผสมยังไม่ดีนั้นก็ยังมีไม่มากพอ ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ไม่ดี แต่หลังจากเรซินเดนซ์ใหม่ 23 นาที ถึง 42 นาที ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มของความหนืดที่ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเมื่อเรซินเดนซ์ใหม่เป็น 42 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนืดต่ำได้ตามมาตรฐาน อธิบายได้ว่าเกิดจากการที่สารตั้งต้นมีเวลาทำปฏิกิริยาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่มากเพียงพอทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดลดลง ปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพมากขึ้น แม้จะมีการผสมกันไม่ทันสักอันเป็นผลเนื่องมาจากการที่มีอัตราการไหลที่ต่ำ

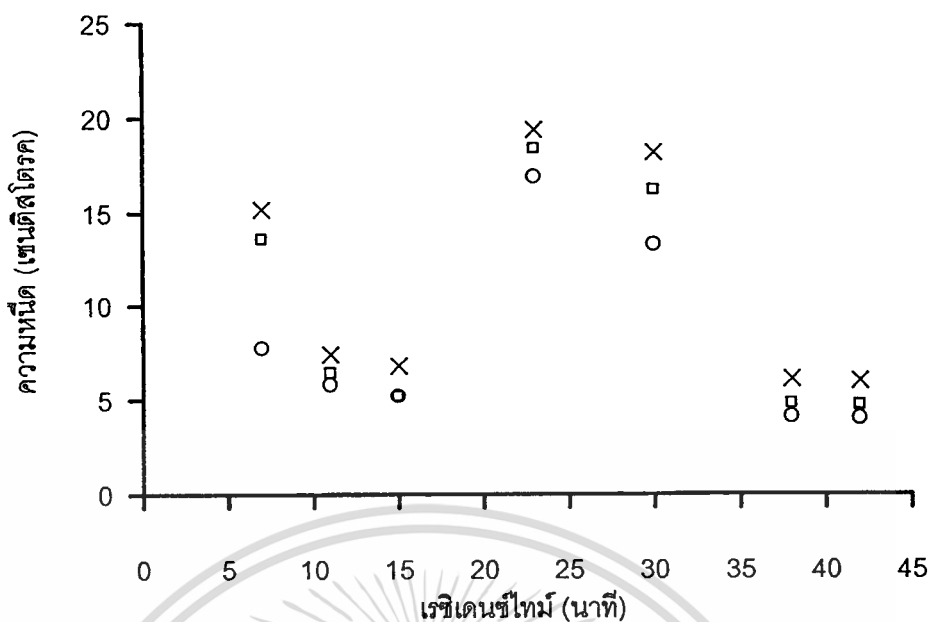
ในกรณีของอุณหภูมิ 110 และ 130°C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 % ซึ่งมีปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพ 94 และ 98 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 130°C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 4.5:1



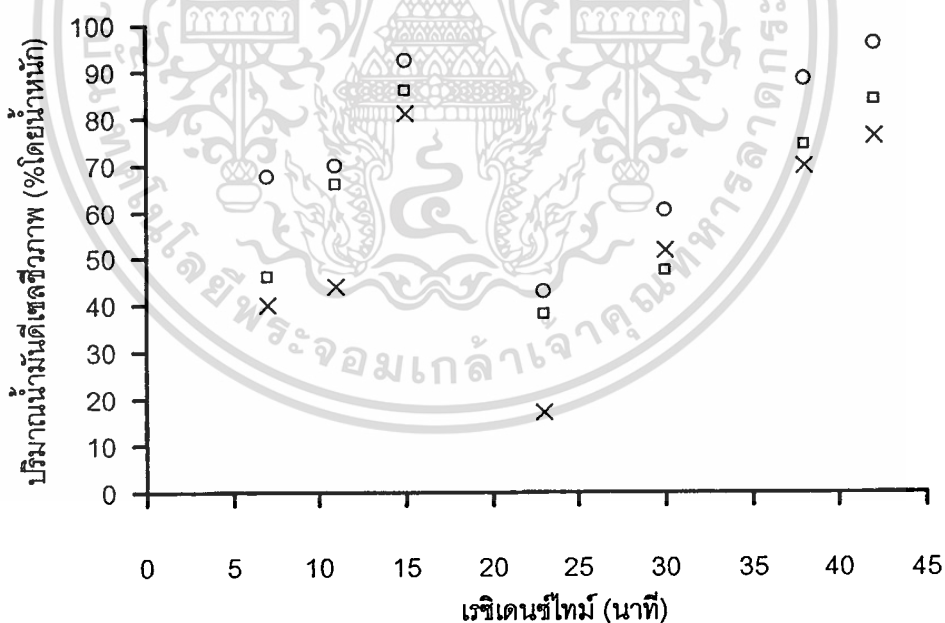
รูปที่ 4.1 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ไชเตียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เวลาดูแลที่ต่างกัน (-x-) 90°ซ., (-□-) 110°ซ., (-o-) 130°ซ.



รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ไชเตียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เวลาดูแลที่ต่างกัน (-x-) 90°ซ., (-□-) 110°ซ., (-o-) 130°ซ.



รูปที่ 4.3 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 4.5:1 ไซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เรซินโทรมต่างๆ (-x-) 90°C, (-o-) 110°C, (-□-) 130°C



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 4.5:1 ไซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เรซินโทรมต่างๆ (-x-) 90°C, (-o-) 110°C, (-□-) 130°C

จากการหาปริมาณน้ำมันดีเซลในผลิตภัณฑ์โดยการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟข้างต้นพบว่า เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้กับความหนืดที่วัดได้จะแปรผกผันกัน ตรงกับผลการทดลองทำการประมาณค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากปริมาณ FAMES ชนิดต่างๆ ที่เป็นส่วนผสม [25,26]

4.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 พบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 นั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า และให้ปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพที่มากกว่าการใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 4.5:1 ยิ่งไปกว่านั้นการใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำกว่าและได้ตามมาตรฐาน ASTM D-975 เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ การเพิ่มปริมาณสารตั้งต้น เมทานอลจะช่วยผลักดันปฏิกิริยาไปทางขวามากขึ้น ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเมทิลเอสเทอร์สูง

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติ วิธีทดสอบตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซล ข้อกำหนดกระทรวงพาณิชย์ มาตรฐาน ASTM D 975 [9]

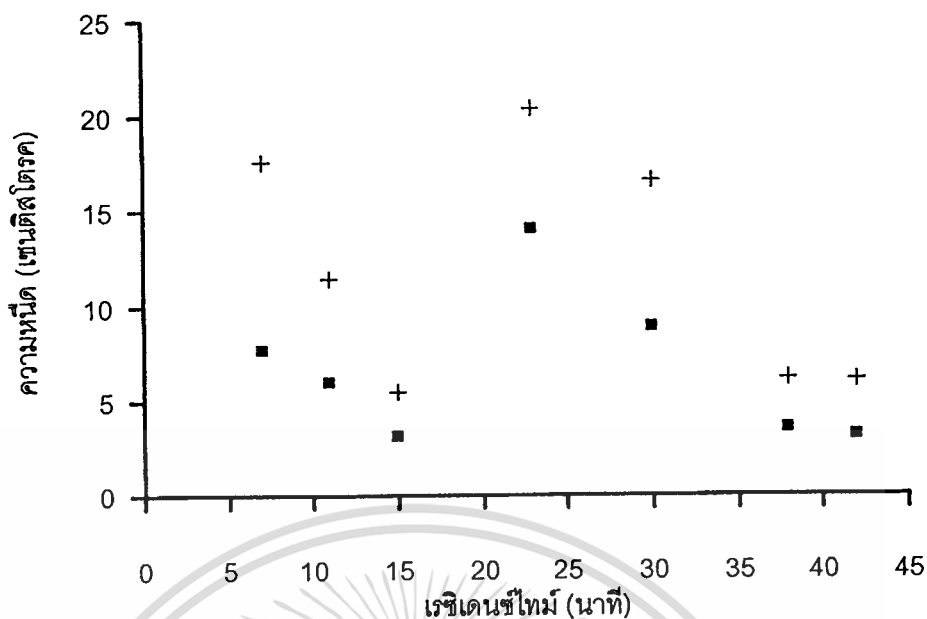
คุณสมบัติ	วิธี		เกณฑ์	ข้อกำหนดกระทรวงพาณิชย์	มาตรฐาน ASTM D975
	ทดสอบ ASTM	หน่วย			
1. ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ	D 1298		ในช่วง	0.8-0.87	ไม่กำหนด
2. ซีเทนัมเบอร์			ไม่ต่ำกว่า	47	40
3. ธาตุกำมะถัน	D 4294	%wt	ไม่ต่ำกว่า	0.05	0.5
4. การกัดกร่อนทองแดง	D 130	No.	ไม่สูงกว่า	1	3
5. น้ำ และตะกอน	D 2709	%vol.	ไม่สูงกว่า	0.05	0.05
6. เถ้า	D 482	%wt	ไม่สูงกว่า	0.01	0.01
7. จุดวาบไฟ	D 93	°C	ไม่ต่ำกว่า	52	52
8. สี	D 1500	ASTM	ไม่สูงกว่า	4	2
9. อุณหภูมิการกลั่น	D 86	°C			
หยุดแรก			รายงาน		-
10 %vol.			รายงาน		-
50 %vol.			รายงาน		-
90 %vol.			ไม่สูงกว่า	357	338
10. พลังงาน	D 240	kJ/kg	-		
11. ความหนืด ณ 40°C	D 445	cSt	ในช่วง	1.8-4.1	1.3-4.1
12. จุดไหลเท	D 97	°C	ไม่สูงกว่า	10	
13. จุดหมอก	D 2500	°C	ไม่		
14. กากถ่าน	D 4530	%wt	ไม่สูงกว่า	<0.05	0.35

4.2.4 ผลของตัวผสมไร้การเคลื่อนที่

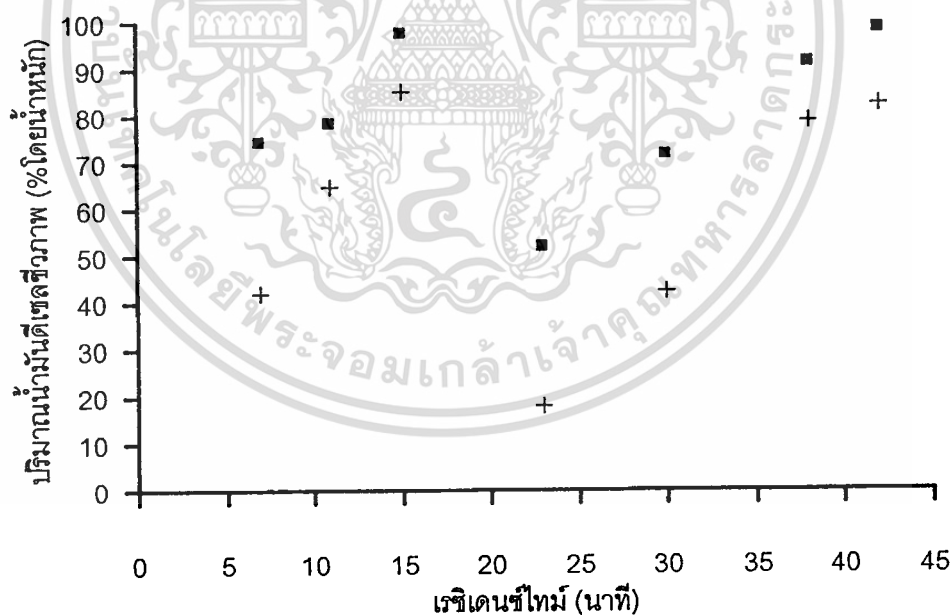
เพื่อต้องการทดสอบว่าตัวผสมไร้การเคลื่อนที่มีอิทธิพลเพียงใดต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ จึงได้ทำการทดลองโดยเลือกสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 130°C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างมีและไม่มีตัวผสมไร้การเคลื่อนที่ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า การติดตั้งตัวผสมไร้การเคลื่อนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับไม่มีตัวผสมไร้การเคลื่อนที่ซึ่งในกรณีหลังแม้จะสามารถให้ผลต่อการลดความหนืดของผลิตภัณฑ์ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่ได้ผลที่ดีเพียงพอที่จะได้มาตรฐานน้ำมันดีเซล Nouredдини และคณะ [27] ได้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันถั่วเหลืองกับเมทานอลที่อุณหภูมิ 80 °C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4% และมีเรซิเดนซ์ไทม์ 7 นาที ได้ปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพ 97 และ 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อมีและไม่มีตัวผสมไร้การเคลื่อนที่ติดตั้งตามลำดับ อย่างไรก็ตาม Nouredдини และคณะ [27] ยังได้รายงานไว้ด้วยว่าเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% จะได้ปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพเพียง 75% โดยน้ำหนัก เมื่อมีการติดตั้งตัวผสมไร้การเคลื่อนที่ไว้

4.2.5 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

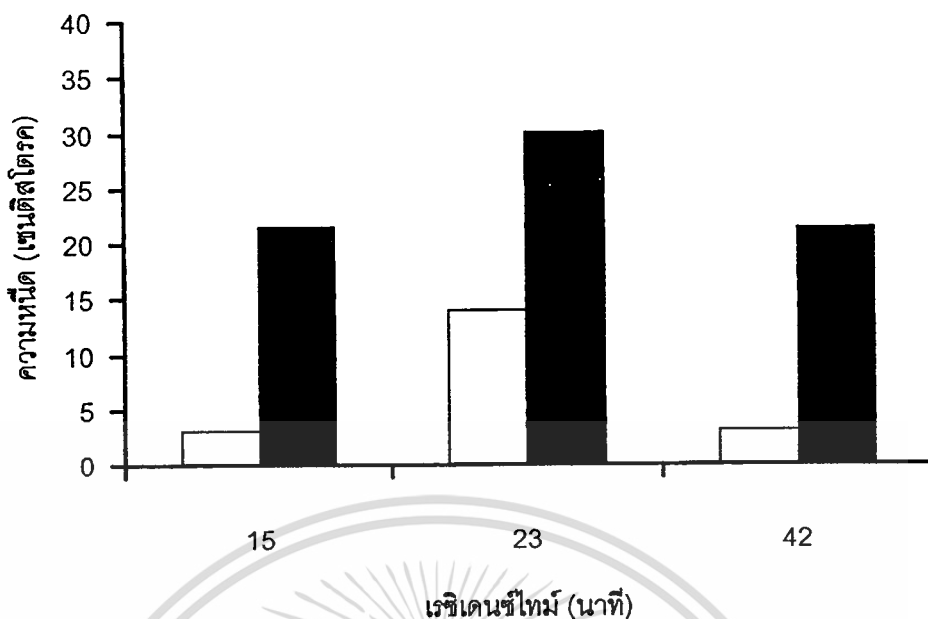
Mohanprasad และคณะ [11] ได้รายงานผลการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองกับเมทานอล โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C ได้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังนั้นการทดลองนี้ได้เปรียบเทียบการใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 130°C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาค่าความหนืดลดลงน้อยมาก ตลอดจนปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพเกิดเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลเนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้ามากเมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา แต่เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ดีมาก



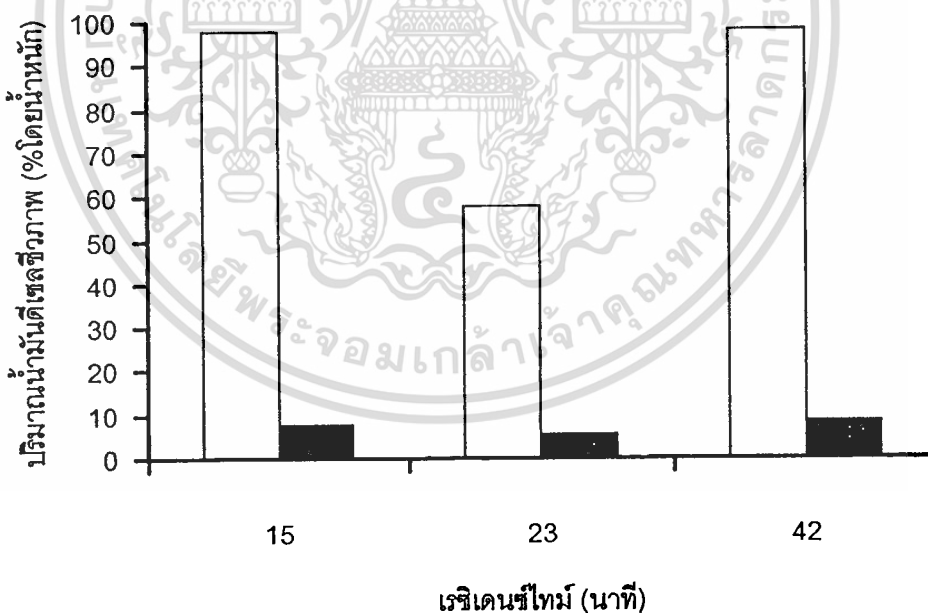
รูปที่ 4.5 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุณหภูมิ 130°C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เรชิตเดนซ์โทมต่างๆ (+) ไม่มีตัวผสมไรคาร์เคล็อนที, (-) มีตัวผสมไรคาร์เคล็อนที



รูปที่ 4.6 เปอร์เซนต์ผลผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากอุณหภูมิ 130°C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่เรชิตเดนซ์โทมต่างๆ (+) ไม่มีตัวผสมไรคาร์เคล็อนที, (-) มีตัวผสมไรคาร์เคล็อนที



รูปที่ 4.7 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุณหภูมิ 130°C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ที่เรซินที่ใหม่ต่างๆ แห่งไปรงคือใช้ไซเตียมไฮดรอกไซด์ 0.1 เปอร์เซนต์, แห่งที่บคือไม่มีไซเตียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.8 เปอร์เซนต์ผลผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากอุณหภูมิ 130°C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ที่เรซินที่ใหม่ต่างๆ แห่งไปรงคือใช้ไซเตียมไฮดรอกไซด์ 0.1 เปอร์เซนต์, แห่งที่บคือไม่มีไซเตียมไฮดรอกไซด์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 90, 110 และ 130°C เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 และ 4.5:1 ความเข้มข้นของไซเตียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.1 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการแปรค่าเรซิเดนซ์ใหม่ตั้งแต่ 7 ถึง 42 นาที นั้นให้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเดียวกันโดยช่วงการเกิดปฏิกิริยาที่ดีมี 2 ช่วงคือ ที่เรซิเดนซ์ใหม่ 15 นาที ซึ่งมีการผสมและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเหมาะสม และที่เรซิเดนซ์ใหม่มากกว่า 42 นาที ขึ้นไปนั้นแม้จะมีการผสมที่ไม่ดีแต่ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ดีเนื่องจากเวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานยิ่งขึ้น

จากผลการทดลองเมื่อแปรค่าเรซิเดนซ์ใหม่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่างๆ อาจสรุปและอธิบายได้ดังนี้ เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อในส่วนแรกที่บรรจุด้วยเครื่องผสมแบบไร้การเคลื่อนที่ จะทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการผสมกันได้ดีของสารตั้งต้นน้ำมันพืชและเมทานอล ทำให้ปฏิกิริยาระหว่างสารทั้งสองเกิดได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการผสมจะเกิดขึ้นได้ดีถ้าอัตราการไหลในท่อสูงมากพอกล่าวคือ มีการไหลแบบปั่นป่วน ดังนั้นที่อัตราการไหลต่ำๆ เครื่องปฏิกรณ์ในส่วนนี้จะมีส่วนช่วยให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีขึ้นเพียงเล็กน้อย สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อในส่วนที่สองจะทำหน้าที่เพิ่มเวลาที่สารจะทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งถ้ามีเวลานานขึ้นโอกาสที่จะเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะสูงขึ้นและจะได้ผลดียิ่งขึ้นถ้าสารตั้งต้นมีการผสมกันได้ดี

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่มากขึ้น และการติดตั้งตัวช่วยผสมไร้การเคลื่อนที่มีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาดีขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะสองปัจจัยหลังจะมีผลต่อการผสมให้สารตั้งต้นทั้งสองมีโอกาสได้ทำปฏิกิริยากันมากขึ้น

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตในเชิงการค้าคือ อุณหภูมิในช่วง 110 ถึง 130°C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ความเข้มข้นของไซเตียมไฮดรอกไซด์ 0.1 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมันปาล์ม เรซิเดนซ์ใหม่ 15 นาที ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันดีเซลชีวภาพที่มีคุณภาพสูงความหนืดได้ตามมาตรฐาน แต่ใช้เวลาน้อยยังผลให้กำลังการผลิตสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Schwab, A.W., Bagby, M.O. and Freedman, B. "Preparation and Properties of Diesel Fuels from Vegetable Oils." Fuel, vol.66, 1987. pp. 1372-1378.
- [2] Ma, F. and Hanna, A. M. "Biodiesel Production: a Review.", Bioresource Technology, Vol.70, 2003. pp.1-15.
- [3] Michael, S.G. and Robert, L.M. "Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels in Diesel Engine." Fuel, vol.77, 1998. pp.1297-1302.
- [4] ปราโมทย์ ไชยเวช, ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2533.
- [5] อัมพร ภักดีชาติ, เครื่องยนต์ดีเซล. กรุงเทพฯ 2520.
- [6] จิรพันธ์ แดงขำ และ พีรพงศ์ เนียรภาค, การศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากไขปาล์มเสเตียริน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2544.
- [7] Ready Performance for Lubricant and Fuel Perform Diesel
- [8] Srivastava, A. and Prasad, R. "Triglyceride-Based Diesel Fuel.", Renewable and Sustainable Energy Review, vol.4, 2000. pp.111-133.
- [9] นันทมนตรี จันทร์ศิริสกุล. "การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปาล์มเสเตียรินโดยการผสม.", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.
- [10] Thomas, A. F., Lloyd A. N. and William, N. M. "Improveing the Properties of Vegetable Oils and Fats for Use as Biodiesel.", World Conference on OilSeed and Edible Oil Processing, Istanbul, Turkey, 1996.
- [11] Mohanprasad, A. D., Michael, J. G. and Galen J. S., "Noncatalytic Alcoholysis Kinetics of Soybean Oil.", J. Am. Oil Chem. Soc., vol.80, 2003. pp.189-192.
- [12] M. Diasakou, A. Lonludi and N. Papayannakos, "Kinetics of the Non-Catalytic Transesteri- fication of Soybean Oil", Fuel, vol.77, p.1297-1302, 1998.
- [13] Krisnangkura, K. and Simamaharnnop R., "Continuous Transmethylation of Palm Oil in an Organic Solvent.", J. Am. Oil Chem. Soc., vol.69, 1992. pp.166-169.

- [14] Freedman, B., Butterfield, R. O. and Pryde, E. H., "Transesterification Kinetics of Soybean Oil.", J. Am. Oil Chem. Soc., vol.63, 1986 p.1375- 1380.
- [15] Lang X., Dalai A.K., Bnhshi N. N., Reaney, M. J. and Hertz, P. B. "Preparation and Characterization of Bio-diesel from Various Bio-oils." Bioresource Technology, vol.80, 2001. pp. 53-62.
- [16] Hideki, F., Akihiko, K. and Hideo, N. "Review." Journal of Bioscience and Bioengineering, vol.92 No. 5 2001. pp. 405-416.
- [17] Ma, F., Clements, L. D. and Hanna, A. M. "The Effect of Mixing on Transesterification of Beef Tallow.", Bioresource Technology, vol.69, 1999. pp.289-293.
- [18] Fogler, S. C. Elementary of Chemical Reaction Engineering. 3 rd. New Jersey : Prentice Hall International Series. 1999.
- [19] Andre Bakker and David Ryan "Avoid Agitation By Selecting Static Mixers.", Chemical Engineering Progress, 1997. pp.28-38.
- [20] AOCS. Ca. 5a-40 : Free fatty acid. In : Official Methods and Reccomended Practices of the AOCS. 5 th ed. Illinois : American Oil Chemists' Society Press. 1997a.
- [21] กัญจนนา บุญเกียรติ การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี. กรุงเทพฯ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2536.
- [22] Perry, R. H. and Green, D. Perry's Chemical Engineer's Handbook 6th ed, Malaysia: McGraw Hill, 1984.
- [23] Freedman, B., Kwolek, W. F. and Pryde, E. H. "Quantitation in the Analysis of Transesterified Soybean Oil by Capillary Gas Chromatography.", J. Am. Oil Chem. Soc., vol.63, 1986. pp.1370-1376.
- [24] Hui, Y. H. Bailey's Industrial Oil and Fat Products 5th ed, USA: John Wiley & Son, 1996.
- [25] Filippis, P. D., Giovanini, C., Scarsella M. and Sorrentino, M., "Transesterification Process for Vegetable Oils: a Simple Control Method of Methyl Ester Content.", J. Am. Oil Chem. Soc., vol.72, 1995. pp.1399-1404.
- [26] Allen, C. A. W., Watts, K. C. and Pegg, M.J., "Predicting the Viscosity of Biodiesel Fuels from Their Fatty Acid Ester Composition." Fuel, vol.78, 2000. pp.1319-1326.

[27] Nouredini, H., Harkey, and Medikonduru, V., "A Continuous Process for the Conversion of Vegetable Oils into Methyl Ester of Fatty Acids." J. Am. Oil Chem. Soc., vol.75, 1998. pp. 1775-1783.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ตามวิธี AOCS. Ca 5a – 40

สารเคมีที่ใช้

1. เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล (0.1 N NaOH)
2. สารมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต 0.1 นอร์มอล (0.1 N KHP)
3. เตรียมเอทานอลให้เป็นกลาง (Neutral ethanol)

นำเอทานอล 95% 50 มิลลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ที่สะอาด ขนาด 250 มิลลิตร ที่แห้ง เติมฟีนอล์ฟทาลีน 4 หยด ให้ความร้อนแล้วทำการไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีชมพู

4. หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการไตเตรทด้วยสารมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต

น้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม ในสารละลาย 100 มิลลิตร

น้ำหนักสารมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต 2.020 กรัม ในสารละลาย 100 มิลลิตร

ไตเตรทสารมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต 10 มิลลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

วิธีการทดลอง

1. ตวงเอทานอลที่เป็นกลาง 50 มิลลิตร ที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำมันอยู่ 56.4 กรัม พร้อมกับเติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิตร

2. ทำการไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป

ตารางที่ ก.1 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายมาตรฐาน
ปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต

ครั้งที่	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	11.80
2	11.85
เฉลี่ย	11.825

การคำนวณ หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

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

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$M_1 (11.825) = (0.1)(10)$$

$$M_1 = 0.085$$

ดังนั้นความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.085 N

หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

ตารางที่ ก.2 น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ใช้หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

ครั้งที่	น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ใช้ (กรัม)
1	56.41
2	56.42

เมื่อทำการไตเตรทด้วยสารละลาย 0.085 N NaOH

ตารางที่ ก.3 ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรทกรดไขมันอิสระ

ครั้งที่	ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (กรัม)
1	2.7
2	2.8

คำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ดังสมการ

$$\text{ปริมาณกรดโอเลอิก, \%} = (V \times N \times 28.2) / M$$

$$\text{ปริมาณกรดปาล์มมิติก, \%} = (V \times N \times 25.6) / M$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของ NaOH (N)

M คือ น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน

ตารางที่ ก.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

น้ำมัน	% กรดปาล์มมิติก			% กรดโอเลอิก		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
น้ำมันปาล์มที่ใช้	0.104	0.107	0.106	0.114	0.118	0.116



ภาคผนวก ข

ผลการทดลองหาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์

ภาคผนวก ข จะแสดงผลการหาความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่สภาวะต่างๆ ดังนี้
 ตารางที่ ข.1 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 และ
 4.5:1 ไซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% เมื่อมีตัวผสมไว้การเคลื่อนที่

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เรซินเคซีโธม (นาท)	ความหนืด (เซนติสโตคร)	
		อัตราส่วน 6:1	อัตราส่วน 4.5:1
130	7	7.7	7.8
	11	6.1	5.8
	15	3.1	5.2
	23	14.1	16.9
	30	8.9	13.3
	38	3.5	4.2
	42	3.1	4.0
110	7	9.2	13.6
	11	6.2	6.5
	15	3.3	5.2
	23	14.9	18.4
	30	10.0	16.2
	38	4.2	4.9
	42	3.8	4.7
90	7	10.6	15.1
	11	6.8	7.4
	15	5.8	6.8
	23	15.6	19.4
	30	10.5	18.2
	38	4.2	6.2
	42	3.8	6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.2 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 130°ซ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน
ปาล์ม6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% เมื่อไม่มีตัวช่วยผสมไร้การเคลื่อนที่

เรซินเดนซีไทม์ (นาทิจ)	ความหนืด (เซนติสโตคร)
7	17.7
11	11.4
15	5.5
23	20.4
30	16.7
38	6.2
42	6.0

ตารางที่ ข.2.3 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 130°ซ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน
ปาล์ม6:1 เมื่อมีตัวผสมไร้การเคลื่อนที่แต่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

เรซินเดนซีไทม์ (นาทิจ)	ความหนืด (เซนติสโตคร)
15	21.6
23	30.1
42	21.3

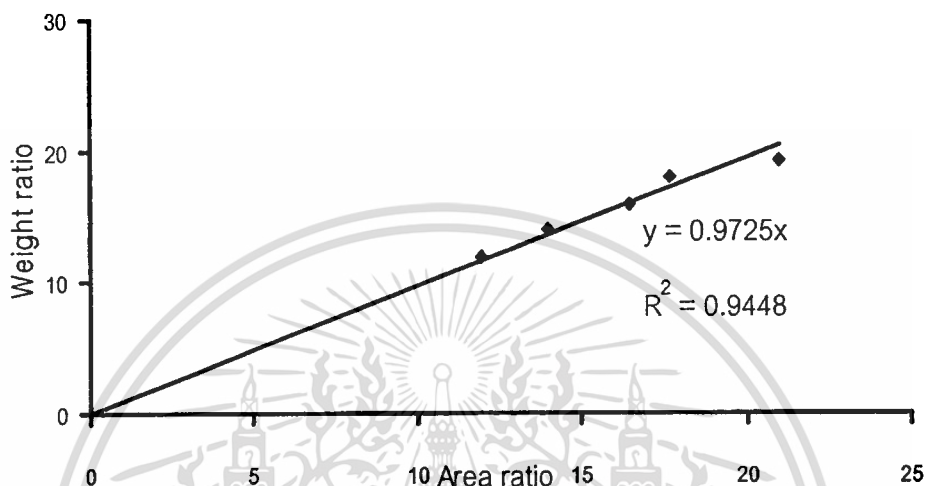
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

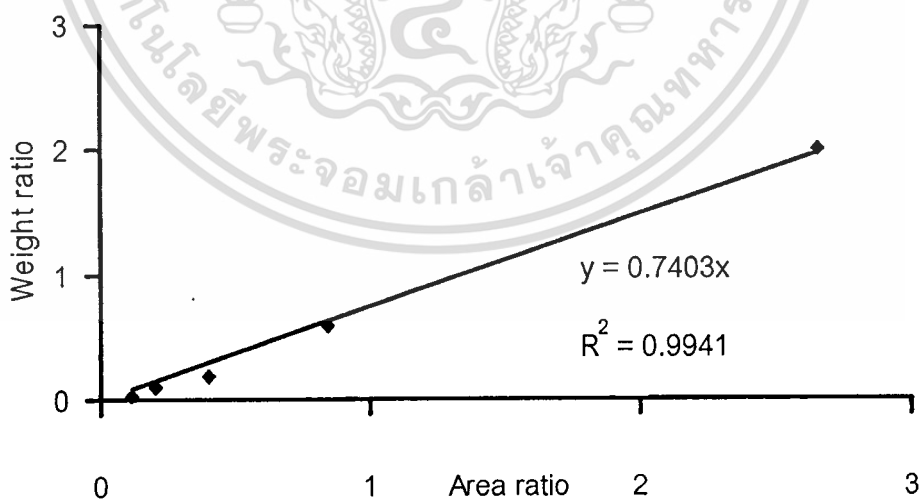
ผลการทดลองหาปริมาณผลิตภัณฑ์

ค.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์

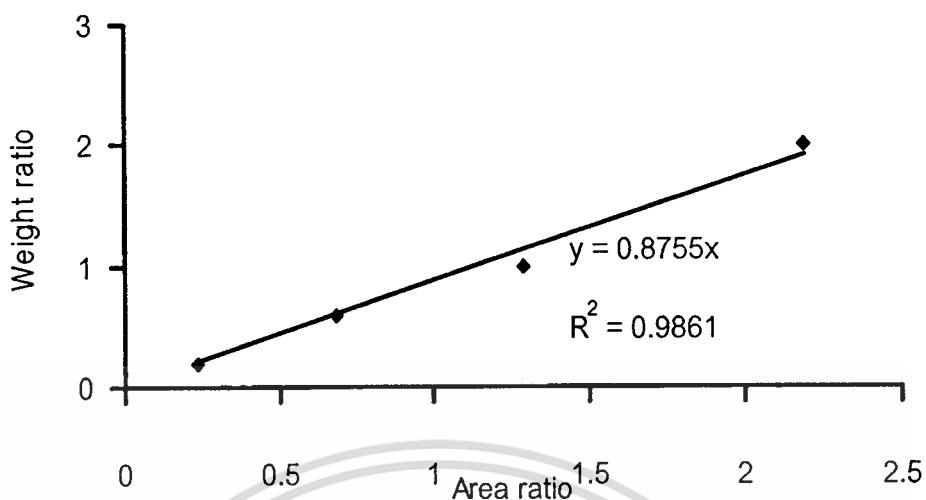
กราฟมาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพ



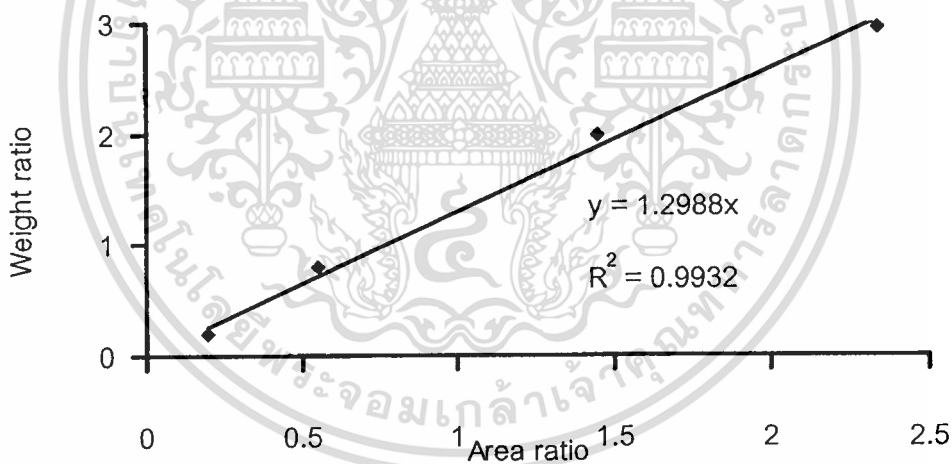
กราฟมาตรฐานโมโนกลีเซอไรด์



กราฟมาตรฐานโดกลีเซอไรด์



กราฟมาตรฐานไตรกลีเซอไรด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค จะแสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ ดังนี้

ตารางที่ ค.2.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1

ไซเตียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่อุณหภูมิ 90 110 และ 130°ซ เมื่อมีตัวผสมไ้การเคลื่อนที่

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เรซินซีโธม (นาทื)	BIO (%wt)	MG (%wt)	DG (%wt)	TG (%wt)
130	7	74.6	3.9	6.4	15.1
	11	78.5	2.5	4.9	14.0
	15	97.7	1.4	0.5	0.4
	23	51.8	3.8	14.2	30.2
	30	71.6	4.6	21.3	2.5
	38	91.1	2.8	4.2	1.8
	42	98.5	1.4	0.1	0
110	7	60.3	7.4	17.9	14.4
	11	66.5	4.8	10.4	18.3
	15	97.5	1.4	0.2	0.9
	23	40.8	5.5	17.4	36.3
	30	55.4	5.3	13.2	26.2
	38	80.4	5.1	5.9	8.6
	42	94.3	1.5	1.3	2.9
90	7	39.4	2.1	8.9	49.6
	11	48.3	7.2	14.6	29.9
	15	85.2	2.1	3.3	9.4
	23	27.9	3.9	20.5	47.8
	30	48.5	3.7	15.9	31.9
	38	70.9	2.2	5.5	21.3
	42	86.0	1.4	2.1	10.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 4.5:1

ไซเตียมไฮดรอกไซด์ 0.1% ที่อุณหภูมิ 90 110 และ 130°C เมื่อมีตัวผสมไร้การเคลื่อนที่

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เรซินเดนซ์โทรม์ (นาทีก)	BIO %wt	MG %wt	DG %wt	TG %wt
130	7	67.6	2.8	7.9	21.7
	11	70.3	2.9	7.2	19.6
	15	92.3	1.2	1.5	4.9
	23	42.5	2.6	10.9	44.0
	30	60.4	6.9	29.4	3.4
	38	88.2	5.8	3.7	2.4
	42	96.2	2.9	0.7	0.2
110	7	46.3	1.7	15.6	36.4
	11	65.7	4.6	10.1	19.6
	15	86.1	2.6	2.9	8.4
	23	38.0	2.2	11.2	48.5
	30	47.5	6.1	16.0	30.4
	38	74.4	3.4	8.6	13.5
	42	84.1	0.8	2.2	12.9
90	7	40.1	2.4	10.6	46.9
	11	44.2	8.3	16.9	30.7
	15	81.2	2.4	3.5	12.9
	23	17.2	1.3	8.8	72.7
	30	51.8	3.8	14.2	30.2
	38	69.9	5.1	8.9	16.1
	42	76.4	4.2	5.4	14.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2.3 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 130°ซ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% เมื่อไม่มีตัวช่วยผสมไว้การเคลื่อนที่

เรซินเดนซีโหม์ (นาทึ)	BIO %wt	MG %wt	DG %wt	TG %wt
7	41.9	2.9	9.6	45.7
11	64.9	6.2	9.7	19.2
15	85.4	5.2	3.6	5.8
23	17.9	1.9	15.8	64.4
30	42.3	3.7	10.1	43.9
38	78.7	3.3	4.3	13.7
42	82.2	5.1	5.6	6.9

ตารางที่ ค.2.4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 130°ซ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 เมื่อมีตัวผสมไว้การเคลื่อนที่แต่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

เรซินเดนซีโหม์ (นาทึ)	BIO %wt	MG %wt	DG %wt	TG %wt
15	7.8	3.8	19.4	69.0
23	5.9	0.3	17.2	76.5
42	8.6	1.1	7.9	82.5

ภาคผนวก ง

การคำนวณหาค่าความดันของระบบ

ในการกำหนดความดันของระบบเพื่อมิให้เมทานอลกลายเป็นไอ จะทำการคำนวณความดันไอของเมทานอลโดยใช้สมการของอ็องตวน ฌ อุนหนุมิสูงสุดที่ทำการทดลองเป็นเกณฑ์ โดยสมมติฐานว่าความดันไอรวมของระบบเป็นผลของความดันไอของเมทานอลเท่านั้น และผลของน้ำมันพืชต่อความดันไอรวมมีน้อยมาก

วิธีการคำนวณแสดงดังนี้

Antoine Equation

$$\log p^* = B - \frac{A}{C+T}$$

p^* = ความดันไอเป็นมิลลิเมตรปรอท

A, B, C = ค่าคงที่สำหรับสารแต่ละตัว

T = อุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส

สำหรับเมทานอล $A = 1473.11$

$B = 7.87863$

$C = 230$

$T = 130^\circ\text{C}$

$$\log p^* = 3.78666$$

$$p^* = 6118.71 \text{ mm Hg}$$

$$= 6118.71 \text{ mm Hg} \quad \left| \begin{array}{l} 0.9869 \text{ bar} \\ \hline 760 \text{ mm Hg} \end{array} \right.$$

$$= 7.95 \text{ bar}$$

จึงกำหนดให้ระบบมีความดัน 8 บาร์

ประวัติผู้เขียน

นายอนวัช ดรงค์ภินนท์ เกิดเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม พ.ศ.2520 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (เคมีอุตสาหกรรม) จากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ.2542 ได้สมรสกับ นางสาว อนันตยา ลาภา เกษมทิพย์ มีธิดา 1 คน ชื่อ เด็กหญิง อรورا ดรงค์ภินนท์

มีผลงานทางวิชาการ 2 เรื่อง คือ

1. "Sucrose Hydrolysis Catalyzed by an Acidic Ion Exchange Resin." ประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 9. 2542.
2. "การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์ระบบต่อเนื่องแบบท่อ." วิศวกรรมลาดกระบัง., ปีที่ 20 ฉบับที่ 4, เดือนธันวาคม. 2546.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้