

การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

Production of Biodiesel in a Tubular Reactor



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่าโดยวิธีใด ๆ ฝ่าฝืนให้มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เลขที่.....
เลขที่..... 55688
..... 24 พ.ค. 2548



Production of Biodiesel in a Tubular Reactor



Ms. Benjaporn

Muangsombut

Mr. Satit

Thanyapruksanon

Mr. Apirerk

Apichonkit

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ		
นักศึกษา	นางสาวเบญจพร	เมืองสมบัติ	รหัส 43010680
	นายสาธิต	ธัญญพุกษานนท์	รหัส 43010797
	นายอภิฤกษ์	อภิชนกิจ	รหัส 43010834
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
พ.ศ.	2546		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ประกอบ	กิจไชยา	

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ
 (รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ
 (ดร.ดวงกมล ติวระนอง)

.....กรรมการ
 (ดร.บงกช งามสม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น' อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ		
นักศึกษา	นางสาวเบญจพร	เมืองสมบัติ	รหัส 43010680
	นายสาธิต	ธัญญพฤษานนท์	รหัส 43010797
	นายอภิฤกษ์	อภิชนกิจ	รหัส 43010834
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
พ.ศ.	2546		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ประกอบ	กิจไชยา	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา สภาวะในกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม และเมทานอล โดยมีปัดัสเชื่อมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ ซึ่งติดตั้งเครื่องผสม ไร้การเคลื่อนที่ เพื่อเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เวลาของการทำปฏิกิริยา ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา

ในการทดลองใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล เท่ากับ 1 ต่อ 6 เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็น 15, 30 และ 45 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 0.1%, 0.3%, 0.5% และ 0.7% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม และอุณหภูมิเป็น 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำไปศึกษาคุณสมบัติความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากงานวิจัยนี้ในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ คือ ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 15 นาที และอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

Thesis	Production of Biodiesel from Palm Oil in a Tubular Reactor			
Student	Ms.Benjaporn	Muangsombut	ID	43010680
	Mr.Satit	Thanyapruksanon	ID	43010797
	Mr.Apirerk	Apichonkit	ID	43010834
Degree	Bachelor of Engineering			
Programme	Chemical Engineering			
Year	2003			
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Prakob Kitchaiya			

ABSTRACT

This project aims to study conditions for biodiesel production in a continuous flow tubular reactor. Biodiesel was produced from palm oil and methanol by transesterification being catalyzed by potassium hydroxide. There was a static mixer installed inside the reactor in order to enhance the mixing between oil and alcohol. This experimental study explored some factors, namely catalyst concentrations, reaction time and temperature, that affected the product viscosity.

By using palm oil and methanol molar ratio at 1: 6, the above factors were varied as following: residence time at 15, 30 and 45 minutes; catalyst concentrations at 0.1%, 0.3%, 0.5% and 0.7% by weight of palm oil; and temperature at 35, 40, 45 and 50 °C, respectively. It was found that temperature at 35 °C; residence time at 15 minutes and catalyst concentration at 0.5% provided the best result in this study.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษา คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา
ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ นางสาวสุริยาพร มาลัย นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ที่ช่วยให้คำปรึกษา คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนความรู้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจและ
แก้ไขข้อผิดพลาด จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนถึงกำลังใจต่อคณะผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัยนี้
สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแต่
ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวเบญจพร เมืองสมบัติ
นายสาธิต รัญญูพฤษานนท์
นายอภิฤกษ์ อภิชนกิจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป	VII
สัญลักษณ์.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ประเภทของพลังงาน.....	5
2.2 ความหมายของน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	5
2.3 ประเภทของน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	6
2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	9
2.5 น้ำมันพืชที่ใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	12
2.6 ความหมายของเครื่องผสมไร่การเคลื่อนที่.....	17
2.7 หลักการผสมของ เครื่องผสมไร่การเคลื่อนที่.....	18
2.8 การประยุกต์ใช้เครื่องผสมไร่การเคลื่อนที่.....	19
2.9 ข้อดีข้อเสียของน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	20
2.10 น้ำมันดีเซล.....	21
2.11 คุณภาพและมาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	24
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง.....	26
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	26
3.2 วิธีการทดลอง.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	30
4.1 ผลการทดลอง.....	30
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	30
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
5.1 ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัย.....	35
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	36
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	36
หนังสืออ้างอิง.....	37
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ.....	39
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	41
ภาคผนวก ค การหาค่าความหนืดของน้ำมัน.....	42
ภาคผนวก ง ข้อมูลด้านความปลอดภัย.....	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ความต้องการใช้พลังงานในประเทศ	1
1.2 น้ำมันพืชที่ใช้ผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในประเทศต่างๆ	2
2.1 ค่าไอเอนดินของไขมันและน้ำมันบางชนิด	13
2.2 สมบัติบางประการของกรดไขมัน	14
2.3 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	15
2.4 ปริมาณกรดไขมัน ในน้ำมันและไขมันชนิดต่างๆ	16
2.5 กรดไขมันของน้ำมันปาล์ม	16
2.6 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลในประเทศไทย	23
2.7 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพ	24
ก-1 อัตราการไหลของน้ำมันปาล์มและเมทานอล	34
ข-1 ความหนืด (เซนติสโตกส์) ณ เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 15 นาที	36
ข-2 ความหนืด (เซนติสโตกส์) ณ เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 30 นาที	36
ข-3 ความหนืด (เซนติสโตกส์) ณ เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 45 นาที	36

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชหรือสัตว์.....	6
2.2 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบผสม	7
2.3 ตัวอย่างการแตกสลายด้วยความร้อน	8
2.4 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	9
2.5 ผังการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพอย่างง่าย	9
2.6 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบสเร่งปฏิกิริยา	10
2.7 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้กรดเร่งปฏิกิริยา	12
2.8 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมัน	12
2.9 กรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว	13
2.10 ลักษณะของเครื่องผสมไ้การเคลื่อนที่และลักษณะของชิ้นส่วนภายใน	17
2.11 การผสมของเหลวโดยเครื่องผสมไ้การเคลื่อนที่	17
2.12 การละลายก๊าซในของเหลวด้วยเครื่องผสมไ้การเคลื่อนที่	17
2.13 ลักษณะการไหลแบบการแบ่งส่วนการไหล.....	18
2.14 ลักษณะการไหลแบบการผสมในแนวรัศมี.....	18
2.15 ลักษณะการไหลแบบการเปลี่ยนทิศทางการไหล.....	18
2.16 การผสมของของเหลวที่มีความหนืดต่ำภายในเครื่องผสมไ้การเคลื่อนที่.....	19
2.17 การแพร่กระจายของเหลวภายในเครื่องผสมไ้การเคลื่อนที่.....	19
2.18 การผสมของของเหลวที่มีความหนืดสูงภายในเครื่องผสมไ้การเคลื่อนที่.....	19
3.1 แผนภูมิแสดงการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ	28
3.2 กระบวนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ	29
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนืด ที่ T ใดๆ.....	31
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยากับความหนืดที่ T ใดๆ	32
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง τ กับความหนืด ที่อุณหภูมิใดๆ	33
ค-1 เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ ของ Koehler รุ่น K21590.....	43
ค-2 เครื่องวัดความหนืดของน้ำมันตามวิธีของเซย์โบลต์	43

สัญลักษณ์

- t = เวลา (วินาที)
 τ = เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์
 ν = ความหนืดไดนามิก (Kinematic Viscosity)



บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์ [1-4]

ประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณมาก โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลมีความต้องการมากถึง 43 ล้านลิตรต่อวัน หรือคิดเป็นประมาณ 40 % ของปริมาณน้ำมันที่ใช้ภายในประเทศ ซึ่งถือว่ามีสัดส่วนการใช้สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ และผลอันเนื่องมาจากภาวะราคาน้ำมันผันผวนทั่วโลก ทำให้ราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นสาเหตุให้หลายประเทศที่ได้รับความเดือดร้อน ได้มีการศึกษาหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนการใช้น้ำมันปิโตรเลียม เพื่อเป็นการผ่อนคลายปัญหาที่เกิดขึ้น จึงทำให้มีการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากผลิตผลทางการเกษตรในรูปแบบต่างๆ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานไม่รื้อหมด (Renewable sources) และน้ำมันพืชก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความสนใจ โดยนำไปใช้กับเครื่องยนต์ประเภทต่างๆ ทั้งเครื่องยนต์ทางการเกษตร เครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องยนต์เบนซิน

ตารางที่ 1.1 ความต้องการใช้พลังงานในประเทศ

ปี พ.ศ.	2540	2541	2542	2543	2544	2545
น้ำมันดีเซล (DIESEL)	42.9%	41.3%	41.4%	42.1%	43.7%	44.8%
น้ำมันเตา (FUEL OIL)	22.3%	21.5%	21.5%	17.9%	13.0%	13.3%
น้ำมันเบนซิน (GASOLINE)	18.0%	19.4%	19.0%	19.0%	19.7%	20.4%
น้ำมันเครื่องบิน (JET FUEL)	8.7%	9.0%	8.9%	9.8%	10.7%	10.3%
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)	8.0%	8.7%	9.0%	11.0%	12.7%	10.8%
น้ำมันก๊าด (KEROSENE)	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%

ที่มา : สำนักนโยบายและแผนพลังงาน

การใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์เซลมีการทดลองใช้ตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เนื่องจากสมัยนั้นน้ำมันปิโตรเลียมมีราคาถูก ประกอบกับมีปัญหาเกิดขึ้นมากมาย เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันพืชและน้ำมันดีเซลมีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลให้จุดติดยาก และการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชโดยตรงกับเครื่องยนต์แบบเดิมจึงไม่เหมาะสม ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรในรูปแบบต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องยนต์มากขึ้น เช่น การผลิตแก๊สโซฮอล์ ตลอดจนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) หรือน้ำมันดีเซลชีวภาพ ทั้งนี้เพื่อเป็นการนำทรัพยากรมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า และยังเป็นการรักษาเงินตราภายในประเทศ อีกทั้งยังความต้องการเสริมสร้างความมั่นคงในด้านพลังงานของประเทศ รวมถึงความต้องการลดมลพิษเพื่อให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้น

สำหรับในประเทศไทยเริ่มมีการวิจัยเกี่ยวกับน้ำมันดีเซลชีวภาพตั้งแต่ พ.ศ. 2524 โดยใช้ น้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน เช่น น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับในต่างประเทศ ได้มีการวิจัยน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำมันพืชจากพืชน้ำมันที่มีการเพาะปลูกมากในแต่ละประเทศ จนถึงปัจจุบันได้มีการตั้งโรงงานเพื่อผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากเมล็ดเรพ ในกลุ่มประเทศยุโรป และโรงงานผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มในประเทศมาเลเซีย

ในปัจจุบันกระบวนการผลิตไบโอดีเซลส่วนใหญ่เป็นแบบกะ (Batch reactor) ซึ่งใช้เวลานานในการผสม และใช้เวลาในการผลิตค่อนข้างนาน และไม่สามารถดัดแปลงให้เป็นระบบแบบอัตโนมัติได้ดีพอ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นแบบต่อเนื่อง (เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อโดยใช้ เครื่องผสมรีกการเคลื่อนที่ช่วยในการผสม) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ดีกว่าระบบการผลิตแบบเดิม อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 1.2 น้ำมันพืชที่ใช้ผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในประเทศต่างๆ [1]

ประเทศ	ชนิดของน้ำมัน
ฝรั่งเศส	เมล็ดเรพ ทานตะวัน
สเปน	เมล็ดเรพ ทานตะวัน
อิตาลี	ถั่วเหลือง
ออสเตรเลีย	น้ำมันที่ใช้แล้ว
เยอรมัน	เมล็ดเรพ น้ำมันที่ใช้แล้ว
สหรัฐอเมริกา	ถั่วเหลือง
มาเลเซีย	ปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) ของน้ำมันปาล์มในกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบท่อ
- 1.2.2 วางแผน ออกแบบ และทดสอบ กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบท่อ
- 1.2.3 ศึกษาผลของตัวแปรในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน คือ อุณหภูมิ เวลา และปริมาณของโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์
- 1.2.4 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาผลของอัตราความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (ต่าง) (0.1%, 0.3%, 0.5% และ 0.7% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม)
- 1.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส)
- 1.3.3 ศึกษาผลของเวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (Space time) ที่มีต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (15, 30, 45 และ 60 นาที)
- 1.3.4 ทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพ (ความหนืด) ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซล

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาหัวข้องานวิจัย
- 1.4.2 รวบรวมข้อมูล และ ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.3 คำนวณ ออกแบบ และสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ และอุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการทดลอง
- 1.4.4 ทำการทดลอง และทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้
- 1.4.5 สรุปผลการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.5.1 ทราบถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ
- 1.5.2 เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลและแนวทางสำหรับผู้สนใจในการศึกษา เพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป
- 1.5.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ประเภทดีเซล
- 1.5.4 เพิ่มทักษะในการทำงานวิจัย การวางแผน และดำเนินการตามเป้าหมาย ภายในเวลาที่กำหนด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเภทของพลังงาน [1]

พลังงานภายในโลกนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.1.1 พลังงานคินรูป หรือ พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy)

พลังงานหมุนเวียน คือ พลังงานที่เมื่อถูกใช้ไปแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานแก๊สชีวภาพ (Biogas) พลังงานชีวมวล (Biomass) เป็นต้น

2.1.2 พลังงานสิ้นเปลือง (Non-renewable Energy)

พลังงานสิ้นเปลือง คือ พลังงานที่เมื่อใช้จะหมดไป ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ หรือสร้างขึ้นมาใหม่ได้ในเวลาอันสั้น ส่วนใหญ่จะเป็นพวกทรัพยากรธรรมชาติ เช่น น้ำมัน หินลิกไนต์ ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

2.2 ความหมายของน้ำมันดีเซลชีวภาพ [1-4]

ไบโอดีเซล หรือ น้ำมันดีเซลชีวภาพ คือ น้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ ที่สามารถนำมาใช้ หรือ ทำการปรับเปลี่ยนสภาพ ก่อนนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ในทางวิชาการ ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing Materials) และ การใช้งานในต่างประเทศ ทั้งในสหรัฐอเมริกา และกลุ่มประเทศยุโรป ไบโอดีเซล หมายถึง สารประเภทโมโนแอลคิลเอสเทอร์ (Mono alkyl esters) ของกรดไขมัน ซึ่งผลิตได้จากน้ำมันพืช หรือ ไขมันจากสัตว์ ซึ่งถือเป็นแหล่งพลังงานไม่หมด โดยมีความสมบัติเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทดีเซลเช่นเดียวกับน้ำมันปิโตรเลียม

ไบโอดีเซลผลิตขึ้นโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า "ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน" โดยนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ มาผ่านการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล (Methanol) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือด่าง เช่น โซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Sodium / Potassium Hydroxide) ซึ่งจะทำให้สารไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นสารประเภทแอลคิลเอสเทอร์ (Alkyl esters) และ กลีเซอริน (Glycerin) เมื่อแยกกลีเซอรินออก สารที่เหลืออยู่ จะมีความสมบัติคล้ายกับน้ำมันดีเซล แต่จะต่างกันที่โมเลกุลของน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นกลุ่มของไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่ปลอดจากกำมะถัน หรือองค์ประกอบที่ซับซ้อนอื่นๆ แต่จะมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 10 % โดยน้ำหนัก จึงช่วยให้การสันดาปดีขึ้น ลดมลพิษจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และ ฝุ่นละออง เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นตัวทำละลายที่ดี จึงอาจทำให้ท่อทางเดินน้ำมันของรถยนต์ ซึ่งทำจากยางและพลาสติกบวมและรั่วได้ ดังนั้นการใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพกับรถยนต์จะต้องคำนึงถึงท่อทางเดินน้ำมันว่าสามารถใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงได้หรือไม่

น้ำมันพืชชนิดต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพได้นั้น สามารถสกัดได้จากพืชหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว เมล็ดยางพารา เมล็ดฝ้าย ละหุ่ง ถั่วลิสง ป่าน ปอ ทานตะวัน ดอกคำฝอย ฯลฯ ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณผลผลิตพืชในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีมากน้อยแตกต่างกันไป

สำหรับประเทศไทยน้ำมันพืชที่นำมาใช้ในการใช้งานขณะนี้ มีแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญ คือ ปาล์ม และ มะพร้าว ซึ่งเป็นการเอาน้ำมันพืชที่ได้มาผสมกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าด ซึ่งมีความแตกต่างจากไบโอดีเซลที่ใช้งานในต่างประเทศที่เป็นการนำแอลคิลเอสเทอร์มาใช้แทนน้ำมันดีเซล

2.3 ประเภทของน้ำมันดีเซลชีวภาพ [1-4, 6]

น้ำมันดีเซลชีวภาพสามารถแบ่งตามการผลิตได้ 4 ประเภท คือ

2.3.1 การนำมาใช้โดยตรง (Direct use)

การนำมาใช้โดยตรง เป็นการนำน้ำมันพืชหรือสัตว์ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ผสมหรือเติมสารเคมีอื่นใด เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน

แต่เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันพืชเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล และเกิดเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการป้อนเชื้อเพลิง และการใช้งานในบางพื้นที่ในช่วงฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำ จุดระเบิดได้ช้า เมื่อป้อนเข้าสู่หัวฉีดการเผาไหม้จะเกิดการดับดับไม่สมบูรณ์ และมีกากคาร์บอนหลงเหลือหลังการเผาไหม้สูง



รูปที่ 2.1 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชหรือสัตว์ [1]

จากปัญหาและข้อจำกัดต่างๆ ของน้ำมันพืชที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลปกติ จึงมีการดัดแปลงในส่วนของลูกสูบ ระบบหัวฉีด และห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ที่มีความเหมาะสมกับการใช้พลังงานจากน้ำมันพืช เช่น เครื่องยนต์ของ DMS Dieselmotorenund Geratebau GmbH (Moussa 1995) และ ELSBETT Technology (Elsbett G and Elsbett K. 1995) ที่มีการออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับใช้กับน้ำมันพืชโดยตรง เพื่อขจัดปัญหาด้านคุณสมบัติของน้ำมันพืช

2.3.2 การทำไมโครอิมัลชัน (Micro emulsion)

ไมโครอิมัลชัน หรือ พลังงานผสม (Hybrid Fuels) เป็นการกระจายอนุภาคของของเหลวที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ให้สามารถแขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่ง องค์ประกอบของการทำไมโครอิมัลชัน คือ น้ำมันพืช น้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด ซึ่งสารแขวนลอยที่เสถียรจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $1/4$ ของความยาวคลื่นแสง

วัตถุประสงค์ของวิธีการนี้ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องความหนืดของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เพื่อให้ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เช่น

โคโคดีเซล (Coco-Diesel) ที่ อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นการผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 20 ต่อ 1 โดยปริมาตร

ปาล์มดีเซล (Palm-Diesel) จังหวัดสุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 40 ต่อ 60 ต่อ 7 โดยปริมาตร

อย่างไรก็ตาม น้ำมันดีเซลชีวภาพประเภทนี้ยังมีปัญหาเนื่องจากเครื่องยนต์เดินไม่สะดวก ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส จึงอาจต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ น้ำมันดีเซลชีวภาพชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลเกษตร



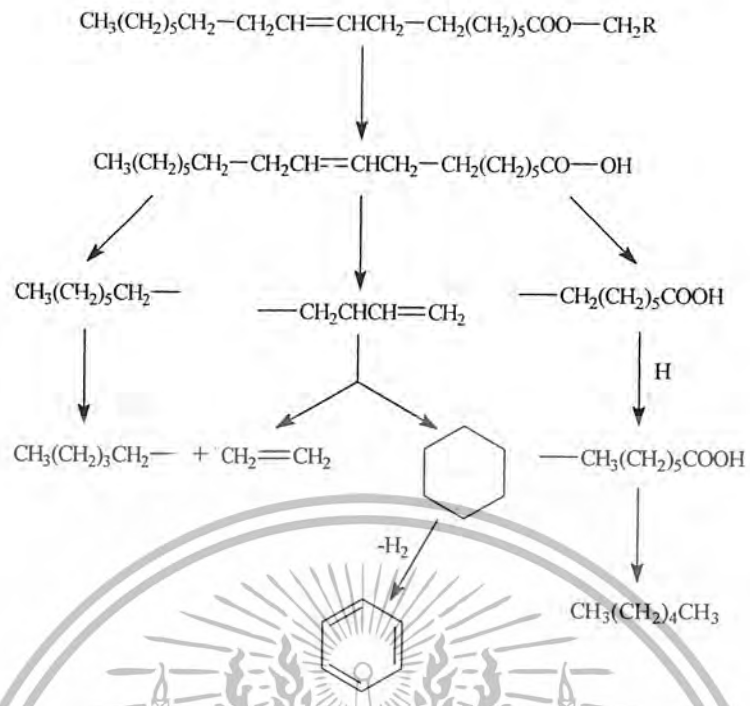
รูปที่ 2.2 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบผสม [1]

2.3.3 การแยกสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน (Thermal cracking or Pyrolysis)

การแยกสลายด้วยความร้อน คือ การเปลี่ยนสารจากชนิดหนึ่งไปเป็นสารอื่นๆ โดยใช้ความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นการสลายโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันด้วยความร้อน ให้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว สารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว และ สารที่มีการเติมออกซิเจน (Oxygenate) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ซีโอไลต์ (Zeolite) และ โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate; Na_2CO_3)

การเปลี่ยนแปลงนี้มีความซับซ้อน และเกิดสารหลายชนิดขึ้นพร้อมกัน ทำให้ต้องมีหน่วยแยกสารเพื่อแยกสารที่ต้องการใช้งานออกจากสารชนิดอื่นๆ ตัวอย่างของการแตกสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน แสดงดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



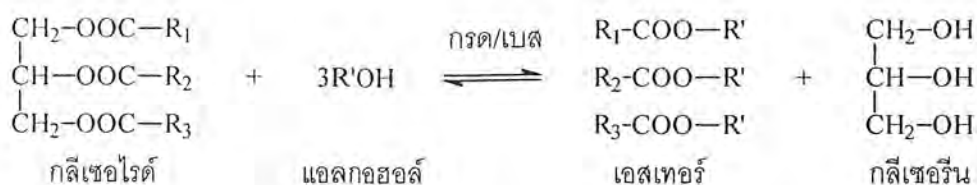
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการแตกสลายด้วยความร้อน [6]

2.3.4 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ และแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เอสเทอร์ และ กลีเซอริน ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปจะช่วยให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้ดี แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต้องไม่มีน้ำ เนื่องจากจะเกิดปฏิกิริยา สaponification หรือการเกิดสบู่แทน ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเอสเทอร์ลดลง และการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ทำได้ยากมากขึ้น ดังนั้นการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา จะใช้แอลกอฮอล์ละลายแทนน้ำ

แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในการผลิตได้แก่เมทานอล เพราะมีราคาถูก ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันในปัจจุบันเป็นเบส เนื่องจากให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่ากรด สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิและความดันต่ำ ได้ผลิตภัณฑ์มาก ผลข้างเคียงและเวลาการผลิตน้อย สามารถเกิดปฏิกิริยาโดยไม่ต้องใช้กระบวนการอื่น โดยจะเรียกชนิดของน้ำมันดีเซลชีวภาพตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (R_1, R_2, R_3 , คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน)

เมิลด์พีชน้ำมัน สกัดน้ำมัน น้ำมันพีชดิบ ทำให้บริสุทธิ์ น้ำมันพีชบริโภค



รูปที่ 2.5 ผังการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพอย่างง่าย [1]

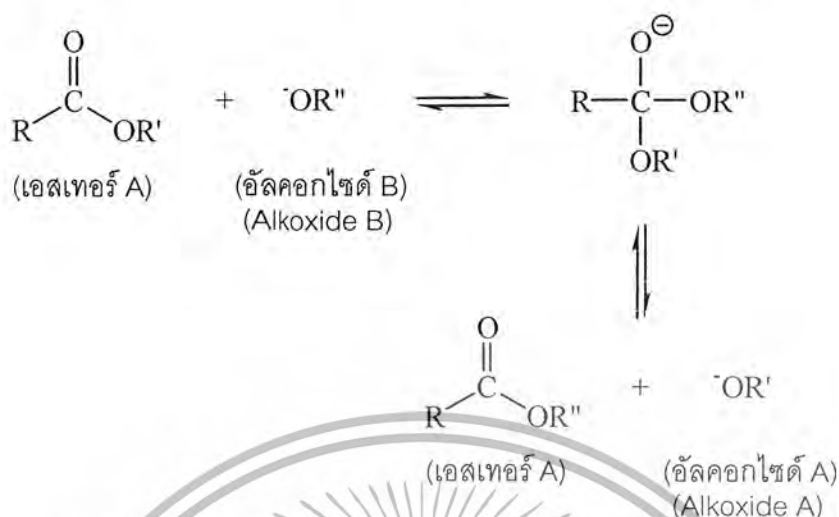
2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน [7-8]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์และกรดไขมัน โดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งประเภทของสารประกอบเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับแอลกอฮอล์ที่เข้าทำปฏิกิริยา เช่น ใช้เมทานอลในการทำปฏิกิริยาจะได้สารเมทิลเอสเตอร์ หรือ FAME (Fatty Acid Methyl Ester) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ ตามตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ได้แก่

- ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบสเร่งปฏิกิริยา
- ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้กรดเร่งปฏิกิริยา

โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยามีดังนี้

2.4.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Base Catalyzed)



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบสเร่งปฏิกิริยา [7]

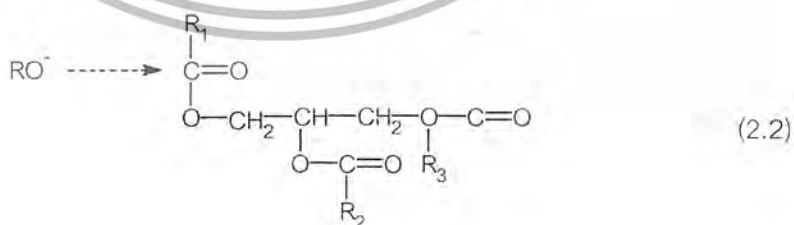
(R, R', R'' คือ สสารประกอบไฮโดรคาร์บอน)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มจากเบส (ปกติใช้ไฮดรอกไซด์) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เพื่อที่จะทำให้เกิดตัวกระตุ้นปฏิกิริยาที่มีประจุลบ

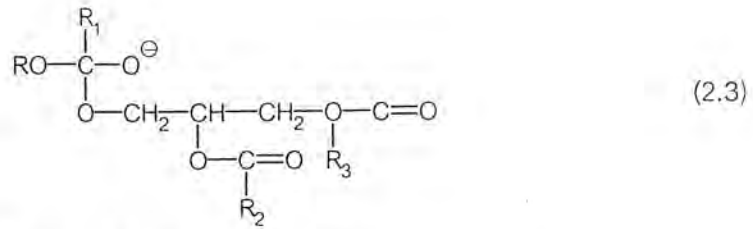


เนื่องจากเบสที่ใช้เป็นเบสแก่ ดังนั้นสมดุลของปฏิกิริยาจึงเลื่อนไปทางขวา โดยแอลกอฮอล์ (ROH) จำเป็นจะต้องแห้งมาก เพราะจากปริมาณน้ำในแอลกอฮอล์จะไปลดปริมาณของอัลคอกไซด์ (RO⁻) ซึ่งเป็นสารที่ไวต่อปฏิกิริยา

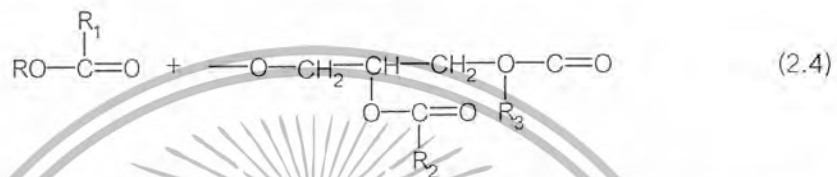
อัลคอกไซด์ จะเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนอะตอมของไตรกลีเซอไรด์ที่มีประจุบวกเล็กน้อย และออกซิเจนมีประจุลบเล็กน้อย ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ตรงตำแหน่งบนออกซิเจนในพันธะคู่



ผลที่ได้ในขั้นช่วงเปลี่ยน คือ จะมีอิเล็กตรอนคู่จากพันธะระหว่างคาร์บอนและออกซิเจน (C=O) จะย้ายไปอยู่บนออกซิเจน



แล้วอิเล็กตรอนเหล่านี้ก็จะกลับไปคาร์บอนและผลึกไกลคอล (glycol) ออก



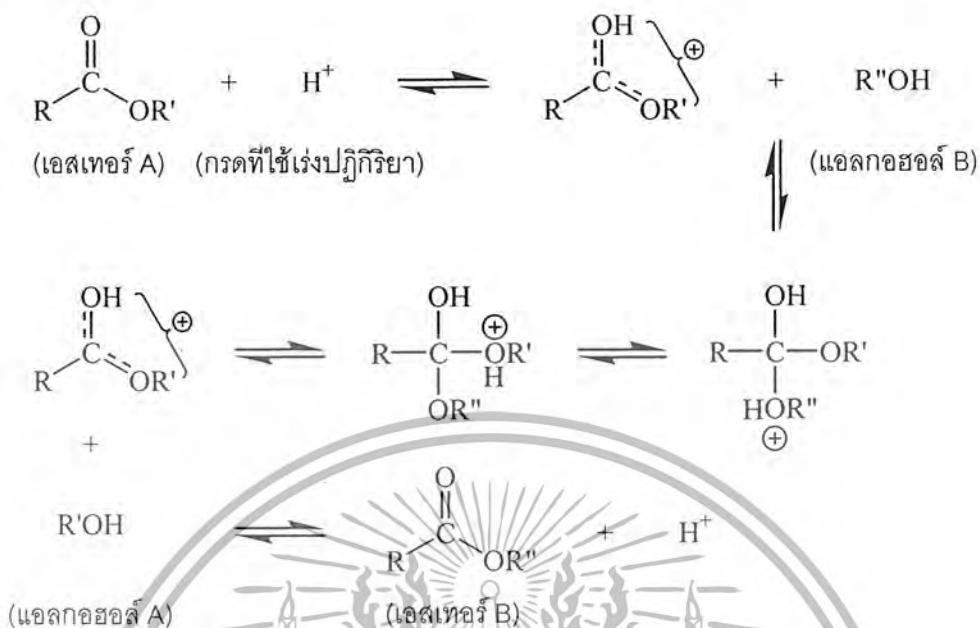
ต่อจากนั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอัลคอกไซด์ ผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยานี้ที่หมู่ของคาร์บอนิล (Carbonyl Group; C=O) อื่นๆ

ปฏิกิริยาประเภทนี้จะมีปัจจัยที่เป็นข้อจำกัด คือ อัลคอกไซด์จะต้องพอดีกับช่องว่างที่เป็นประจุบวกเล็กน้อยบนอะตอมของคาร์บอนที่หมู่ของคาร์บอนิล ดังนั้น MeO จะทำงานดีเพราะโมเลกุลมีขนาดเล็ก ในขณะที่ R ซึ่งอยู่บนอัลคอกไซด์ (RO) มีขนาดใหญ่กว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงลดลง

เนื่องจากอาจมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นบ้าง ดังนั้นจะต้องคอยตรวจให้แน่ใจว่าปฏิกิริยาได้ดำเนินไปในเส้นทางที่ต้องการ วิธีการที่ทำงานส่วนใหญ่คือการใช้ RO ที่มากเกินไป

วิธีการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย

2.4.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid Catalyzed)

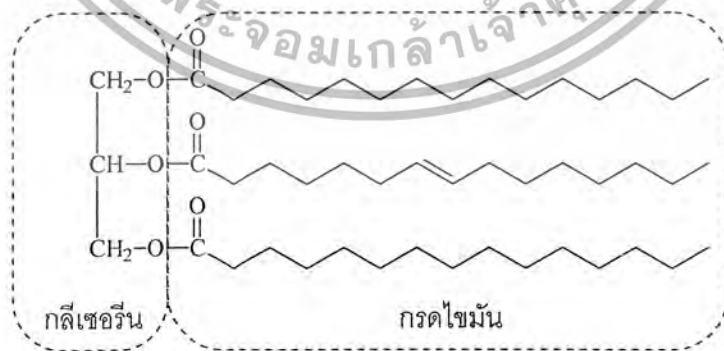


รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบสเร่งปฏิกิริยา [7]

2.5 น้ำมันพืชที่ใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ [3]

2.5.1 ลักษณะและโครงสร้างของน้ำมัน

น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์เป็นประเภท สารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีโครงสร้างเชื่อมต่อกัน กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 อะตอม โดยปริมาณกรดไขมันคิดเป็น 94-96% ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันตามคุณสมบัติของกรดไขมันนั้นๆ



รูปที่ 2.8 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว คือ กรดไขมันที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด และ กรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ กรดไขมันที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนตั้งแต่ 1 พันธะขึ้นไป น้ำมันพืชที่พบโดยส่วยใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันที่มีคาร์บอนระหว่าง 12 -18 อะตอม

น้ำมันพืชเป็นสารที่ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย และเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะทำให้เกิดสารเหนียว และน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันในปริมาณสูงจะให้ค่าไอโอดีนต่ำ ซึ่งค่าไอโอดีนเป็นดัชนีบอกถึงการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันได้มากหรือน้อย หรือบอกถึงความอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวของไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ดังนั้นการเลือกน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนต่ำในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียว



รูปที่ 2.9 กรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

ตารางที่ 2.1 ค่าไอโอดีนของไขมันและน้ำมันบางชนิด [9]

ไขมันหรือน้ำมัน	ค่าไอโอดีน
น้ำมันมะกอก	82
น้ำมันถั่วลิสง	87
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	109
น้ำมันดอกคำฝอย	131
น้ำมันข้าวโพด	120
ไขวัว	38
น้ำมันหมู	55
ไขมันของคน	65

ตาราง 2.2 สมบัติบางประการของกรดไขมัน [10]

กรดไขมัน	โครงสร้าง	จุดหลอมเหลว (°C)
กรดไขมันอิ่มตัว		
กรดลอริก (Lauric acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2\text{H}$	44
กรดไมริสติก (Myristic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{CO}_2\text{H}$	58
กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$	63
กรดสเตียริก (Stearic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$	70
กรดอะราซิดิก (Arachidic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{CO}_2\text{H}$	77
กรดไขมันไม่อิ่มตัว		
กรดปาล์มโตเลอิก (Palmitoleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	-1
กรดโอเลอิก (Oleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	16
กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$	-5
กรดไลโนเลนิก (Linolenic acid)	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$	-11
กรดอะราซิดอิก (arachidonic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{CO}_2\text{H}$	-49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [3]

น้ำมันพืช	ความถ่วงจำเพาะ 21 °C	ความหนืด 21 °C	ค่าความร้อน
	(g/ml)	(cP)	(kJ/kg)
น้ำมันถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
น้ำมันทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
น้ำมันมะพร้าว	0.915	51.9	37,540
น้ำมันถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
น้ำมันปาล์ม	0.898	88.6	39,550
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	0.915	36.9 (38 °C)	39,300
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

2.5.2 น้ำมันพืชและการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

เนื่องจากน้ำมันพืชมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดก็มีองค์ประกอบแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดไขมัน และฤดูกาล ดังนั้นการนำน้ำมันพืชไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทำงาน เช่น

- น้ำมันมะพร้าว ใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานนมชั้นหวาน ไอศกรีม เนย รวมทั้งสบู่
- น้ำมันปาล์ม ใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมเนยจากพืช หรือมากรีน อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสบู่ น้ำมันเครื่อง เครื่องสำอาง ยา และอื่นๆ

2.5.3 ประเภทของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในอุตสาหกรรม

น้ำมันปาล์มที่ใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท สามารถจำแนกได้ดังนี้

- น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) ถ้านำน้ำมันปาล์มดิบมาสกัดจะได้ส่วนที่เหลวใส เรียกว่า ปาล์มโอเลอิน (Palm Olein) ซึ่งใช้บริโภคได้ ส่วนที่ข้นจะเป็นไข เรียกว่า ปาล์มสเตียรีน (Palm Stearin) ซึ่งจะนำไปทำสบู่
- อาร์ ปาล์มออยล์ (Refined Palm Oil) เป็นน้ำมันปาล์มที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์เพียงขั้นตอนเดียว ไม่ได้แยกส่วนที่เหลวใสและข้นออกจากกัน นิยมใช้ผลิตสบู่
- อาร์ บี ปาล์มออยล์ (Refined Bleached Palm Oil) เป็นน้ำมันที่สกัดและกำจัดกลิ่นแล้ว แต่ยังไม่ได้ออกส่วนที่เหลวใส
- น้ำมันเนื้อในเมล็ดปาล์ม (Palm Kernel Oil) เป็นน้ำมันที่ราคาสูงกว่า น้ำมันปาล์มชนิดอื่นๆ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสบู่ หรือน้ำมันเนื้อในปรุงแต่งชนิดเต็มไฮโดรเจน นิยมใช้ในการผลิตช็อคโกแลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณกรดไขมัน ในน้ำมันและไขมันชนิดต่างๆ (กรัมของกรดไขมันต่อ 100 กรัมของไตรกลีเซอไรด์) [10]

น้ำมันหรือไขมัน	กรดไขมันอิ่มตัว			กรดไขมันไม่อิ่มตัว	
	Lauric (12:0)	Palmitic (16:0)	Stearic (18:0)	Oleic (18:1)	Linoleic (18:2)
ไขมันคน	-	24.0	8.4	46.9	10.2
ไขมันสัตว์	-	27.4	14.1	49.6	2.5
ไขมันเนย	2.5	29.0	9.2	26.7	3.6
น้ำมันมะพร้าว	45.4	10.5	2.3	7.5	trace
น้ำมันข้าวโพด	-	10.2	3.0	49.6	34.3
น้ำมันมะกอก	-	6.9	2.3	84.4	4.6
น้ำมันปาล์ม	-	40.1	5.5	42.7	10.3
น้ำมันถั่วลิสง	-	8.3	3.1	56.0	26.0
น้ำมันถั่วเหลือง	0.2	9.8	2.4	28.9	50.7

ตารางที่ 2.5 กรดไขมันของน้ำมันปาล์ม [11]

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	ปริมาณที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม
กรดไขมันอิ่มตัว		
กรดไมริสติก (Myristic acid)	14	2 %
กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid)	16	43 %
กรดสเตียริก (Stearic acid)	18	7 %
กรดไขมันไม่อิ่มตัว		
กรดโอเลอิก (Oleic acid)	18	39 %
กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid)	18	9 %
กรดไลโนเลนิก (Linolenic acid)	18	เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ความหมายของเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ (Static Mixer) [12]

เครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการผสมซึ่งไม่ใช่หน่วยขับเคลื่อนใดๆ โดยของไหลจะถูกกวนผสมเมื่อไหลผ่านเครื่องผสม

เครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นท่อที่ภายในประกอบไปด้วยชิ้นส่วน (Element) หลายๆ อัน โดยที่แต่ละอันมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว 1.5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ซึ่งบิดทำมุม 180 องศา และในบางชนิดจะมีรูปร่างลักษณะพิเศษเฉพาะ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยไม่เพียงแต่ใช้เพื่อผสมของผสมในกระบวนการเท่านั้น แต่ยังสามารถประยุกต์ใช้ในงานอื่นได้อีก เช่น การละลายก๊าซในของเหลว



รูปที่ 2.10 ลักษณะของเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่และลักษณะของชิ้นส่วนภายใน [12-13]

รูปที่ 2.11 การผสมของเหลวโดยเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ [12]



รูปที่ 2.12 การละลายก๊าซในของเหลวด้วยเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักการผสมของ เครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ (Mixing principles)

เครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ที่สามารถผสมของไหลได้ โดยอาศัยหลักการ 3 ข้อ คือ

2.7.1 การแบ่งส่วนการไหล (Division of Flow)

การแบ่งส่วนการไหลเป็นการแบ่งของไหลออกเป็น 2 ส่วน เมื่อของไหลไหลผ่านแต่ละชั้นส่วน ดังนั้นจำนวนส่วนที่ได้ (N) จะเป็นไปตามสูตร $N = 2^n$ เมื่อ n คือ จำนวนชั้นส่วน



รูปที่ 2.13 ลักษณะการไหลแบบการแบ่งส่วนการไหล [12]

2.7.2 การผสมในแนวรัศมี (Radial Mixing)

การผสมในแนวรัศมี คือ การผสมซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่ของไหลไหลไปตามส่วนโค้งของแต่ละชั้นส่วน ซึ่งจะไหลวนจากผนังท่อกลับเข้าสู่บริเวณกึ่งกลางของท่อ และไหลวนจากกึ่งกลางท่อไปยังผนังท่อสลับกันไป

รูปที่ 2.14 ลักษณะการไหลแบบการผสมในแนวรัศมี [12]

2.7.3 การเปลี่ยนทิศทางการไหล (Flow Reversal)

การเปลี่ยนทิศทางการไหล คือ การผสมขณะที่ของไหลไหลผ่านแต่ละชั้นส่วน ทิศทางการไหลของของไหลจะสลับเปลี่ยนไปมาระหว่างซ้ายและขวา แรงที่เกิดจากแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดนั้น มีค่ามากจนทำให้เกิดการกวนผสมของของเหลวขึ้น



รูปที่ 2.15 ลักษณะการไหลแบบการเปลี่ยนทิศทางการไหล [12]

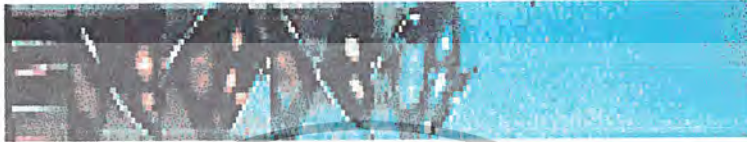
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การประยุกต์ใช้เครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่

การใช้งานเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่สามารถใช้กับลักษณะการผสมหรือการกระจายได้ไหลแบบ ดังนี้

2.8.1 การผสมของไหลที่มีความหนืดต่ำ

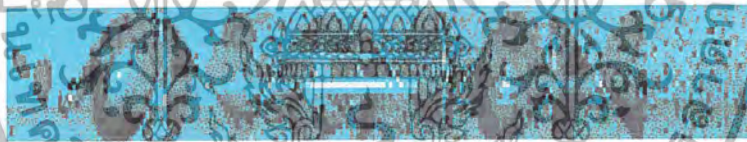
การผสมของไหลที่มีความหนืดต่ำและสามารถละลายซึ่งกันและกันได้ จะอาศัยหลักการเปลี่ยนทิศทางการไหลเป็นหลัก โดยการผสมในลักษณะนี้จะใช้ชิ้นส่วนในจำนวนน้อย



รูปที่ 2.16 การผสมของของเหลวที่มีความหนืดต่ำภายในเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ [12]

2.8.2 การแพร่กระจายของเหลว

การผสมของเหลวที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน เช่น น้ำและน้ำมัน เครื่องผสมสามารถแพร่กระจายน้ำมันให้ผสมกับน้ำได้ โดยอาศัยหลักการผสมในแนวรัศมี ซึ่งของผสมที่ไหลผ่านชิ้นส่วนจำนวนมากจะทำให้ขนาดของอนุภาคของน้ำมันเล็กลง



รูปที่ 2.17 การแพร่กระจายของเหลวภายในเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ [12]

2.8.3 การผสมของไหลที่มีความหนืดสูง

การผสมของเหลวความหนืดสูง จะอาศัยหลักการแบ่งส่วนการไหลและการผสมในแนวรัศมี จากภาพแสดงให้เห็นการผสมที่ละเอียดขึ้น เมื่อของผสมไหลผ่านไปในแต่ละชิ้นส่วน



รูปที่ 2.18 การผสมของของเหลวที่มีความหนืดสูงภายในเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ข้อดีข้อเสียของน้ำมันดีเซลชีวภาพ [1-4, 14]

2.9.1 ข้อดีของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

- เป็นพลังงานที่ปราศจากสารพิษ ถูกย่อยสลายง่าย ปลอดภัยจากสารกำมะถันและเบนซิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง อีกทั้งไม่มีกลิ่นและควันพิษ
- เป็นพลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้ในประเทศ และช่วยเพิ่มเสถียรภาพความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศ
- จุดติดไฟได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซล เกิดการจุดระเบิดได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ช่วยลดปัญหาจากปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) ที่ทำให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีผลเสียต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อม
- น้ำมันดีเซลชีวภาพมีจุดวาบไฟสูง จึงไม่ทำให้ติดไฟง่าย ปลอดภัยต่อการขนย้าย และเก็บรักษา โดยสามารถเก็บไว้ในภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำมันปิโตรเลียมได้ ยกเว้นถึงคอนกรีต หรือภาชนะที่ผลิตจากสารประเภทโพลีเอทิลีน และยางพารา
- มีการหล่อลื่นมากกว่าน้ำมันดีเซล จึงช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์
- ช่วยเพิ่มมูลค่าพืชผลทางการเกษตร

2.9.2 ข้อเสียของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

- ในปัจจุบันต้นทุนการผลิตสูง เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล
- อาจต้องมีการตรวจเช็ค และเปลี่ยนไส้กรองบ่อย เนื่องจากน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นตัวทำละลายที่ดี จึงสามารถละลายสิ่งสกปรกจากถังเก็บหรือท่อทางเดินน้ำมัน มาอุดตันที่ไส้กรอง
- ในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำอาจมีความจำเป็นต้องเติมสารลดจุดเยือกแข็ง (Pour point depressant)
- ต้องดัดแปลงส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่เป็นยาง เนื่องจากน้ำมันดีเซลชีวภาพสามารถทำลายได้
- การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำจำเป็นต้องเติมสารเติมแต่ง

2.10 น้ำมันดีเซล [15]

น้ำมันดีเซล คือ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมชนิดหนึ่งที่ได้จากการสงน้ำมันดิบ

2.10.1 ชนิดของน้ำมันดีเซล

เนื่องจากน้ำมันดีเซลสามารถนำไปใช้งานได้หลายด้าน จึงมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซลแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับการใช้งาน และมีหลายสถาบันที่ทำงานเกี่ยวข้องกับด้านเชื้อเพลิง หรืองานด้านอุตสาหกรรม ได้กำหนดชนิดของน้ำมันดีเซลไว้หลายชนิด เช่น

2.10.1.1 ASTM ได้แบ่งเกรดของน้ำมันดีเซลออกเป็น 3 ชนิด คือ

- น้ำมันดีเซล No. 1-D
- น้ำมันดีเซล No. 2-D
- น้ำมันดีเซล No. 4-D

2.10.1.2 FE (Federal specification) แบ่งน้ำมันดีเซลออกเป็น 4 ชนิด คือ

- DF-A (arctic)
- DF-1 (winter)
- DF-2 (regular)
- DF-4 (heavy)

2.10.1.3 USBM น้ำมันดีเซลออกเป็น 4 เกรด คือ

- เกรด 1 ใช้สำหรับรถโดยสาร
- เกรด 2 ใช้สำหรับรถบรรทุก รถแทรกเตอร์
- เกรด 3 ใช้สำหรับรถไฟที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล
- เกรด 4 ใช้สำหรับเรือเดินทะเล หรือโรงผลิตไฟฟ้า

สำหรับในประเทศไทยน้ำมันดีเซลที่ใช้อยู่มี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบเร็ว (Automotive Diesel Oil; ADO) หรือ น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (High speed diesel) หรือ น้ำมันโซล่า ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบสูง เช่น รถบรรทุก รถโดยสาร เป็นต้น

น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบช้า (Industrial Diesel Oil; IDO) หรือน้ำมันดีเซลหมุนช้า (Low speed diesel) หรือ น้ำมันซีโล ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบต่ำ เช่น ใช้ในการขับเคลื่อนเรือเดินทะเล การผลิตไฟฟ้า เป็นต้น



2.10.2 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่สำคัญมีดังนี้

2.10.2.1 ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อการทำงานของปั๊มและหัวฉีดของเครื่องยนต์ดีเซล กล่าวคือ ถ้าน้ำมันใสหรือข้นเกินไปจะทำให้การฉีดเป็นละอองฝอยทำได้ไม่ดี ซึ่งจะมีผลต่อการเผาไหม้และควันดำของไอเสีย

2.10.2.2 ค่าซีเทน (Cetane number ;CN) เป็นค่าที่ใช้บอกถึงความสามารถในการติดไฟ ซึ่งควรมีค่าสูงพอกับความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ จึงทำให้เครื่องติดง่าย ไม่เกิดการน็อกและประหยัดน้ำมัน

2.10.2.3 ดัชนีซีเทน (Cetane index) จะแสดงถึงคุณภาพในการติดไฟของน้ำมันดีเซลหาได้จากค่าความถ่วง API และอุณหภูมิของการกลั่นที่ 50%

2.10.2.4 อุณหภูมิการกลั่น (Distillation temperature) เป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงการระเหยของน้ำมัน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันมีจุดเดือดสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และเกิดควันดำ จึงมีข้อกำหนดเกี่ยวกับอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันดีเซลที่ 90% โดยปริมาตร จะต้องไม่สูงกว่า 357 องศาเซลเซียส

2.10.2.5 จุดจลาไฟ (Flash point) คือ อุณหภูมิที่น้ำมันได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอผสมกับอากาศ และเมื่อไอนี้ถูกเปลวไฟจะลุกวามขึ้น น้ำมันที่มีจุดจลาไฟต่ำจะต้องมีการดูแลอย่างระมัดระวัง

2.10.2.6 จุดเทไหล (Pour point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้ โดยจะมีผลต่อการใช้งานน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำ

2.10.2.7 ปริมาณกำมะถัน ในน้ำมันดีเซลกำมะถันจะอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น ไดซัลไฟด์ หรือ สารประกอบเฮเตอโรไซคลิก เป็นต้น ซึ่งกำมะถันเหล่านี้เมื่อผ่านห้องเผาไหม้จะกลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้นกลายเป็นกรดกำมะถันและกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์

จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลมีหลายประการ และเพื่อเป็นการรักษามาตรฐานของน้ำมันดีเซลให้เป็นผลดีกับเครื่องยนต์และสิ่งแวดล้อม ทางรัฐบาลไทยโดยกระทรวงพาณิชย์จึงได้กำหนดมาตรฐานของน้ำมันดีเซลภายในประเทศตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลในประเทศไทย

ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ
		หมุนเร็ว	หมุนช้า	
1. ความต้งจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	0.81	-	ASTM D 1298
2. ค่าซีเทน หรือ ดัชนีซีเทน	ไม่ต่ำกว่า	0.87	0.92	ASTM D 613
3. ความหนืด (เซนติสโตกส์)				ASTM D 445
ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	1.8	-	
	ไม่สูงกว่า	4.1	8.0	
ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	-	-	
	ไม่สูงกว่า	-	6.0	
4. จุดเทโหล (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า	10	16	ASTM D 97
5. ปริมาณกำมะถัน ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.05	1.5	ASTM D 2622
6. การกัดกร่อนแผ่นทองแดงหมายเลข	ไม่สูงกว่า	1	-	ASTM D 130
7. ปริมาณกากถ่าน ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.05	-	ASTM D 189
8. ปริมาณน้ำและตะกอน ร้อยละโดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า	0.05	0.3	ASTM D 2709
9. ปริมาณเถ้า ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.01	0.02	ASTM D 482
10. จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ไม่ต่ำกว่า	52	52	ASTM D 93
11. อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตร ในอัตราร้อยละ 90 (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า	357	-	ASTM D 86
12. สี	ไม่ต่ำกว่า	-	4.5	ASTM D 1500
	ไม่สูงกว่า	4.0	7.5	
13. คุณสมบัติการหล่อลื่น ทดสอบโดยเครื่อง HFRR (ไมโครเมตร)	ไม่สูงกว่า	460	-	CEC F-06-A-96

ที่มา : ประกาศกรมทะเบียนการค้า พ.ศ. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 คุณภาพและมาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพ [17]

คุณสมบัติของน้ำมันน้ำมันดีเซลชีวภาพ ตามมาตรฐานสากลที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ มาตรฐาน DIN 51606 และมาตรฐาน US ASTM แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของน้ำมันน้ำมันดีเซลชีวภาพ

คุณสมบัติ	หน่วย	มาตรฐาน	มาตรฐาน
		DIN 51606	US ASTM
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	ไม่น้อยกว่า 100	ไม่น้อยกว่า 100
ปริมาณน้ำ และ ตะกอน	ร้อยละโดยปริมาตร	-	ไม่มากกว่า 0.05
ปริมาณกากถ่าน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่มากกว่า 0.30	ไม่มากกว่า 0.05
ปริมาณเถ้า	ร้อยละโดยน้ำหนัก	-	ไม่มากกว่า 0.02
ความหนืด			
ที่ 40 องศาเซลเซียส	เซนติสโตกส์	3.5 – 5.0	1.9 – 6.5
ปริมาณกำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่มากกว่า 0.01	ไม่มากกว่า 0.05
ค่าซีเทน		ไม่น้อยกว่า 49	ไม่น้อยกว่า 40
จุดหมอก	องศาเซลเซียส		3 องศาเซลเซียส
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	-	ไม่มากกว่า 1	ไม่มากกว่า 3B
ค่าความเป็นกรดทั้งหมด	มิลลิกรัม KOH/กรัม	ไม่มากกว่า 0.50	ไม่มากกว่า 0.80
กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่มากกว่า 0.02	ไม่มากกว่า 0.02
ปริมาณกลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่มากกว่า 0.25	ไม่มากกว่า 0.24

ที่มา www.biodiesel.com

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Continuous Flow Biodiesel Production, C.L.Peterson et. al. (2002)

Peterson และคณะ ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ของน้ำมันเมล็ดเรพและเอทานอล แทนการใช้เมทานอล ซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยใช้กระบวนการผลิตเป็นกระบวนการไหลแบบต่อเนื่อง ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยปั๊มสำหรับปัมน้ำมัน, ปั๊มหยดช่องสำหรับใช้ในการผสม, ปั๊มที่ใช้สำหรับปั๊มเอทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา, เครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่, ระบบการฉีดน้ำ, ระบบการเหวี่ยงแยกแบบการไหลต่อเนื่อง พบว่าสามารถทำการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพได้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งแตกต่างจากระบบการผลิตในปัจจุบันที่ทำการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพที่อุณหภูมิสูง โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์

A Continuous Process for the Conversion of Vegetable Oil into Methyl Esters of Fatty Acid, H. Nourreddini et. al. (1998)

Noureddini และคณะ ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพของน้ำมันถั่วเหลืองและเมทานอล จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ด้วยกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการผลิตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรที่ใช้ในการผสมและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยไตรกลีเซอไรด์สามารถเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าหากใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่มากเกินไปจะช่วยให้ไตรกลีเซอไรด์สามารถเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงขึ้นจะทำให้การเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้ดีมากขึ้นเช่นกัน แต่จะทำให้การละลายของเมทิลเอสเทอร์ในชั้นของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นด้วย

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- บั๊ม
- ท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{1}{4}$ " ความยาว 15 เมตร
- ท่อพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร
- มาตรวัดความดัน (Pressure Gauge)
- ตัวดูดซับความดัน (Pulse absorber)
- ข้อต่อและข้อลด (Connection and Reducer), เข็มขัดรัดสายยาง
- เครื่องผสมไวกการเคลื่อนที่
 - ชนิดสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.25 นิ้ว ยาว 11.5 นิ้ว จำนวนส่วนประกอบ (element) 34 ชิ้น
 - โพลีโพรพิลีน เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.25 นิ้ว ยาว 12 นิ้ว จำนวนส่วนประกอบ (element) 48 ชิ้น
- บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- กรวยแยก ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
- บีเป็ด ขนาด 5 มิลลิลิตร และ ลูกยาง
- เครื่องวัดความเหน็ดแบบเซย์โบลต์ (Saybolt) ของ Koehler รุ่น K21590
- ชุดควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งประกอบด้วย
 - เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)
 - ตัวควบคุม (Controller)
 - ขดลวดให้ความร้อน (Heater)
 - พัดลม
 - กล้องโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สารเคมี

- เมทานอล
- น้ำมันปาล์ม ตรามรกต
- โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์
- กรดไฮโดรคลอริก 37%
- น้ำกลั่น

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมสาร

- การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ซึ่งโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ตามน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณ ในสัดส่วน 0.1% 0.3% 0.5% 0.7% และ 0.9% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม ละลายในเมทานอล

- การเตรียมสารละลายกรด เพื่อใช้ในการหยุดปฏิกิริยา

ผสมกรดไฮโดรคลอริกลงในเมทานอล โดยใช้ปริมาตร 20 และ 230 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร

- การเตรียมสารละลายเมทานอล เพื่อใช้ในการล้างไบโอดีเซล

ผสมน้ำกลั่นและเมทานอล โดยใช้น้ำในอัตราส่วน 10% โดยปริมาตร ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร

3.2.2 วิธีการทดลอง

- 3.2.2.1 เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิโดยตั้งอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส

- 3.2.2.2 บำน้ำมันปาล์ม และ สารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล

ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 ตามลำดับ ด้วยอัตราการไหลรวม 69 มิลลิลิตรต่อนาที

- 3.2.2.3 รอจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state)

- 3.2.2.4 เก็บตัวอย่างสาร 250 มิลลิลิตร

- 3.2.2.5 เทสารตัวอย่างใส่กรวยแยกขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรด

และเขย่า เพื่อหยุดปฏิกิริยา

- 3.2.2.6 รอจนสารแยกออกเป็น 2 ชั้น แยกเอาสารชั้นล่างซึ่งเป็นไบโอดีเซล ใส่

ในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร

- 3.2.2.7 นำไบโอดีเซลที่ได้ ไปล้างจนได้ค่า pH ที่เป็นกลาง

- 3.2.2.8 อบไบโอดีเซลที่ได้จากการล้างในตู้อบ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

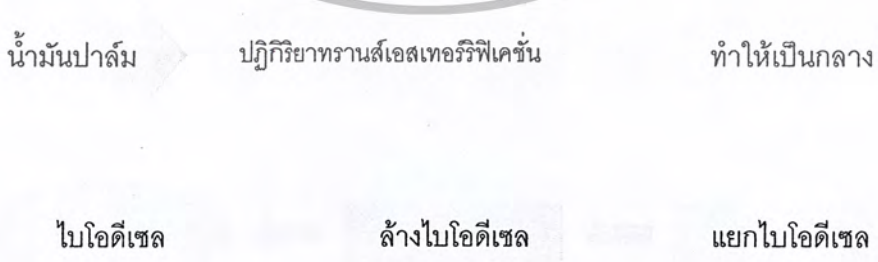
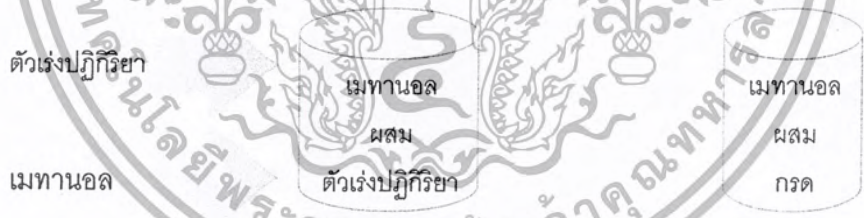
เพื่อระเหยน้ำออก

- 3.2.2.9 ตั้งไบโอดีเซลทิ้งไว้จนเย็น แล้วนำไปวัดค่าความหนืด (ภาคผนวก ค)
- 3.2.2.10 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-9 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 40 45 และ 50 องศาเซลเซียส
- 3.2.2.11 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-10 โดยเปลี่ยนอัตราการใช้ไฮดรอกไซด์เป็น 34 และ 23 มิลลิลิตรต่อนาที่
- 3.2.2.12 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-11 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 0.3% 0.5% 0.7% และ 0.9% โดยน้ำหนัก

รูปแบบของกระบวนการ การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

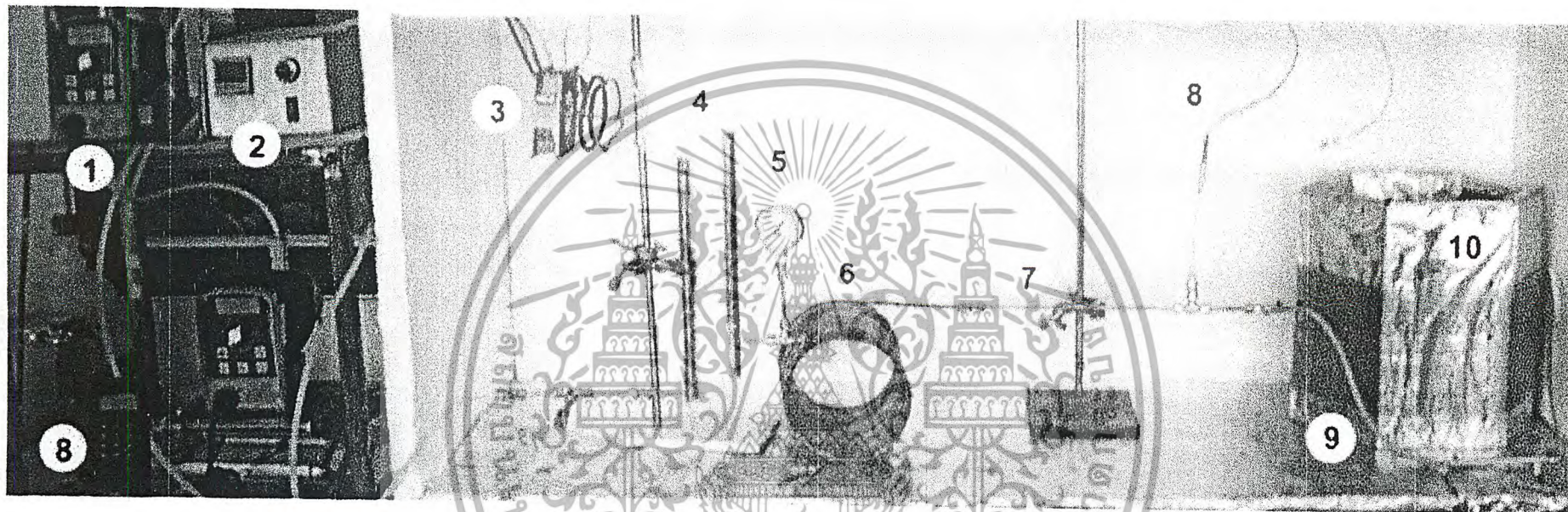
3.2.3 วิธีการล้างไบโอดีเซล

- 3.2.3.1 เทสารละลายเมทานอลที่เตรียมไว้ ลงในไบโอดีเซลที่อยู่ในกรวยแยก ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเขย่า
- 3.2.3.2 ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้น แยกไบโอดีเซล (ชั้นล่าง) ใส่กรวยแยก ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3.2.3.3 ทำซ้ำในข้อ 1-2
- 3.2.3.4 เติมน้ำอุ่น (60 องศาเซลเซียส) ลงในไบโอดีเซลที่อยู่ในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเขย่า
- 3.2.3.5 ตั้งทิ้งไว้ให้สารแยกชั้น แยกน้ำ (ชั้นล่าง) ออก
- 3.2.3.6 ทำซ้ำในข้อ 4-5 จนน้ำที่ได้มีค่า pH เป็นกลาง



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงการผลิตไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 กระบวนการส่งเคราะห์ไมโครเวฟ

- ① บั้ม
- ② เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
- ③ ชุดให้ความร้อน
- ④ ตัวดูดซับความดัน
- ⑤ มาตรวัดความดัน
- ⑥ ขดลวดให้ความร้อน
- ⑦ เครื่องผสมไรการเคลื่อนที่ แบบสแตนเลส
- ⑧ เทอร์โมคัปเปิล
- ⑨ เครื่องผสมไรการเคลื่อนที่ แบบโพลีโพรพิลีน
- ⑩ ชุดขวดท่อพลาสติก

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

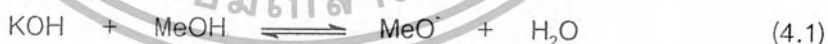
4.1 ผลการทดลอง

ผลการทดสอบหาค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 40 องศาเซลเซียส ที่สังเคราะห์จากเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ โดยมีเครื่องผสมไร้อากาศที่ช่วยในการผสมแสดงดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืด

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่าที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จะมีค่าลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจาก ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาในเมทานอล จากปฏิกิริยาตามสมการที่ 4.1 ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น จะทำให้มีปริมาณของ MeO^- เพิ่มมากขึ้น และเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนอะตอมของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดน้ำมันดีเซลชีวภาพมากขึ้นตามไปด้วย ความหนืดที่ได้จึงลดลงตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.7 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม ค่าความหนืดจะกลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เนื่องจาก ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้นจะทำให้เกิดน้ำในระบบมากขึ้นตามไปด้วย โดยน้ำที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดสบู่ (ปฏิกิริยาสaponification) ซึ่งทำให้คุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้ลดลงและยากต่อการทำให้บริสุทธิ์ (การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ) จึงทำให้ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้เพิ่มขึ้น

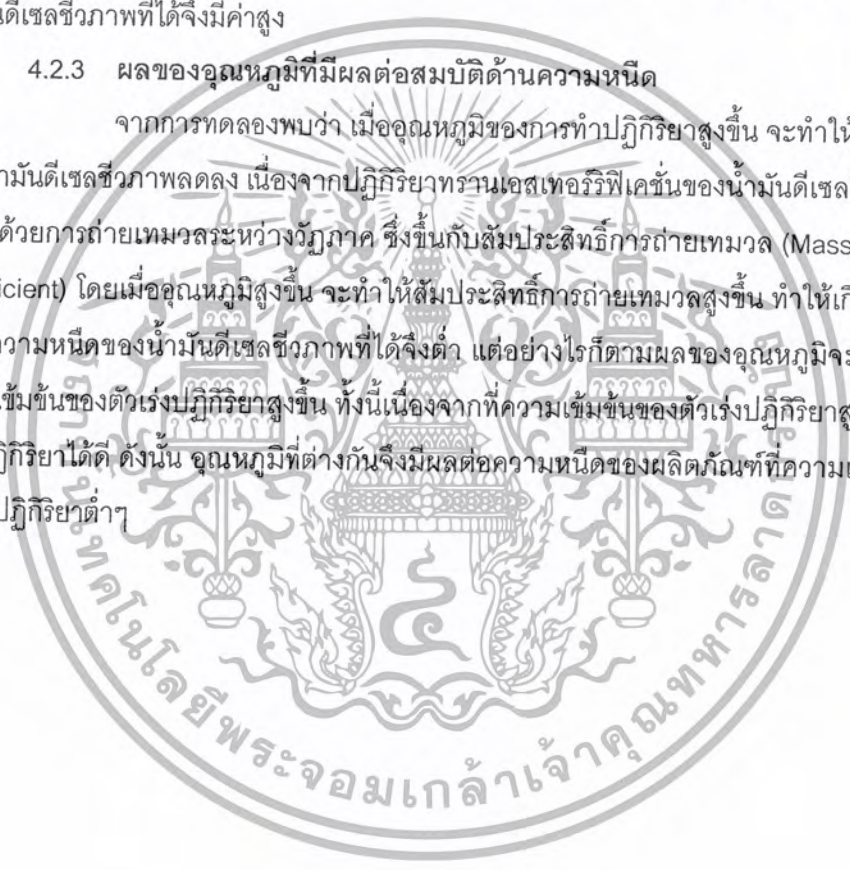


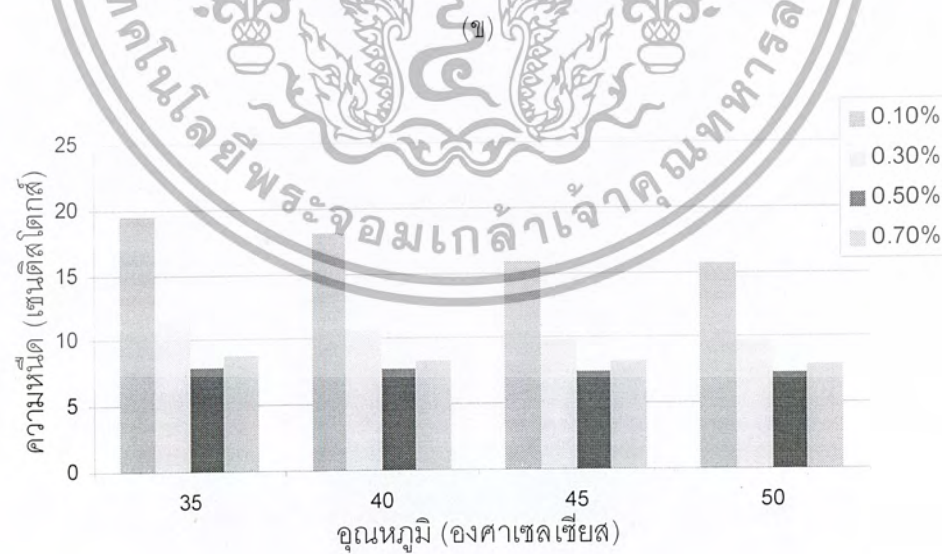
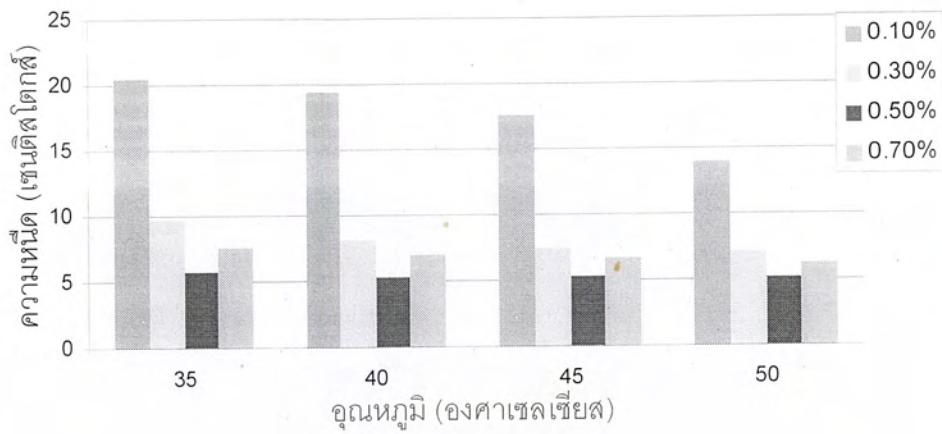
4.2.2 ผลของเวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืด

จากการทดลองพบว่าที่เวลาในเครื่องปฏิกรณ์ 30 นาที จะทำให้ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้มีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจาก ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ต้องอาศัยการผสมกันระหว่างสารตั้งต้นที่ดี เพราะสารตั้งต้นทั้ง 2 ไม่ละลายซึ่งกันและกันซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ยาก และต้องมีเวลาเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนั้น หากเวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ต่ำจะให้ความเร็วในการไหลสูง ซึ่งจะให้ลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนและเกิดการผสมที่ดี แต่จะทำให้เวลาที่สารทั้ง 2 เกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ลดลง แต่หากเวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์นานเกินไปจะทำให้ความเร็วในการไหลต่ำ และไม่ก่อให้เกิดลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้การผสมกันระหว่างสารตั้งต้นเกิดขึ้นไม่ดีพอ ดังนั้นจึงเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้ต่ำ ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จึงมีค่าสูง

4.2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืด

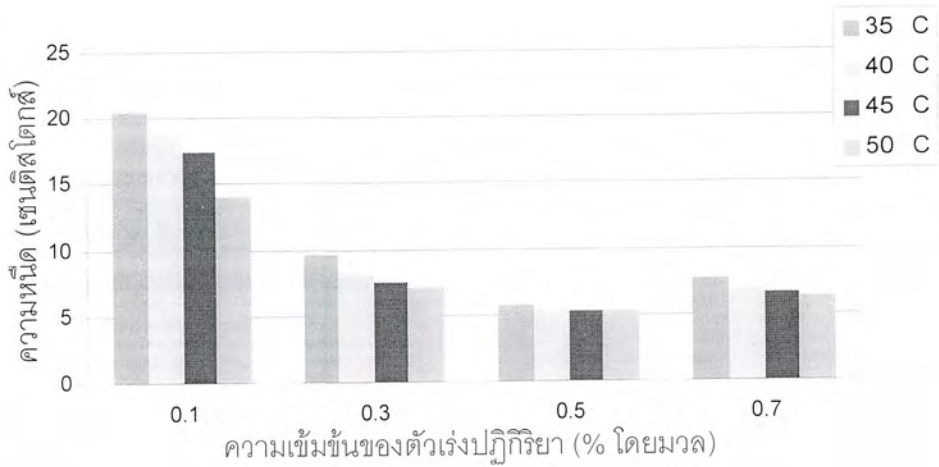
จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น จะทำให้ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันดีเซลชีวภาพ ถูกจำกัดด้วยการถ่ายเทมวลระหว่างวัฏภาค ซึ่งขึ้นกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (Mass Transfer Coefficient) โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสูงขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จึงต่ำ แต่อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาสูง จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี ดังนั้น อุณหภูมิที่ต่างกันจึงมีผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ำๆ





รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุนหภูมิกับความหนืด ที่ T ใดๆ

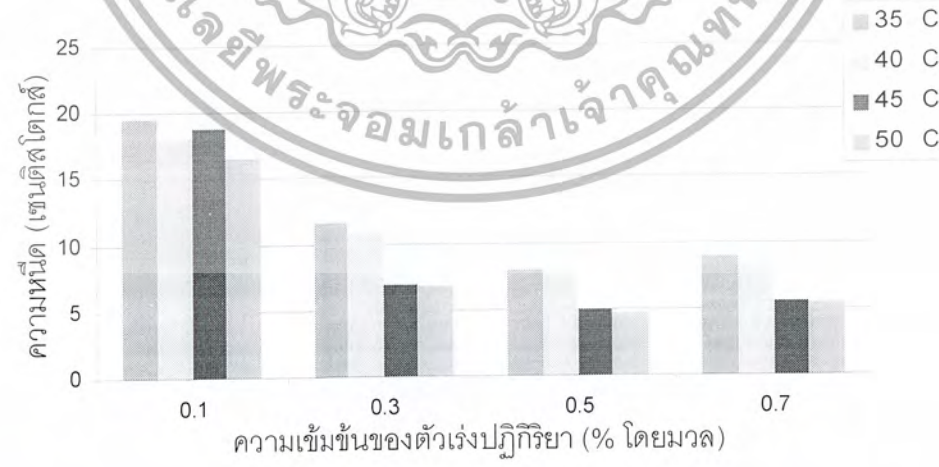
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



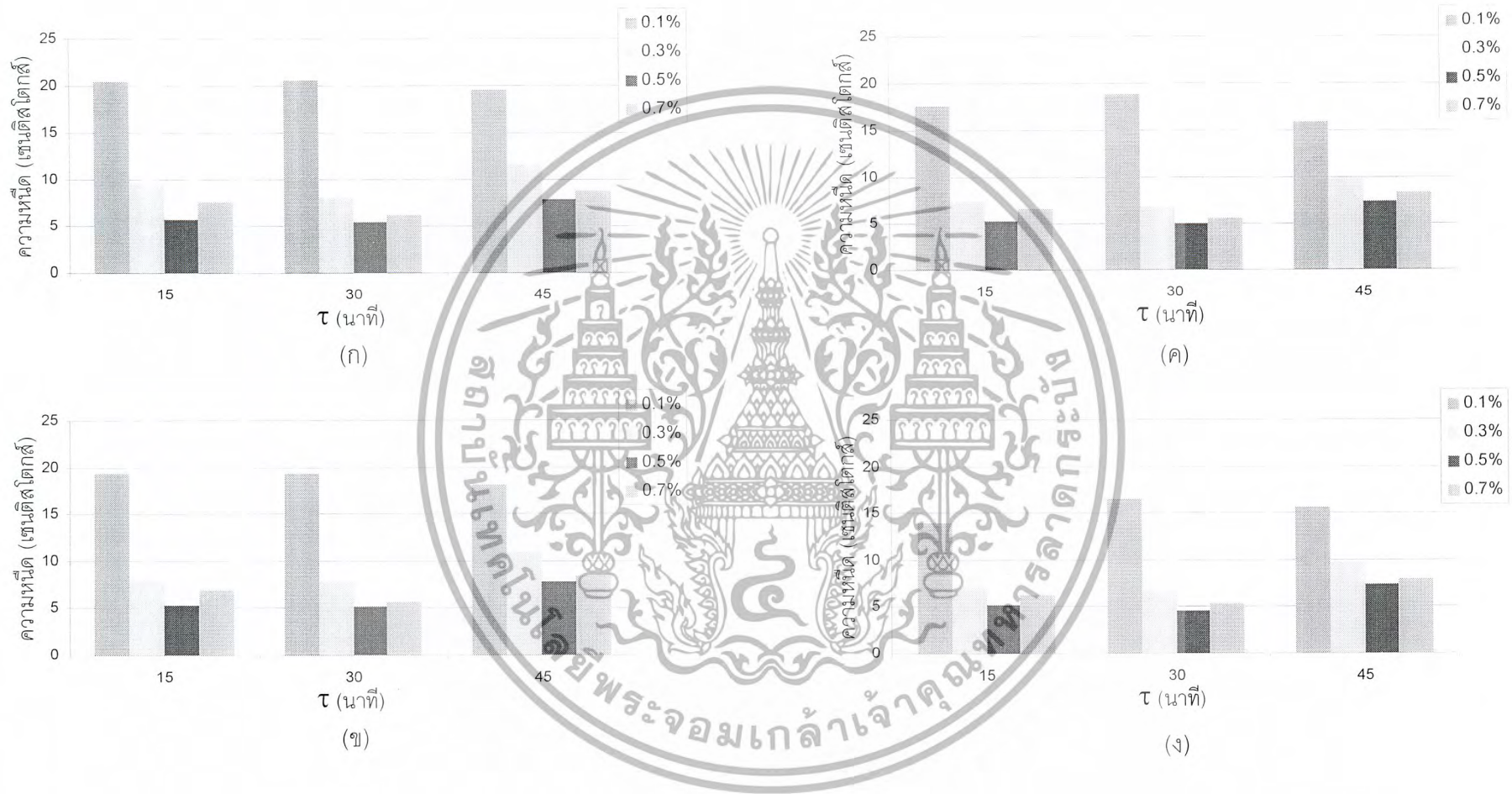
(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยากับความเหน็ดที่ T ใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ T=15 นาที, T=30 นาที, T=45 นาที และ T=60 นาที ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง τ กับความหนืด ที่อุณหภูมิใดๆ

ก. ที่ 35 องศาเซลเซียส, ข. ที่ 40 องศาเซลเซียส, ค. ที่ 45 องศาเซลเซียส, ง. ที่ 50 องศาเซลเซียส

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม และเมทานอล โดยมีโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ ซึ่งติดตั้งเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่ โดยใช้อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล เท่ากับ 1 ต่อ 6 เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็น 15, 30 และ 45 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 0.1%, 0.3%, 0.5% และ 0.7% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม และอุณหภูมิเป็น 35, 40, 45, และ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำไปศึกษาสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้ (ความหนืด ที่ 40 องศาเซลเซียส)

จากการทดสอบสมบัติด้านความหนืดสรุปได้ว่า

5.1.1 ผลของเวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืด

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพ คือ การผสมกันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล และเวลาที่ให้สารทั้ง 2 เกิดปฏิกิริยาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ โดยจากการทดลองเวลาในเครื่องปฏิกรณ์ 30 นาที เป็นเวลาที่สามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้

5.1.2 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืด

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ คือ ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม เนื่องจากความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ไม่ดี และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะทำให้เกิดลُبขึ้นแทน ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเกิดได้ไม่ดี

5.1.3 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืด

ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น จะทำให้ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพลดลง แต่อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาสูง จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี ดังนั้น อุณหภูมิที่ต่างกัน จึงมีผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ำ

จากการทดลองที่เวลาในเครื่องปฏิกรณ์ 30 นาที และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.5 % และ 0.7% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม อุณหภูมิที่สามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้อยู่ระหว่าง 35 ถึง 50 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาที่ให้ค่าความหนืดที่ดีที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

จากปัจจัยทั้ง 3 สามารถสรุปได้ว่า สภาพที่เหมาะสมที่สุดจากงานวิจัยนี้ในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ ที่มีความหนืดเป็นไปตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนช้า (ไม่สูงกว่า 8 เซนติสโตกส์) คือ ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 15 นาที และอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

- 5.2.1 ในการเตรียมของผสมระหว่างต่างที่ใช้ (โปดัสเซียมไฮดรอกไซด์) และเมทานอลไม่ควรทิ้งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ไว้นาน เนื่องจากโปดัสเซียมไฮดรอกไซด์จะดูดความชื้นจากอากาศอย่างรวดเร็ว เพราะความชื้นที่ปะปนจะทำให้เกิดสบู่มุขณะทำการทดลอง
- 5.2.2 ในการเดินเครื่องปั๊มทั้ง 2 ตัว ควรปรับความถี่ของปั๊มทั้งสองให้เท่ากัน เพื่อให้การไหลเข้าของสารทั้ง 2 ไหลเข้าได้พร้อมกัน
- 5.2.3 หลังจากนำน้ำมันดีเซลชีวภาพ ที่ผ่านการระเหยน้ำออกแล้ว ควรเก็บในภาชนะที่มีสารดูดความชื้น เพื่อป้องกันน้ำจะละลายลงในน้ำมันดีเซลชีวภาพ และเมื่ออุณหภูมิเย็นลงแล้วควรรีบนำไปวัดความหนืดโดยทันที
- 5.2.4 ก่อนเริ่มการทดลองใหม่และเลิกการทดลองในแต่ละครั้ง ควรมีการปั๊มเมทานอลเข้าสู่ระบบ เพื่อล้างกลีเซอรอลที่ค้างอยู่ในระบบท่อออกก่อน และป้องกันการอุดตันของระบบท่อ

5.3 ข้อเสนอแนะ

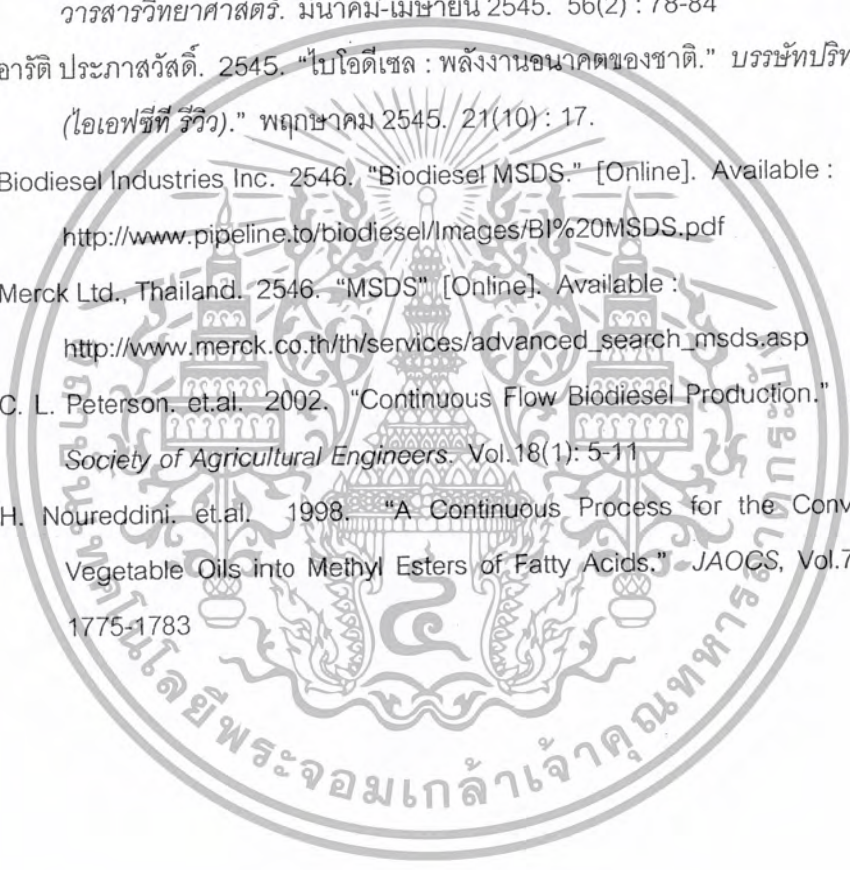
- สำหรับการพัฒนาส่วนเพิ่มเติมจะมีแนวทางดังต่อไปนี้
- 5.3.1 อาจมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ช่วยในการผสมจากเครื่องผสมไร้การเคลื่อนที่เป็นอุปกรณ์ช่วยการผสมชนิดอื่น เช่น แพ็คเบด
 - 5.3.2 ควรแยกให้ความร้อนแก่สารตั้งต้น (น้ำมัน และ เมทานอลกับต่าง) ก่อน (บริเวณชุดลดทองแดง) โดยแยกให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นแต่ละชนิด เพื่อป้องกันการผสมและเกิดปฏิกิริยาก่อนถึงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ป้วย ชุ่นใจ และ สยาม ภพลือชัย. 2544. "ไบโอดีเซล เชื้อเพลิงชีวภาพแห่งยุคสมัย".
Update. สิงหาคม 2544. 16(168) : 50-56.
- [2] ศิริวรรณ บุรีคำ. 2546. "ไบโอดีเซล ทางเลือกใหม่ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิง." [ออนไลน์].
เข้าถึงได้จาก : http://clgc.rdi.ku.ac.th/newsletter/news16_1/biodiesel.html
- [3] พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2544. "ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์
ดีเซล" *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. กันยายน-ธันวาคม 2544. 16(3) : 5-7
- [4] กัญจนา บุญเกียรติ และ สุกัญญา มากมี. 2544. "ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือกใหม่
สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล." *วารสารวิทยาศาสตร์*. พฤษภาคม-มิถุนายน 2544.
55(3) : 148-152.
- [5] Energy Policy and Planning Office Ministry of Commerce. "CONSUMPTION OF
PETROLEUM PRODUCTS." [Online]. Available :
<http://www.eppo.go.th/info/NB-T02.html>. 2003
- [6] Schwab, A.W. et.al. 1987. "Preparation and Properties of Diesel Fuels from
Vegetable oils." *Fuel* 66. : 1372-1378
- [7] Robert T. et.al. "Organic Chemistry." 3rd Ed. India: Prentic-Hall, 1976. : 682-
683
- [8] Wikipedia, the free encyclopedia. "Biodiesel." [Online]. Available :
<http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>. 2547
- [9] เกษร พะลัง. *เคมีอินทรีย์เบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช. 2539.
231-234
- [10] William H. Brown. *ORGANIC CHEMISTRY*. New York : Saunders College
Publishing. 1996. 995-1000
- [11] ชมรมเพื่อการพัฒนามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. *ปาล์มน้ำมันและอุตสาหกรรมน้ำมัน
ปาล์ม*. กรุงเทพฯ. 2529. 18
- [12] Noritake. 2546. "Static Mixer." [Online]. Available :
<http://www.noritake.co.jp/eng/eeg/kakouki/feature.html>
- [13] Kenics. 2546. "Static Mixer." [Online]. Available :
<http://www.kenics.com/km.php>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] อารัติ ประภาสวัสดิ. 2545. "ไบโอดีเซล." *บริษัทปริทรรศน์(ไอเอฟซีที รั้ววิว).* มิถุนายน 2545. 21(11): 15-17.
- [15] ประเสริฐ เทียนนิมิตร และคณะ. 2540. "เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น" กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด ยูเคชั่น. : 157-177
- [16] กรมทะเบียนการค้า. 2545. "รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมทะเบียนการค้า เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2545"
- [17] Pacific Biodiesel, Inc. 2546. "Biodiesel Fuel." [Online]. Available : http://biodiesel.com/biodiesel_fuel.htm#FUEL
- [18] มุทิตา ยันนุรพา และคณะ. 2545. "ไบโอดีเซล (Biodiesel) จากน้ำมันพืช 3 ชนิด." *วารสารวิทยาศาสตร์. มีนาคม-เมษายน 2545.* 56(2) : 78-84
- [19] อารัติ ประภาสวัสดิ. 2545. "ไบโอดีเซล : พลังงานอนาคตของชาติ." *บริษัทปริทรรศน์ (ไอเอฟซีที รั้ววิว).* พฤษภาคม 2545. 21(10): 17.
- [20] Biodiesel Industries Inc. 2546. "Biodiesel MSDS." [Online]. Available : <http://www.pipeline.to/biodiesel/Images/BI%20MSDS.pdf>
- [21] Merck Ltd., Thailand. 2546. "MSDS" [Online]. Available : http://www.merck.co.th/th/services/advanced_search_msds.asp
- [22] C. L. Peterson. et.al. 2002. "Continuous Flow Biodiesel Production." *American Society of Agricultural Engineers.* Vol.18(1): 5-11
- [23] H. Nouredini. et.al. 1998. "A Continuous Process for the Conversion of Vegetable Oils into Methyl Esters of Fatty Acids." *JAOGS, Vol.75, no.12:* 1775-1783



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก-1 การหาอัตราการไหล

ปริมาตรรวมของระบบ	1030	มิลลิลิตร
ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์ม	0.88	กรัม/มิลลิลิตร
ความหนาแน่นของเมทานอล	0.79	กรัม/มิลลิลิตร
อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	1:6	โดยโมล
อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล โดยประมาณ	5:1	โดยปริมาตร

ตัวอย่างการคำนวณ ณ เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 15 นาที

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลของของผสม} &= \frac{1030}{15} = 69 \text{ มิลลิลิตร/นาที} \\ \text{อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม} &= \frac{5}{6} \times 69 = 57.5 \text{ มิลลิลิตร/นาที} \\ \text{อัตราการไหลของเมทานอล} &= \frac{1}{6} \times 69 = 11.5 \text{ มิลลิลิตร/นาที} \end{aligned}$$

ตาราง ก-1 อัตราการไหลของน้ำมันปาล์มและเมทานอล

เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (นาที)	อัตราการไหล	
	น้ำมันปาล์ม (มิลลิลิตร/นาที)	เมทานอล (มิลลิลิตร/นาที)
15	57.5	11.5
30	28	6
45	19	4

ก-2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 0.1% โดยน้ำหนัก ณ เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 15 นาที (กำหนดให้ทำการทดลอง 120 นาที)

$$\text{น้ำมันปาล์ม } 57.23 \text{ มิลลิลิตร หนัก} = 57.23 \times 0.8836 = 50.57 \text{ กรัม}$$

$$0.1\% \text{ ของน้ำมันปาล์ม} = 50.57 \times \frac{0.1}{100} = 0.0506 \text{ กรัม}$$

∴ ใน 1 นาที ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.05 g

ในการทดลอง 120 นาที ต้องใช้

$$\text{เมทานอล} = 11.44 \times 120 = 1372.8 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ตัวเร่งปฏิกิริยา} = 0.0506 \times 120 = 6.072 \text{ กรัม}$$

หรือ

$$\text{เมทานอล} = 1500 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ตัวเร่งปฏิกิริยา} = \frac{1500 \times 6.072}{1372.8} = 6.63 \text{ กรัม}$$

นั่นคือ ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 6.63 กรัม ละลายในเมทานอล 1500 มิลลิลิตร

ก-3 การคำนวณหาค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ความหนืด [cSt]} = 0.226t - \frac{195}{t}$$

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 0.5% โดยน้ำหนัก ณ เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเวลาที่ได้จากเครื่องวัดความหนืด 41.48 วินาที

แทนค่าลงในสมการ

$$\text{ความหนืด [cSt]} = 0.226t - \frac{195}{t} = 4.67$$

เซนติสโตกส์

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดลอง

จากการทดลองได้ผลดังตาราง

ตาราง ข-1 ความหนืด (เซนติสโตกส์) ณ เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 15 นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา			
	0.1%	0.3%	0.5%	0.7%
35	20.48	9.63	5.71	7.65
40	19.35	8.12	5.37	6.97
45	17.50	7.49	5.33	6.60
50	13.95	7.07	5.21	6.27

ตาราง ข-2 ความหนืด (เซนติสโตกส์) ณ เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 30 นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา			
	0.1%	0.3%	0.5%	0.7%
35	20.60	8.01	5.47	6.23
40	19.39	7.89	5.16	5.70
45	18.80	6.87	4.95	5.60
50	16.54	6.74	4.67	5.40

ตาราง ข-3 ความหนืด (เซนติสโตกส์) ณ เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 45 นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา			
	0.1%	0.3%	0.5%	0.7%
35	19.53	11.54	7.93	8.84
40	18.09	10.83	7.80	8.41
45	15.90	9.92	7.44	8.26
50	15.67	9.73	7.38	7.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การหาค่าความหนืดของน้ำมัน

สำหรับเครื่องวัดค่าความหนืดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ (Say bolt) ของ Koehler รุ่น K21590 ซึ่งการวิเคราะห์นี้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D88 โดยเครื่องวัดความหนืดที่ใช้เป็นเครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซล

เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซล (Saybolt Universal) เป็นการวัดค่าความหนืดของน้ำมัน โดยการจับเวลาการไหลเป็นวินาที ของน้ำมัน 60 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ไหลผ่านรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0695 นิ้ว (1.77 มิลลิเมตร) ความยาว 0.4823 นิ้ว (12.25 มิลลิเมตร) โดยค่าความหนืดที่ได้มีหน่วยเป็นวินาทีเซย์โบลต์ (Saybolt Universal Seconds; SUS)

ขั้นตอนการวัดความหนืด

1. ทำความสะอาดท่อทางเดินน้ำมันในเครื่องทดสอบ
2. ปิดจุกก๊อกที่รูไหลของน้ำมัน
3. ให้น้ำมันลงในท่อที่จะทดสอบในระดับที่ต่ำกว่าขอบเล็กน้อย โดยปรับเครื่องทดสอบให้มีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และรอจนน้ำมันที่จะทดสอบมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส
4. นำขวดแก้วสำหรับรองน้ำมันขนาด 60 มิลลิลิตร วางใต้จุกก๊อก โดยประมาณให้น้ำมันที่ไหลจากรูสัมผัสกับด้านในของขวด เพื่อป้องกันน้ำมันกระเด็นหรือเกิดฟอง
5. ตั้งจุกก๊อกออกพร้อมกับเริ่มจับเวลา จนกระทั่งระดับของน้ำมันในขวดถึงขีดบอกปริมาตร 60 มิลลิลิตร บันทึกเวลาที่ได้เป็นวินาที

สำหรับน้ำมันที่ผ่านเครื่องทดสอบนี้ต้องนำมาเปลี่ยนหน่วยตามสมการที่ ค เพื่อเปลี่ยนหน่วยจากวินาทีเซย์โบลต์เป็นเซนติสโตก (cSt)

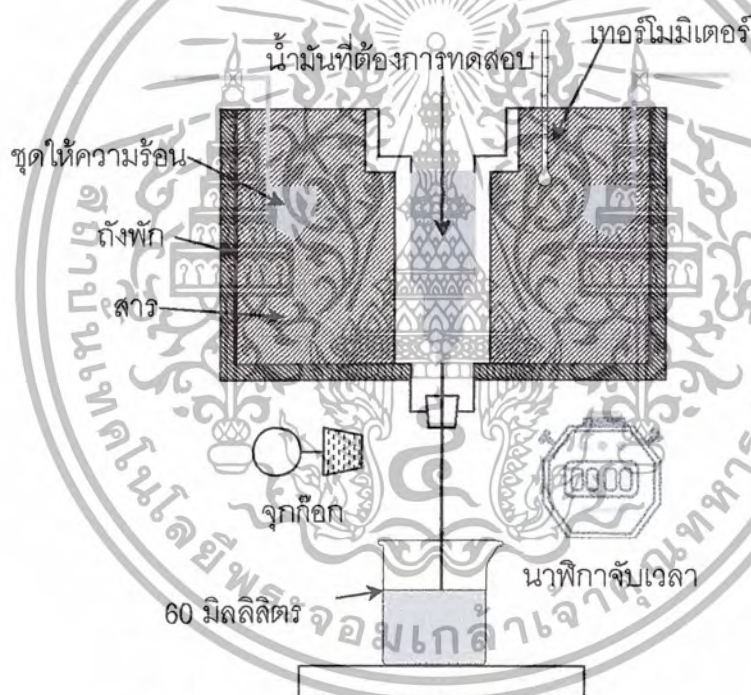
ซึ่งเครื่องวัดนี้มีข้อเสีย คือ เมื่อน้ำมันสกปรกจะไปอุดตันรูไหลของน้ำมันได้

$$v = 0.226 t - \frac{195}{t} \quad (\text{เมื่อค่า } t \text{ อยู่ระหว่าง } 32\text{-}100 \text{ วินาที}) \quad (\text{ค-1})$$

$$v = 0.220 t - \frac{135}{t} \quad (\text{เมื่อค่า } t \text{ มากกว่า } 100 \text{ วินาที}) \quad (\text{ค-2})$$



รูปที่ ค-1 เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ ของ Koehler รุ่น K21590



รูปที่ ค-2 เครื่องวัดความหนืดของน้ำมันตามวิธีของเซย์โบลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลด้านความปลอดภัย

ง-1 ไบโอดีเซล [20]

Material Safety Data Sheet

SECTION I PRODUCT IDENTIFICATION

Common Name : Biodiesel
Chemical Name : Fatty Acid Methyl Ester
Formula : C14-C24 Methyl Esters
Chemical Family : CAS No. 67784-80-9

SECTION II INGREDIENTS AND HAZARDOUS CLASSIFICATION

Typical Composition	OSHA PEL	ACGH/TLV	Percent
Alkyl C14-C24 Methyl Esters	none	none	99

This product contains no hazardous materials.

SARA Title III, Section 313: Not Listed

SECTION III PHYSICAL/CHEMICAL CHARACTERISTICS

Boiling Point : >400°F
Vapor Pressure (mm Hg) : <5 mm Hg @ 720 F
Evaporation Rate : less than .005 versus (Butyl Acetate = 1)
Solubility in Water : insoluble
Appearance and Odor : light to dark yellow clear liquid / light musty odor

SECTION IV FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

Flash Point (method used) : 321°F-PMCC

Flammable Limits : N/A

HMIS Rating : Health : 0

Fire : 1

Reactivity : 0

Extinguishing Media : Use water spray, dry chemical, foam or carbon dioxide.

Special Fire

Fighting Procedures : Treat as oil fire.

Unusual Fire and

Explosion hazards : Rags soaked with any solvent present a fire hazard and should be stored in an approved UL listed covered container.

SECTION V REACTIVITY DATA

Reactivity : Stable

Conditions to Avoid : Non Known

Incompatibility
(materials to avoid) : Strong oxidizing agentsHazardous Decomposition
or By-products : Carbon monoxide, carbon dioxide

Hazardous Polymerization : Will not occur

SECTION VI HEALTH HAZARD DATA

Emergency First Aid Procedures:

Ingestion : Rinse mouth with water, contact physician

Eyes : Rinse with water 15 minutes, contact physician

Skin : Rinse with soap and water

SECTION VII PRECAUTIONS FOR SAFE HANDLING AND USE

Steps to be taken in case material is released or spilled :

Avoid uncontrolled releases. Contain spilled material. Transfer to secure containers. Use absorbent material if necessary.

Disposal : Dispose of according to Federal, state and/or local regulations

Precautions to be Taken in Handling and Storing :

Avoid open flames

Other Precautions : None

SECTION VII CONTROL MEASURES

Respiratory Protection : None required

Ventilation : mechanical

Protective Gloves : Rubber

Eye Protection : Safety glasses / splash goggles

Other Protective Clothing or Equipment : None required

SECTION IX TRANSPORTATION

DOT Code : N/A

DOT Shipping Name : Fatty acid esters

Other Regulatory : Listed in TSCA inventory

The information provided is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability, or suitability for an intended use, or any other warranty, expressed or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-2 เมทานอล [21]

เอกสารข้อมูลความปลอดภัย

1. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

ตัวทำละลายอินทรีย์

ชื่ออื่น : Methyl alcohol ; Carbinol ; Methynol

เลขรหัสซีเอส : 67-56-1 เลขดัชนีซีซี : 603-001-00-X

มวลต่อโมล : 32.04 เลขไอเอ็นซีเอส : 200-659-6

สูตรโมเลกุล : CH₃OH

2. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

ไวไฟสูง เป็นพิษเมื่อสูดดม, กลืนกิน

3. มาตรการปฐมพยาบาล

เมื่อสูดดม : ให้ออกอากาศบริสุทธิ์ ถ้าจำเป็นให้ใช้การช่วยหายใจแบบปากต่อปาก หรือใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจ

เมื่อถูกผิวหนัง : ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออกทันที

เมื่อเข้าตา : ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตาวางในน้ำ
น้ำล้าง / พบจักษุแพทย์เมื่อกลืนกิน : ให้ออกอากาศบริสุทธิ์ ทำให้อาเจียน ให้ผู้ป่วยดื่มเมทานอล (เช่น เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ 40 % 1 แก้ว)
นำส่งแพทย์ ระบุว่ากลืนกินเมทานอล

หากผู้ป่วยหยุดหายใจ : ทำการช่วยหายใจแบบปากต่อปากหรือใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจ

4. มาตรการการผจญเพลิง

- สารดับไฟที่เหมาะสม : น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ โฟมดับเพลิง ผงเคมีดับเพลิง
- ข้อมูลอันตรายอื่น : ลูกไหม้ติดไฟได้ ไอระเหยหนักรกว่าอากาศ เมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศ ก่อให้เกิดของผสมที่ระเบิดได้ เก็บห่างจากแหล่งกำเนิดประกายไฟ ป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิต เมื่อเกิดเพลิงไหม้ จะก่อให้เกิดแก๊สหรือไอระเหยที่เป็นอันตราย

อุปกรณ์ป้องกันพิเศษสำหรับการผจญเพลิง

ห้ามอยู่บริเวณที่อันตรายโดยปราศจากชุดป้องกันสารเคมีที่เหมาะสม และเครื่องช่วยหายใจ

5. มาตรการเมื่อมีการปล่อยสารโดยอุบัติเหตุ

- ข้อควรระวังส่วนบุคคล : ห้ามสูดดมไอระเหย/ละอองลอย
- วิธีทำความสะอาด/ดูจัด : จับด้วยวัสดุดูดซับของเหลว ส่งไปกำจัด ทำความสะอาดบริเวณที่ปนเปื้อน

6. การจัดการและการเก็บรักษา

- การจัดการ : ไม่มีข้อบังคับอื่น
- การเก็บ : ปิดให้แน่น บริเวณที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี เก็บห่างจากแหล่งกำเนิดประกายไฟและความร้อน
- อุณหภูมิที่เก็บรักษา : ไม่มีข้อกำหนด การทำงานในห้องปิด ต้องแน่ใจว่ามีแหล่งอากาศบริสุทธิ์เพียงพอ เข้าได้เฉพาะผู้ที่ได้รับอนุญาต ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา ใช้สำหรับจดทุกชั้นในหีบห่อ

7. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

ตัวแปรควบคุมเฉพาะ :

MAK German [ความเข้มข้นสูงสุดในที่ทำงาน]

Methanol 200 มิลลิกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร หรือ 270 มิลลิกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล :

การป้องกันระบบหายใจ : จำเป็น เมื่อมีไอระเหย/ละออง ตัวกรองชนิด A

(ตามมาตรฐาน DIN 3181) สำหรับไอระเหยของสารอินทรีย์

การป้องกันตา : จำเป็น

การป้องกันมือ : จำเป็น

ข้อควรปฏิบัติ : เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมีทันที ทาครีมป้องกันผิวหนัง

ล้างมือหลังการทำงานกับสาร

8. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะ	:	ของเหลว
สี	:	ไม่มีสี
กลิ่น	:	เฉพาะตัว
ค่าพีเอช	:	ไม่มีข้อมูล
ความหนืด (20 °C)	:	0.52 mPa·s
จุดหลอมเหลว	:	-98 °C
จุดเดือด	:	65 °C
อุณหภูมิติดไฟ	:	455 °C
จุดวาบไฟ	:	11 °C
ขอบเขตการระเบิด	ล่าง	: 5.5 Vol%
	บน	: 31 Vol%
ความดันไอ (20 °C)	:	128 mbar
ความหนาแน่น (20 °C)	:	0.79 g/cm ³
ความสามารถในการละลายน้ำ (20 °C)	:	ละลายได้
ลือกพี [ออกต]	:	-0.82



9. ความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

- สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง : การให้ความร้อน
- สารที่ต้องหลีกเลี่ยง : แอซิดเฮไลต์, โโลหะอัลคาไล, โโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธ, ตัวออกซิไดซ์, ไฮไดรด์, ซิงก์ ไดเอทิล, ฮาโลเจน
- ข้อมูลเพิ่มเติม : ดูดความชื้น, ไวไฟมาก
- วัสดุที่ไม่เหมาะสม : พลาสติกชนิดต่างๆ, อะลูมิเนียม, อลลลอยด์ซิงก์
- สารเคมีในสภาพที่เป็นไอระเหยหรือแก๊ส เมื่อผสมกับอากาศ ก่อให้เกิดการระเบิดได้

11. ข้อมูลทางพิษวิทยา

พิษเฉียบพลัน

- LD50 (oral, rat) : 5628 mg/kg
- LDLo (oral, human) : 143 mg/kg
- LC50 (inhalation, rat) : 64000 ppm(V) /4 h

ความเป็นพิษกึ่งเฉียบพลันถึงเรื้อรัง

ไม่ส่งผลกระทบที่เป็นพิษต่อทารกในครรภ์ ภายใต้ปริมาณความเข้มข้นที่ยอมให้มีได้

ข้อมูลเพิ่มเติมทางพิษวิทยา

- เมื่อสูดดมไอระเหย : ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ
- เมื่อสัมผัสผิวหนัง : ดูดซึมเข้า
- เมื่อเข้าตา : ระคายเคือง ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก
- เมื่อกลืนกิน : เป็นพิษ
- เมื่อร่างกายดูดซึม : คลื่นไส้, อาเจียน, บวมศีรษะ, เวียนศีรษะ, มึนเมา, การมองเห็นผิดปกติ, ตาบอด (ทำอันตรายต่อระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น อย่างไม่สามารถแก้ไขได้)
- ผลต่อระบบในร่างกาย : ภาวะผิดปกติเนื่องจากกรดสะสม, ความดันโลหิตลดลง, กระจกกระสวย, ชัก, ง่วงซึม, สลบ อาจแสดงอาการหลังหมดระยะแฝง

ข้อมูลเพิ่มเติม

ควรใช้ผลิตภัณฑ์ด้วยความระมัดระวัง เช่นเดียวกับเมื่อทำงานกับสารเคมี

12. ข้อมูลการขนส่ง

ข้อมูลการขนส่งทางบก เอดีอาร์/อาร์ไอดี และจีจีวีเอส/จีจีวีอี [เยอรมัน]

จีจีวีเอส/จีจีวีอี คลาส	: 3	ตัวเลขและตัวอักษร	: 17b
เอดีอาร์/อาร์ไอดี คลาส	: 3	ตัวเลขและตัวอักษร	: 17b
ชื่อผลิตภัณฑ์	: 1230 METHANOL		

ข้อมูลการขนส่งทางน้ำ เอดีเอ็น/เอดีเอ็นอาร์

ไม่กำหนด

ข้อมูลการขนส่งทางทะเล ไอเอ็มดีจี

ไอเอ็มดีจี คลาส	: 3.2	เลขยูเอ็น	: 1230
ประเภทบรรจุภัณฑ์	: II		
ไอเอ็มเอส	: 3-06	เอ็มเอฟเอจี	: 306
ชื่อเทคนิคที่ถูกต้อง	: METHANOL		

ข้อมูลการขนส่งทางอากาศ ไอซีเอไอ-ทีไอ และไอเอทีเอ-ดีจีอาร์

ไอซีเอไอ/ไอเอทีเอ คลาส	: 3/6.1	เลขยูเอ็น	: 1230
ประเภทบรรจุภัณฑ์	: II		
ชื่อเทคนิคที่ถูกต้อง	: METHANOL		

ข้อกำหนดเกี่ยวกับการขนส่งข้างต้นเป็นไปตามรูปแบบสากล และในรูปแบบที่ปฏิบัติในประเทศเยอรมัน [จีจีวีเอส/จีจีวีอี] ซึ่งในบางประเทศอาจไม่มีการกำหนดตามรูปแบบดังกล่าว

13. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

การติดฉลากตามระเบียบอีซี

สัญลักษณ์	: F ไวไฟ T เป็นพิษ
ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย	: R 11-23/25 ไวไฟสูง เป็นพิษเมื่อสูดดม, กลิ่นกิน
ข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัย	: S 7-16-24-45 ปิดภาชนะให้แน่น เก็บห่างจากแหล่งติดไฟ ห้ามสูบบุหรี่ ไม่ควรให้สารถูกผิวหนัง ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ หรือรู้สึกไม่สบาย ควรปรึกษาแพทย์ทันที พร้อมทั้งแสดงฉลากของสารเคมี
เลขอีซี	: 603-001-00-X EC label
ระเบียบของเยอรมัน	: ระดับมลพิษต่อแหล่งน้ำ 1 (สารก่อมลพิษ ระดับต่ำ)

ง-3 ไปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ [21]

เอกสารข้อมูลความปลอดภัย

1. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

ชื่ออื่น	: caustic potash ; potassium hydrate ; potassium oxide hydrate		
เลขรหัสซีเอส	: 1310-58-3	เลขดัชนีซีซี	: 019-002-00-8
มวลต่อโมล	: 56.11	เลขไอเอ็นไอซีเอส	: 215-181-3
สูตรโมเลกุล	: KOH		

2. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

ทำให้เกิดแผลไหม้อย่างรุนแรง

3. มาตรการปฐมพยาบาล

เมื่อสูดดม	: ให้ออกอากาศบริสุทธิ์ นำส่งแพทย์
เมื่อถูกผิวหนัง	: ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ทาด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล 400 ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออกทันที
เมื่อเข้าตา	: ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมากเป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที โดยลืมตาคว้าง พบจักษุแพทย์ทันที
เมื่อกลืนกิน	: ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำปริมาณมาก (หลายลิตรถ้าจำเป็น), ไม่ควรทำให้อาเจียน (อาจทำให้เกิดการกัดจนทะลุ) นำส่งแพทย์ทันที ห้ามปรับสภาพสารให้เป็นกลาง

4. มาตรการการพจญเพลิง

สารดับไฟที่เหมาะสม	: เลือกใช้สารดับเพลิงที่เหมาะสมกับวัสดุที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง
ข้อมูลอันตรายอื่น	: ไม่มีข้อมูล
ข้อมูลอื่น	: ไม่ลุกไหม้ติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. มาตรการเมื่อมีการปล่อยสารโดยอุบัติเหตุ

ข้อควรระวังส่วนบุคคล : ไม่ควรทำให้เกิดฝุ่น ห้ามสูดดมฝุ่น

วิธีทำความสะอาด/ดูดซับ : กวาดขณะแห้งอย่างระมัดระวัง ส่งต่อไปกำจัด ทำความสะอาด บริเวณที่ปนเปื้อนสารด้วยน้ำ

หมายเหตุเพิ่มเติม

การลดอันตราย : ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง

6. การจัดการและการเก็บรักษา

การจัดการ : ไม่มีข้อบังคับอื่น

การเก็บ : ปิดให้แน่น เก็บในที่แห้ง ณ. อุณหภูมิ+15 ถึง +25 องศาเซลเซียส

ข้อบังคับสำหรับ

ห้องเก็บสารและถังบรรจุ : ห้ามใช้ถังบรรจุที่เป็นอะลูมิเนียม ดีบุก หรือสังกะสี

7. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล:

การป้องกันระบบหายใจ : จำเป็น เมื่อมีฝุ่น

การป้องกันตา : จำเป็น

การป้องกันมือ : จำเป็น

ข้อควรปฏิบัติ : เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมีทันที ทาครีมป้องกันผิวหนัง
ล้างมือและหน้าหลังจากการใช้สาร

8. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะ : ของแข็ง

สี : ขาว

กลิ่น : ไม่มีกลิ่น

ค่าพีเอช 50 g/l น้ำ (20 °C) : > 13.5

จุดหลอมเหลว : 360 °C

จุดเดือด : 1320 °C

อุณหภูมิติดไฟ : ไม่มีข้อมูล

จุดวาบไฟ : ไม่มีข้อมูล

จุดวาบไฟ : ไม่มีข้อมูล

จุดวาบไฟ : ไม่มีข้อมูล

จุดวาบไฟ : ไม่มีข้อมูล

จุดวาบไฟ : ไม่มีข้อมูล

จุดวาบไฟ : ไม่มีข้อมูล

จุดวาบไฟ : ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตการระเบิด	ล่าง	: ไม่มีข้อมูล
	บน	: ไม่มีข้อมูล
ความหนาแน่น (20°C)		: 2.04 g/cm ³
ความสามารถในการละลาย	น้ำ (20°C)	: ประมาณ 1100 g/l
	เอทานอล (20°C)	: ประมาณ 400 g/l

9. ความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง	: ไม่มีข้อมูล
สารที่ต้องหลีกเลี่ยง	: โลหะ (มีออกซิเจนและความชื้นอยู่ด้วย), โลหะเบา (สามารถเกิดเป็นไฮไดรเจน), สารประกอบแอมโมเนียม (สามารถเกิดเป็นแอมโมเนีย), โลหะอัลคาไลนั้อร์, ฮาโลเจน, สารประกอบของฮาโลเจน-ฮาโลเจน, ฮาโลเจนเตตไฮไดรคาร์บอน, ออกซีไฮไดรด์ของโลหะ, ฮาโลเจนออกไซด์, สารอินทรีย์จำพวกไนโตร, ฟอสฟอรัส, ออกไซด์ของโลหะ, ไฮไดรคาร์บอน, แอนไฮไดรด์, กรดแก่
ข้อมูลเพิ่มเติม	: ดูดความชื้นสูงมาก, คายความร้อนเมื่อละลายน้ำ, อาจเกิดปฏิกิริยาที่รุนแรง / เป็นอันตรายเมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะ, พลาสติกชนิดต่างๆ, แก้ว, เนื้อเยื่อของสัตว์/พืช

10. ข้อมูลทางพิษวิทยา

พิษเฉียบพลัน	
LD50 (oral, rat)	: 273 mg/kg
ข้อมูลเพิ่มเติมทางพิษวิทยา	
เมื่อสัมผัสกับสาร	: แผลไหม้ของผิวหนัง, เยื่อเมือก, ตา (อาจก่อให้เกิดต้อในตา)
เมื่อกลืนกิน	: แผลไหม้ของ: หลอดอาหาร, กระเพาะ (เจ็บปวดอย่างรุนแรง) (มีฤทธิ์กัดกร่อน อาจก่อให้เกิดการกัดทะลุ), เวียนศีรษะ

11. ข้อมูลการขนส่ง

ข้อมูลการขนส่งทางบก เอดีอาร์/อาร์ไอดี และจีจีเอส/จีจีวีซี [เยอรมัน]

จีจีเอส/จีจีวีซี คลาส : 8 ตัวเลขและตัวอักษร : 41b

เอดีอาร์/อาร์ไอดี คลาส : 8 ตัวเลขและตัวอักษร : 41b

ชื่อผลิตภัณฑ์ : 1813 KALIUMHYDROXID, FEST

ข้อมูลการขนส่งทางน้ำ เอดีเอ็น/เอดีเอ็นอาร์

ไม่กำหนด

ข้อมูลการขนส่งทางทะเล ไอเอ็มดีซี

ไอเอ็มดีซี คลาส : 8 เลขยูเอ็น : 1813

ประเภทบรรจุภัณฑ์ : II

อีเอ็มเอส : 8-06 เอ็มเอฟเอซี : 705

ชื่อเทคนิคที่ถูกต้อง : POTASSIUM HYDROXIDE, SOLID

ข้อมูลการขนส่งทางอากาศ ไอซีเอไอ-ทีไอ และไอเอทีเอ-ดีอาร์

ไอซีเอไอ/ไอเอทีเอ คลาส : 8 เลขยูเอ็น : 1813

ประเภทบรรจุภัณฑ์ : II

ชื่อเทคนิคที่ถูกต้อง : POTASSIUM HYDROXIDE, SOLID

ข้อกำหนดเกี่ยวกับการขนส่งข้างต้นเป็นไปตามรูปแบบสากล และในรูปแบบที่ปฏิบัติในประเทศเยอรมัน [จีจีเอส/จีจีวีซี] ซึ่งในบางประเทศอาจไม่มีการกำหนดตามรูปแบบดังกล่าว

12. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

การติดฉลากตามระเบียบซีซี

สัญลักษณ์ : C กัดกร่อน

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย : R 35 ทำให้เกิดแผลไหม้อย่างรุนแรง

ข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัย : S 26-37/39-45 เมื่อเข้าตา ล้างทันทีด้วยน้ำปริมาณมาก, พบแพทย์ สวมถุงมือ และอุปกรณ์ป้องกันตาและหน้าที่เหมาะสม ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ หรือรู้สึกไม่สบาย ควรปรึกษาแพทย์ทันที พร้อมทั้งแสดงฉลากของสารเคมี

เลขซีซี : 019-002-00-8 EC label

ระเบียบของเยอรมัน

ระดับมลพิษต่อแหล่งน้ำ 1 (สารก่อมลพิษ ระดับต่ำ)

ง-2 กรดไฮโดรคลอริก

เอกสารข้อมูลความปลอดภัย

1. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

สารละลายในน้ำ

ชื่ออื่น	: Hydrogen chloride solution
องค์ประกอบที่เป็นอันตราย	: ชื่อตามระเบียบข้อที่ Hydrochloric acid
สัญลักษณ์อันตราย	: C ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย : 34-37
เลขดัชนีไอซีซี	: 017-002-01-Xทำให้เกิดแผลไหม้ ระคายเคืองต่อระบบหายใจ
เลขซีเอสเอส	: 7647-01-0
ปริมาณ	: 37%

2. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

ทำให้เกิดแผลไหม้ ระคายเคืองต่อระบบหายใจ

3. มาตรการปฐมพยาบาล

เมื่อสูดดม	: ให้รีบอากาศบริสุทธิ์ นำส่งแพทย์
เมื่อถูกผิวหนัง	: ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ทาด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล 400 ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออกทันที
เมื่อเข้าตา	: ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมากเป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที โดยลืมตาค้าง พบจักษุแพทย์ทันที
เมื่อกลืนกิน	: ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำปริมาณมาก ไม่ควรทำให้อาเจียนเพราะอาจทำให้เกิดการกัดจนทะลุ และนำส่งแพทย์ทันทีเพื่อล้างท้อง

4. มาตรการการผจญเพลิง

สารดับไฟที่เหมาะสม : น้ำ
 ข้อมูลอันตรายอื่น : เมื่อเกิดเพลิงไหม้ จะก่อให้เกิดแก๊สหรือไอระเหยที่เป็นอันตราย เมื่อผสมกับโลหะ ก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งอาจระเบิดได้

ในกรณีเพลิงไหม้อาจก่อให้เกิด : กรดไฮโดรคลอริก , คลอรีน

อุปกรณ์ป้องกันพิเศษสำหรับการผจญเพลิง

ห้ามอยู่บริเวณที่อันตรายโดยปราศจากชุดป้องกันสารเคมีที่เหมาะสม และเครื่องช่วย

หายใจ

ข้อมูลอื่น : ไม่ลุกไหม้ติดไฟ ใช้น้ำกำจัดไอระเหย

5. มาตรการเมื่อมีการปล่อยสารโดยอุบัติเหตุ

ข้อควรระวังส่วนบุคคล : ห้ามสูดดมไอระเหย/ละอองลอย ไม่ควรสัมผัสกับสาร

วิธีทำความสะอาด/ดูดซับ : ซักด้วยวัสดุดูดซับของเหลว เช่น เคมีซอบู๊ว ส่งไปกำจัด ทำความสะอาดบริเวณที่ปนเปื้อน

มาตรการปกป้องสิ่งแวดล้อม: ปกป้องไม่ให้ไหลลงสู่ระบบสุขาภิบาล, ดิน หรือสิ่งแวดล้อม

หมายเหตุเพิ่มเติม : การลดอันตราย: ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เจือจางหรือโดยเทลงบนหินปูนหรือโซเดียมคาร์บอเนต

6. การจัดการและการเก็บรักษา

การจัดการ : ไม่มีข้อบังคับอื่น

การเก็บ : ปิดให้แน่น บริเวณที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี ต่ำกว่า + 25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิอาจสูงได้ถึง + 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานสูงสุด 48 ชั่วโมง)

ข้อบังคับสำหรับ

ห้องเก็บสารและถังบรรจุ : ห้ามใช้ถังบรรจุที่เป็นโลหะ

7. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

ตัวแปรควบคุมเฉพาะ :

MAK German [ความเข้มข้นสูงสุดในที่ทำงาน]

Hydrogen chloride 5 มิลลิลิตร ต่อ ลูกบาศก์เมตร หรือ 7.6 มิลลิกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล :

การป้องกันระบบหายใจ : จำเป็น เมื่อมีไอระเหย/ละออง

การป้องกันตา : จำเป็น

การป้องกันมือ : จำเป็น

ควรสวมใส่ชุดป้องกันที่เหมาะสมกับบริเวณทำงาน โดยพิจารณาจากความเข้มข้นและปริมาณสารอันตรายที่ใช้ ควรมีการตรวจสอบความทนทานต่อสารเคมีของชุดป้องกันโดยตัวแทนจำหน่าย

อุปกรณ์ป้องกันอื่นๆ : ชุดป้องกันที่ทนกรด

ข้อควรปฏิบัติ : เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมีทันที ทาครีมป้องกันผิวหนัง ล้างมือและ
หน้าหลังจากการใช้สาร

8. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะ : ของเหลว

สี : ไม่มีสี

กลิ่น : ฉุน

ค่าพีเอช (20 °C) : < 1

จุดหลอมเหลว : -25 °C

จุดเดือด : ~ 85 °C

อุณหภูมิติดไฟ : ไม่มีข้อมูล

จุดวาบไฟ : ไม่มีข้อมูล

ขอบเขตการระเบิด ล่าง : ไม่มีข้อมูล

บน : ไม่มีข้อมูล

ความดันไอ (20°C) : ~ 20 mbar

ความหนาแน่น (20°C) : ~ 1.19 g/cm³

ความสามารถในการละลาย น้ำ (20°C) : ละลายได้



9. ความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง : การให้ความร้อน

สารที่ต้องหลีกเลี่ยง : อะลูมิเนียม, เอมีน, คาร์ไบด์, ไฮไดรด์, ฟลูออรีน, โลหะอัลคาไล, โลหะ, โพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต, เพอร์ออกไซด์, ด่างแก่, เกลือของกรดออกซีฮาโลเจนิก, กรดซัลฟิวริกเข้มข้น, ออกไซด์กึ่งโลหะ, สารประกอบไฮโดรเจนกึ่งโลหะ, อัลติไฮด์, ซัลไฟด์, ลิเทียมซิลิไซด์, ไนไตรต์, ไอโอไดด์

ผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวที่เป็นอันตราย

เมื่อเกิดเพลิงไหม้ : กรดไฮโดรคลอริก, คลอรีน

ข้อมูลเพิ่มเติม

วัสดุที่ไม่เหมาะสม : โลหะ, โลหะผสม

10. ข้อมูลทางพิษวิทยา

พิษเฉียบพลัน

LC50 (inhalation, rat) : 3124 ppm(V) /1 h (calculated on the pure substa

ความเป็นพิษกึ่งเฉียบพลันถึงเรื้อรัง

สำหรับส่วนประกอบที่เป็นพิษ : ไม่ส่งผลกระทบต่อพิษต่อทารกในครรภ์ ภายใต้ปริมาณความเข้มข้นที่ยอมรับได้

ข้อมูลเพิ่มเติมทางพิษวิทยา

สารกัดกร่อนอย่างแรง

เมื่อสูดดมไอระเหย : ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ

เมื่อสัมผัสผิวหนัง : แผลไหม้

เมื่อเข้าตา : แผลไหม้, อาจทำให้ตาบอด

เมื่อกลืนกิน : ทำอันตรายต่อ ปาก, หลอดอาหาร และ ทางเดินอาหาร มี

ฤทธิ์กัดกร่อน อาจทำให้หลอดอาหารและกระเพาะทะลุ

หลังระยะแฝง : หลอดเลือดเลี้ยงหัวใจตีบตัน

ข้อมูลเพิ่มเติม

ควรใช้ผลิตภัณฑ์ด้วยความระมัดระวัง เช่นเดียวกับเมื่อทำงานกับสารเคมี

11. ข้อมูลการขนส่ง

ข้อมูลการขนส่งทางบก เอดีอาร์/อาร์ไอดี และจีจีวีเอส/จีจีวีอี [เยอรมัน]

จีจีวีเอส/จีจีวีอี คลาส	: 8	ตัวเลขและตัวอักษร	: 5b
เอดีอาร์/อาร์ไอดี คลาส	: 8	ตัวเลขและตัวอักษร	: 5b
ชื่อผลิตภัณฑ์	: 1789 CHLORWASSERSTOFFSAEURE (SALZSAEURE)		

ข้อมูลการขนส่งทางน้ำ เอดีเอ็น/เอดีเอ็นอาร์

ไม่กำหนด

ข้อมูลการขนส่งทางทะเล ไอเอ็มดีจี

ไอเอ็มดีจี คลาส	: 8	เลขยูเอ็น	: 1789
ประเภทบรรจุภัณฑ์	: II		
อีเอ็มเอส	: 8-03	เอ็มเอฟเอจี	: 700
ชื่อเทคนิคที่ถูกต้อง	: HYDROCHLORIC ACID		

ข้อมูลการขนส่งทางอากาศ ไอซีเอไอ-ทีไอ และไอเอทีเอ-ดีจีอาร์

ไอซีเอไอ/ไอเอทีเอ คลาส	: 8	เลขยูเอ็น	: 1789
ประเภทบรรจุภัณฑ์	: II		
ชื่อเทคนิคที่ถูกต้อง	: HYDROCHLORIC ACID		

ข้อกำหนดเกี่ยวกับการขนส่งข้างต้นเป็นไปตามรูปแบบสากล และในรูปแบบที่ปฏิบัติในประเทศเยอรมัน [จีจีวีเอส/จีจีวีอี] ซึ่งในบางประเทศอาจไม่มีการกำหนดตามรูปแบบดังกล่าว

12. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

การติดฉลากตามระเบียบซีซี

สัญลักษณ์ : C กัดกร่อน

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย : R 34-37 ทำให้เกิดแผลไหม้ ระคายเคืองต่อระบบหายใจ

ข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัย : S 26-36/37/39-45 เมื่อเข้าตา ล้างทันทีด้วยน้ำปริมาณมาก, พบแพทย์ สวมชุดป้องกัน, ถุงมือ และอุปกรณ์ป้องกันตาและหน้าที่เหมาะสม ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ หรือรู้สึกไม่สบาย ควรปรึกษาแพทย์ทันที พร้อมทั้งแสดงฉลากของสารเคมี

เลขซีซี : ---

ระเบียบของเยอรมัน : ระดับมลพิษต่อแหล่งน้ำ 1 (สารก่อมลพิษ ระดับต่ำ)