

การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม  
โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก

Synthesis of Methyl Ester from Palm Oil

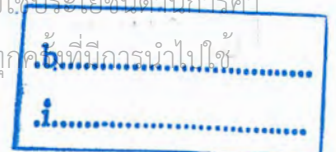
by Narrow Tube



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง  
เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 55681  
วัน,เดือน,ปี 24 พ.ศ. 2548



การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม  
โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Synthesis of Methyl Ester from Palm Oil

by Narrow Tube



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรเรื่อง การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก  
โดย นางสาวช่อดา บุญธนาวงศ์ รหัสนักศึกษา 43010611  
นางสาวภัทรวดี พงษ์จรูญพงศ์ รหัสนักศึกษา 43010727  
นางสาวเลิศลักษณ์ อุบลนุช รหัสนักศึกษา 43010752  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร



.....ประธานกรรมการ  
(ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)

.....กรรมการ  
(อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

.....กรรมการ  
(อ. รื่นฤดี เบนูจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก  
โดย นางสาวช่อลดา บุญธนาวงศ์ รหัสนักศึกษา 43010611  
นางสาวภัทรวดี พุทธิจารุพงศ์ รหัสนักศึกษา 43010727  
นางสาวเลิศลักษณ์ อุบลนุช รหัสนักศึกษา 43010752  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก เพื่อทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดและร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ให้น้ำมันปาล์มมีค่าความหนืดต่ำซึ่งผสมกับเมทานอลได้ดี ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ในห้องผสม (Mixing Chamber) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 65 70 75 และ 80 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที หรือ 0.33 มิลลิลิตรต่อวินาที จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะมีค่าความหนืดลดลงและค่าร้อยละผลิตภัณฑ์มากขึ้น ในการทดลองนี้อุณหภูมิที่ให้ผลผลิตมากที่สุดคือ 80 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตร้อยละ 99.46 และมีค่าความหนืด 4.58 เซนติสโตค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title                    Synthesis of Methyl Ester from Palm Oil by Narrow Tube

Student                Cholada Buntanawong                    Student ID. 43010611

                             Pattrarawadee Pykjarupong                Student ID. 43010727

                             Lerdlasana Ubomnut                        Student ID. 43010752

Degree                Bachelor Degree in Chemical Engineering

Faculty                Engineering

Advisor                Asst. Prof. Dr. Paisal Nakpipat

### ABSTRACT

This study is to synthesize methyl ester from palm oil by narrow tube . The purpose is to determine the relation between temperatures and viscosity , percent yield of product by using tubular flow reactor . The reactants should have low viscosity by increasing the temperature in order to mixing efficiently and reacting completely in mixing chamber. The catalyst was sodium hydroxide 0.5 percent of palm oil weight , the temperatures of the experiments were 65 , 70 , 75 and 80 celcius degree and the flow rate was 20 milliliters per minute or 0.33 milliliters per second. The results have showed that when the temperatures increased , the viscosity decreased and percent yield of product increased. For this experiment ,the temperature which gives the highest of product is 80 celcius degree and the percent yield of product is 99.46 and viscosity is 4.58 cSt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกลงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากบุคคลหลายๆ ท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณทุกๆ ท่าน ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณพ่อและคุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนทุนทรัพย์ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและให้ความช่วยเหลือตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ ที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์

ขอขอบคุณ คุณวันจักร โขศรีคนชัย ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำงานวิจัยครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ประวัติการวิจัยและพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซล.....	1
1.2 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์.....	2
1.3 ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์.....	4
1.4 สรุปการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลของประเทศไทย.....	5
1.5 แนวโน้มของอุตสาหกรรมไบโอดีเซลในต่างประเทศ.....	6
1.6 กำลังการผลิตไบโอดีเซลของโลก.....	6
1.7 วัตถุประสงค์ของปริิญาานิพนธ์.....	6
1.8 ขอบเขตของปริิญาานิพนธ์.....	7
1.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	7
1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	10
2.1 น้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล.....	8
2.1.1 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทยและประเทศต่างๆ.....	8
2.1.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล.....	10
2.2 กรดไขมัน.....	11
2.2.1 ปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอกซิลในกรดไขมัน.....	12
2.3 แอลกอฮอล์.....	13
2.3.1 เมทานอล.....	14
2.3.2 เอทานอล.....	14
2.4 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล.....	16
2.4.1 การนำมาใช้โดยตรงและผสม.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2	การทำเป็นไมโครอิมัลชัน.....	19
2.4.3	การแตกสลายด้วยความร้อน.....	19
2.4.4	ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	20
2.5	ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	20
2.5.1	กลไกการเกิดปฏิกิริยา.....	21
2.6	ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา.....	22
2.6.1	อัตราส่วนโดยโมลของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์.....	22
2.6.2	ชนิดและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา.....	22
2.6.3	อุณหภูมิและเวลาที่ใช้.....	23
2.6.4	น้ำหรือกรดไขมันอิสระในระบบ.....	23
2.7	ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล.....	24
2.7.1	การล้างน้ำมันไบโอดีเซล.....	24
บทที่ 3	การไหลในท่อ.....	25
3.1	ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Reynolds Number).....	25
3.1.1	การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow).....	25
3.1.2	การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow).....	25
3.2	การผสมในท่อ.....	26
3.2.1	การผสมแบบหัวฉีดพ่นฝอย.....	26
3.2.2	Orifices and Mixing Nozzles.....	31
บทที่ 4	การทดลอง.....	33
4.1	การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก.....	33
4.2	การหาค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์.....	35
4.3	การหาค่าร้อยละผลิตภัณฑ์.....	35
บทที่ 5	ผลการทดลอง.....	37
บทที่ 6	วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง.....	39
6.1	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	39
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	41
6.3	สรุปผลการทดลอง.....	41
บรรณานุกรม.....		42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 น้ำมันพืชที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลในต่างประเทศ.....	1
1.2 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในยุโรปในปี 2543.....	2
2.1 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย.....	8
2.2 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ.....	9
2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	11
2.4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของกรดไขมัน โดยทั่วไป.....	13
2.5 แสดงคุณสมบัติของแอลกอฮอล์.....	15
2.6 คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดจะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล.....	17
2.7 ผลการทดลองเดินเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆและอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบสูงสุด 2,600 รอบต่อนาที.....	18
2.8 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่แตกสลายด้วยความร้อน.....	19
2.9 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการแตกสลายด้วยความร้อน.....	20
5.1 ความหนืดของเมทิลเอสเทอร์.....	37
5.2 ความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่อัตราการไหล 0.33 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	37
5.3 ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่อัตราการไหล 0.33 มิลลิลิตรต่อวินาที.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล.....	10
3.1 ห้องผสมแบบ Swirl-Well Chamber.....	27
3.2 แสดงลักษณะการไหลแบบหัวฉีด.....	29
3.3 เครื่องผสมแบบหัวฉีดฝอยแบบข้องอ.....	30
3.4 ภาพตัดขวางของการผสมแบบหัวฉีดฝอย.....	31
3.5 Orifices and Mixing Nozzles .....	32
4.1 การติดตั้งเครื่องปั่นกววน.....	34
4.2 การต่ออุปกรณ์.....	35
4.3 การแยกเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล.....	36
4.4 เมทิลเอสเทอร์หลังการอบ.....	36
6.1 กราฟความหนืดและอุณหภูมิ.....	39
6.2 กราฟร้อยละผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิ.....	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ประวัติการวิจัยและพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซล [6]

การวิจัยและพัฒนาทางด้านน้ำมันไบโอดีเซล เริ่มมีมาช้านานในประเทศต่างๆทั่วโลก เช่น ออสเตรเลีย สาธารณรัฐจีน ฝรั่งเศส เยอรมัน อิตาลี นิคاراกัว สวีเดน สหรัฐอเมริกา และ มาเลเซีย เป็นต้นสืบเนื่องจากวิกฤติการณ์ทางด้านพลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียมมีการขาดแคลน ในปี 1970 และมีสงครามอ่าวเปอร์เซียเกิดขึ้นทำให้การขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สะดวกผล กระทบที่ตามมาคือน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาแพง และน้ำมันมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความ- ต้องการ ประกอบกับผลผลิตทางการเกษตรมีปริมาณมากเกินความต้องการจึงทำให้มีการคิดค้น วิจัยและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตร เพื่อให้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งนับว่าเป็นแหล่งเริ่มต้นของการใช้น้ำมันพืชเป็นแหล่งพลังงานใหม่ที่มีศักยภาพสูงใน โดย เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดมลพิษจึงเริ่มมีการวิจัยทางด้านน้ำมันไบโ- อดีเซลอย่างจริงจังในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา ในปี 1982 มีรายงานการค้นพบเอสเทอร์ที่มาจาก ไข่สัตว์ในประเทศนิวซีแลนด์ และในปีเดียวกันนี้มีการค้นพบเมทิลเอสเทอร์ที่ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งผลิตจากเมล็ดคันทรงและในปี 1989 เริ่มเกิดโครงการนำร่องในการผลิตน้ำมันไบโ- อดีเซลขึ้น และมีการพัฒนาในเชิงอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วในช่วงปี 1990-2000 จนกระทั่ง ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมากมายและเป็นที่ยอมรับในระดับอุตสาหกรรมผู้ผลิตยานยนต์ และ ผู้ใช้ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลสามารถลดปรากฏการณ์เรือนกระจก ( Green House Effect ) ได้ เพราะไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในชั้น บรรยากาศ และกรใช้น้ำมันไบโอดีเซลไม่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากเผาไหม้สะอาด กว่า

ตารางที่ 1.1 น้ำมันพืชที่ใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศ [1]

ประเทศ	ชนิดของน้ำมัน
ฝรั่งเศส	เมล็ดคันทรง เมล็ดทานตะวัน
สเปน	เมล็ดคันทรง เมล็ดทานตะวัน
อิตาลี	เมล็ดถั่วเหลือง
ออสเตรเลีย	น้ำมันที่ใช้แล้ว
เยอรมัน	น้ำมันที่ใช้แล้ว
สหรัฐอเมริกา	เมล็ดถั่วเหลือง
มาเลเซีย	ปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในยุโรปในปี 2543

ประเทศ	ปริมาณการผลิตFAME (ตัน)	ใช้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล (ตัน)
เยอรมัน	340,000	193,000
ฝรั่งเศส	230,000	0
อิตาลี	140,000	0
เบลเยียม	80,000	10,000
ออสเตรีย	15,000	15,000
สวีเดน	6,000	7,000
รวม(ตัน)	811,000	225,000

FAME : Fatty Acid Methyl Ester

## 1.2 ประโยชน์ของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ [2]

การใช้น้ำมันไบโอดีเซลเพื่อทดแทนน้ำมันจากฟอสซิลในเครื่องยนต์ ในประเทศไทยได้รับความสนใจมาเป็นเวลานานแล้ว และเมื่อมีการประกาศสัมพันธไมตรีเรื่องการใช้้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ทดแทนน้ำมันดีเซล ตามแนวพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวปกนิกรทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชนก็ร่วมมือกัน ทดลองใช้อย่างกว้างขวางและหลากหลายรูปแบบ ซึ่งการใช้น้ำมันพืชเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นสามารถทำได้หลายแนวทาง สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ต้องลดความหนืดของน้ำมันพืชให้ต่ำลงมาอยู่ในระดับเดียวกับน้ำมันดีเซล (โดยทั่วไปความหนืดควรต่ำกว่า 4.2 เซนติคอคคที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ผู้ใช้ควรคำนึงถึงคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของน้ำมันพืชด้วย เช่น ค่าซิทาน ค่าจุดไหลเท เป็นต้น

การใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่มีประโยชน์หลายประการ ดังจะกล่าวต่อไปนี้

### 1.2.1 ประโยชน์ของการใช้น้ำมันไบโอดีเซล ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้น้ำมันไบโอดีเซลสามารถลดมลภาวะทางอากาศ ที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ไม่สมบูรณ์ คณะกรรมการน้ำมันไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel Board) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม ( US Environment Protection Agency ) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการวิจัยและทดลองใช้น้ำมันดีเซลสูตรต่างๆ กับเครื่องยนต์ดีเซลและได้รายงานว่าน้ำมันไบโอดีเซลสูตร B100 และ B20 สามารถลดมลพิษได้จากการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนกรมอุทกศาสตร์ของกองทัพเรือ ก็ได้รายงานผลการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้า ว่าสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การใช้น้ำมันไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ เพราะน้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลผลิตจากพืช
- การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำและยังช่วยป้องกันมิให้มีการนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ซึ่งน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีสาร ไดออกซินที่เป็นสารก่อมะเร็ง ไปผลิตอาหารสัตว์

#### 1.2.2 ประโยชน์ของการใช้น้ำมันไบโอดีเซล ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

- การผสมน้ำมันไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล จากผลการทดลองของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีของบริษัท ปตท. จำกัด ( มหาชน ) พบว่าการเติมน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าวในอัตราร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่น ได้ถึง 2 เท่า
- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากในน้ำมันไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วน โดยปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น
- แม้ว่าค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อดีข้อนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานเพราะการใช้น้ำมันไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้นถึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

#### 1.2.3 ประโยชน์ของการใช้น้ำมันไบโอดีเซล ด้านเศรษฐกิจ

- การใช้น้ำมันไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบท ด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค
- การใช้น้ำมันไบโอดีเซล สามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยได้สูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 300,000 ล้านบาท

#### 1.2.4 ประโยชน์ของการใช้น้ำมันไบโอดีเซล ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ

- ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก โดยตลาดน้ำมันดีเซลมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซินกว่า 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้ในประเทศดังนั้นการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจะช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้
- การผสมน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 1-2 สามารถเพิ่มความหล่อลื่นในน้ำมันดีเซลได้ โดยเฉพาะกรณีที่ต้องมีการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.5 ประโยชน์ของการใช้น้ำมันไบโอดีเซล ด้านความมั่นคง

- การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ถือเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ

### 1.3 ผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลนั้นมีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นถือได้ว่าไม่มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ทางด้านลบ หรือในกรณีของเครื่องยนต์เก่า อาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนซีลยางบางส่วนเท่านั้น

โดยทั่วไป การใช้น้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศนิยมนำไปผสมเป็นสูตรต่างๆ เช่น B2 (น้ำมันไบโอดีเซล 2% : ดีเซล 98%) มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา และจะบังคับใช้ทั้งมลรัฐในปี พ.ศ. 2548

B5 (น้ำมันไบโอดีเซล 5% : ดีเซล 95%) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส โดยกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายเป็นสูตร B5

B20 (น้ำมันไบโอดีเซล 20% : ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการน้ำมันไบโอดีเซลแห่งชาติ และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ (Alternative Motor Fuels Act:AMFA 1988) ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะรถของบริษัทและรถของหน่วยงานราชการกว่า 147 แห่ง รวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษ เช่น รถรับส่งนักเรียน รถประจำทาง เรือ หรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในเมืองแรม ทั้งนี้ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตหัวฉีดน้ำมัน และเครื่องยนต์

B40 (น้ำมันไบโอดีเซล 40% : ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อการลดมลพิษ

B100 (น้ำมันไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ใช้ในประเทศเยอรมันนีและออสเตรีย โดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์รายใหญ่ของประเทศ

สำหรับการใช้น้ำมันมะพร้าวสูตรภูมิปัญญาชาวบ้าน ที่มีการผสมน้ำมันก๊าดร้อยละ 5 เพื่อลดความหนืดนั้น ควรทำความสะอาดถังน้ำมันก่อนใช้ รวมทั้งระมัดระวังการอุดตันของกรองน้ำมันในช่วงอากาศเย็น

ในอนาคตอันใกล้การใช้น้ำมันไบโอดีเซลจะได้รับความนิยมมากขึ้นตามลำดับ ด้วยเหตุผลหลายมิติดังกล่าว ประการสำคัญที่สุด การพัฒนาโครงการน้ำมันไบโอดีเซลในประเทศ ถือได้ว่าเป็นการพัฒนาตามแนวทฤษฎีเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวอย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 สรุปการวิจัยและพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซลของประเทศไทย

ความก้าวหน้าด้านการวิจัยและพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซลของประเทศไทย ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการเป็นส่วนใหญ่ โดยขณะนี้ได้มีความพยายามที่จะพัฒนาเทคโนโลยีการเกิดปฏิกิริยาและการเกิดเมทิลเอสเทอร์ให้เป็นโรงงานต้นแบบ

หัวข้อการวิจัยที่สำคัญในปัจจุบันได้แก่ การศึกษาการใช้ไขมันพืชผสมโดยตรงกับน้ำมันดีเซลและหาสัดส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันพืชและน้ำมันดีเซล เพื่อใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ การพัฒนาเมทิลเอสเทอร์ เป็นต้น โดยมีหลายแห่งที่ดำเนินการวิจัยดังกล่าว

โดยมีหลายแห่งที่ดำเนินการวิจัยดังกล่าว เช่น สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยร่วมกับกรมควบคุมมลพิษและกรมวิทยาศาสตร์บริการ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดีเซลพืชและมลพิษที่เกิดขึ้น และศึกษาถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ไขมันผสมจากแหล่งผลิตต่างๆที่ประชาชนสามารถผลิตขึ้นใช้ได้เอง โดยทดสอบกับรถยนต์ สถาบันวิจัยและเทคโนโลยีของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ได้ทดลองผสมน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ร้อยละ 5 กับน้ำมันดีเซล โดยทดสอบกับรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก รวมทั้งการทดลองตลาดเพื่อจำหน่ายให้ประชาชนทดลองใช้

สำหรับการผลิตเมทิลเอสเทอร์หรือน้ำมันไบโอดีเซล มีการทำวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการและวิทยานิพนธ์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากกระบวนการพื้นฐานเป็นที่รู้จักกันพอสมควรแต่หน่วยงานต่าง ๆ พยายามที่จะหาวิธีการเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ลดพลังงานในการผลิตและใช้วัตถุดิบต่างชนิดกัน เช่น

- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยศึกษาการใช้เมล็ดในน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว มาทำปฏิกิริยากับเมทanol ในเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ต่อเนื่อง โดยมีการศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันตะกุง น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมันเมล็ดฝ้าย
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศึกษาการเร่งปฏิกิริยาทรานเมทิลเลชันของน้ำมันปาล์มและศึกษาการเผาไหม้ของน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล
- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศึกษาการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก และสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันที่ใช้แล้ว
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ศึกษาวิธีสังเคราะห์เมทิลและเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มโดยวิธีทางเคมีและทางเอนไซม์
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันที่ใช้แล้ว และศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีเซลเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่ง ที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการหล่อลื่น โดยร่วมมือกับ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท. จำกัด (มหาชน)

หน่วยงานที่สนใจด้านการทดสอบประสิทธิภาพกับเครื่องยนต์ เช่น สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ

## 1.5 แนวโน้มของอุตสาหกรรมน้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศ

น้ำมันไบโอดีเซลนับเป็นพลังงานที่สำคัญชนิดหนึ่ง สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเกิดขึ้นในประเทศที่พัฒนาแล้วหลายประเทศ

ประเทศในสหภาพยุโรป ที่มีอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมีจำนวน 11 ประเทศ ประเทศที่ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมากที่สุดเป็น คือ ประเทศเยอรมันนี ซึ่งมีกำลังการผลิตประมาณ 1 ล้านตันต่อปี มีการใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตร 100% ทดแทนน้ำมันดีเซลในรถยนต์ และใช้ในเตาผิงเพื่อความอบอุ่นในบ้านพักอาศัยเพราะมีมลพิษต่ำมาก ประเทศที่มีกำลังการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลรองลงไป ได้แก่ ประเทศฝรั่งเศส อิตาลี และสหรัฐอเมริกา

## 1.6 กำลังการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลของทั่วโลก

การผลิตและการใช้น้ำมันไบโอดีเซลอย่างจริงจัง ในสหภาพยุโรปมีเหตุผลหนึ่งมาจากนโยบายการเกษตรร่วม (Common Agricultural Policy: CAP 1992) ซึ่งมีการกำหนดพื้นที่การเพาะปลูกที่ไม่ใช่ทำเป็นอาหารจึงมีการปลูกพืช เช่น เรพ ดอกทานตะวัน บีทรูต และข้าวสาลี เพื่อผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล เอทานอล หรือ สาร ETBE ได้มากขึ้น

## 1.7 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท

- 1.7.1 เรียนรู้ขั้นตอนการทำงานต่างๆ ในการทำงานวิจัย
- 1.7.2 เรียนรู้ทักษะในการค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัย
- 1.7.3 ศึกษาวิธีการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์อย่างต่อเนื่อง ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก
- 1.7.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน เพื่อให้ได้เมทิลเอสเทอร์ที่มีความหนืดใกล้เคียงน้ำมันดีเซล
- 1.7.5 ศึกษาสมบัติเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.8 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.8.1 ศึกษาหลักการของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก
- 1.8.2 ศึกษาปัจจัยและสภาวะ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์รีฟิเคชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก เช่น อัตราการไหลของสารตั้งต้น อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา
- 1.8.3 สังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ให้มีความหนืดใกล้เคียงน้ำมันดีเซล และให้ได้อัตราผลผลิตขั้นสูงที่สุด
- 1.8.4 ทดสอบคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้

## 1.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.9.1 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.9.2 จัดหาวัตถุดิบ สารตั้งต้นรวมทั้งวางแผนและออกแบบวิธีการทดลองในสภาวะต่างๆ
- 1.9.3 ทดลองสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์และทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้
- 1.9.4 สรุปผลการดำเนินงานและจัดทำปริญญานิพนธ์

## 1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.10.1 สามารถนำวิธีการที่ใช้ในการทดลองไปประยุกต์ใช้ผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ประเภทดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.10.2 เป็นการฝึกฝนทักษะและกระบวนการค้นคว้าหาข้อมูลต่างๆ เพื่อประโยชน์ของการทำงานในอนาคต
- 1.10.3 เสริมสร้างพื้นฐานการคิดวิเคราะห์และการทำงานอย่างมีระบบ เพื่อเป็นประโยชน์ในการประกอบวิชาชีพในอนาคต
- 1.10.4 ศึกษาและเรียนรู้การเป็นนักวิจัยและทำงานวิจัยให้ประสบผลสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 น้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล [2]

น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ น้ำมันพืชที่ใช้เป็น วัตถุดิบสามารถสกัดได้จากพืชทุกชนิด การพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้ต้องคำนึงถึงปริมาณ และองค์ประกอบของน้ำมันพืชชนิดนั้น ความเหมาะสมของปริมาณ การเพาะปลูกพืชน้ำมัน ในพื้นที่นั้นๆ ด้วย เช่น ปาล์มน้ำมันและมะพร้าวเป็นพืชน้ำมันที่มักการปลูกมากในประเทศไทย ปาล์มน้ำมันปลูกมากในมาเลเซีย ถั่วเหลืองปลูกมากในสหรัฐอเมริกา เพรและทานตะวันปลูกมากในกลุ่มประเทศยุโรป เป็นต้น

##### 2.1.1 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทยและประเทศต่างๆ [2]

ประเทศไทยทำการปลูกพืชน้ำมัน 6 ชนิด คือ ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน ถั่วลิสง มะพร้าว ละหุ่ง และงา ในจำนวนพืช 6 ชนิดนี้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีการรายงานปริมาณผลผลิตต่อปี สูงที่สุด ในปี พ.ศ. 2543/2544 ประเทศไทยมีการผลิตปาล์มน้ำมันประมาณ 3.3 ล้านตัน รองลงมาได้แก่มะพร้าว ซึ่งมีการผลิตประมาณ 1.4 ล้านตัน ด้านงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้รายงานปริมาณผลผลิตของพืชน้ำมัน 6 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย (หน่วย : พันตัน) [11]

ปี พ.ศ.	ปาล์มน้ำมัน	มะพร้าว	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	ละหุ่ง	งา
2538/2539	2,255	1,413	386	147	6	34
2539/2540	2,688	1,419	359	147	6	344
2540/2541	2,681	1,386	338	126	6	35
2541/2542	2,465	1,372	321	135	7	36
2542/2543	3,512	1,381	319	138	7	37
2543/2544	3,256	1,400	312	132	9	39
2544/2545	4,089	1,391	292	129	9	39

นอกเหนือจากพืชน้ำมัน 6 ชนิดที่เกษตรกรทำการเพาะปลูกแล้ว ยังมีแหล่งน้ำมันอื่นๆ เช่น สบู่ดำ น้ำมันสัตว์ น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว และน้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้ว แหล่งน้ำมันเหล่านี้สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับน้ำมันสัตว์ น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว และน้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้ว ยังไม่มีการสำรวจและศึกษาอย่างจริงจังถึงปริมาณที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ ปัจจุบันน้ำมันเหล่านี้มีการหมุนเวียนใช้ในตลาดซึ่งสามารถประเมินได้อย่างคร่าวๆว่ามีประมาณ 42,000 ตันต่อปี

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [1]

น้ำมัน	ค่าไอโอดีน	ความล่องจำเพาะ ที่ 21 °C (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ความหนืด ที่ 21 °C (เซนติพอยด์)	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
ถั่วเหลือง	124-139	0.918	57.2	39,350
มะพร้าว	6-11	0.915	51.9	37,540
ถั่วลิสง	86-107	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	14-21	0.898	88.6	39,550
เมล็ดใน ปาล์ม	50-55	0.904	66.3	39,720
เมล็ดสบู่ดำ	101	0.915	36.9 ที่ 38 °C	39,000
น้ำมันดีเซล	Na	0.845	3.8	46,800

Na : Not Available

แม้ว่าประเทศไทยปลูกปาล์มน้ำมันเป็นปริมาณมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตน้ำมันปาล์มของโลกแล้ว ประเทศไทยผลิตน้ำมันปาล์มเพียงร้อยละ 2.3 ของโลก โดยทำการผลิตมาลงเป็นอันดับ 5 ของโลก ประเทศมาเลเซียปลูกปาล์มน้ำมันมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยมีปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มคิดเป็นร้อยละ 50.5 ของปริมาณการผลิตของโลกในปี พ.ศ. 2544

เมทิลเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืช น้ำมันหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ โดยที่น้ำมันเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีโครงสร้างเป็น  $C_3H_5$  เชื่อมต่อกับกรดไขมันอิสระที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ระหว่าง 10-30 ตัว คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดขึ้นกับกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ

เมื่อต้องการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซล ควรเลือกน้ำมันพืชที่สามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยเฉพาะในด้านความหนืดเนื่องจากน้ำมันหลายๆชนิดมีคุณสมบัติด้านความหนืดแตกต่างจากน้ำมันดีเซลมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

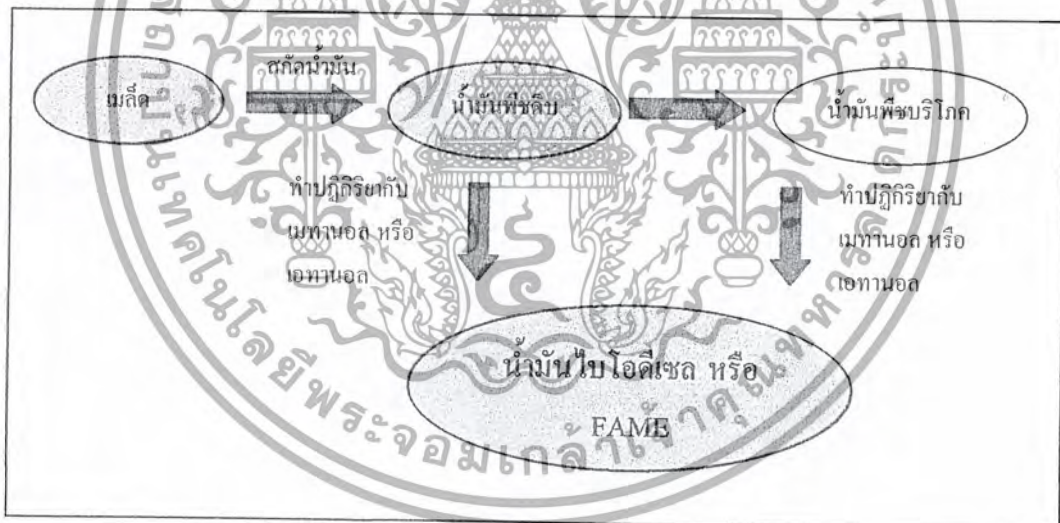
จากข้อมูลในตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก เมื่อพิจารณาคงสมบัติเอสเทอร์จากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ จะเห็นว่ามีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีการเปลี่ยนแปลงของความหนืดน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ุควาไฟฟ้าของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ปลอดภัยในการขนส่ง

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงใช้น้ำมันปาล์มในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่สุด

### 2.1.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล [1]

น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืช โดยผ่านกระบวนการทางเคมี เป็น เมทิลเอสเทอร์ หรือ เอทิลเอสเทอร์ แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

1. การใช้ไขมันพืชหรือไขมันสัตว์มาผ่านกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. การใช้ไขมันพืชหรือไขมันสัตว์มาผ่านกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. การใช้ไขมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นกรดไขมันมาทำปฏิกิริยาเป็นเมทิลหรือเอทิลเอสเทอร์



รูปที่ 2.1 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล [4]

จากการวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) พบว่าเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีค่าซีเทน(Cetane) สูงกว่า เมื่อนำน้ำมันนี้ไปทดลองกับเครื่องยนต์ปรากฏว่าให้กำลังเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล โดยน้ำมันพืชที่นำมาทำปฏิกิริยาจะเป็นน้ำมันพืชดิบ น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เป็นน้ำมันพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริโภค หรือจะเป็นน้ำมันพืชบริโภคที่ใช้งานแล้วก็ได้ จะเห็นได้ว่าเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก เมื่อพิจารณาคุณสมบัติเอสเทอร์จากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆกับน้ำมันดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)	ค่าซีเทน
ปาล์ม	0.887	167	39,300	62-65
ถั่วเหลือง	Na	Na	Na	51-53
ทานตะวัน	Na	Na	Na	52
น้ำมันดีเซล	0.875-0.890	>52	46,800	47

Na : Not Available

## 2.2 กรดไขมัน (fatty acid)

โดยทั่วไป น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ทุกชนิดเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้างเป็น  $C_3H_5$  เชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์มีกรดไขมันชนิดต่างๆกันเป็นองค์ประกอบ โดยที่มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักของโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมีและทางกายภาพแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่

น้ำมันพืชส่วนใหญ่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงหรือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้นค่าไอโอดีนจะสูงขึ้นตามลำดับ น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัว เมื่อสัมผัสอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์แล้ว น้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวขึ้น โดยทั่วไป ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีบอกถึงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นๆ ซึ่งบอกถึงความยากง่ายของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ด้วย เมื่อน้ำมันมีค่าไอโอดีนสูง จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ได้ง่าย ฉะนั้นการเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิง จะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวขึ้นที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ในเครื่องยนต์ได้ในเบื้องต้น [2]

กรดไขมันประกอบ ด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน โดยโครงสร้างประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเรียงกันเป็นสายโซ่ โดยปลายข้างหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ซึ่งเป็นกรดสามารถแตกตัวได้ดังปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กรดไขมันที่พบในธรรมชาติเป็นจะมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ จำนวนคาร์บอนอยู่ระหว่าง 4-30 อะตอม ที่พบมากมีจำนวนคาร์บอน 16-18 อะตอม กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากคือ กรดปาล์มมิติก (Palmitic Acid) และกรดสเตียริก (Stearic Acid) ส่วนกรดไขมันชนิด

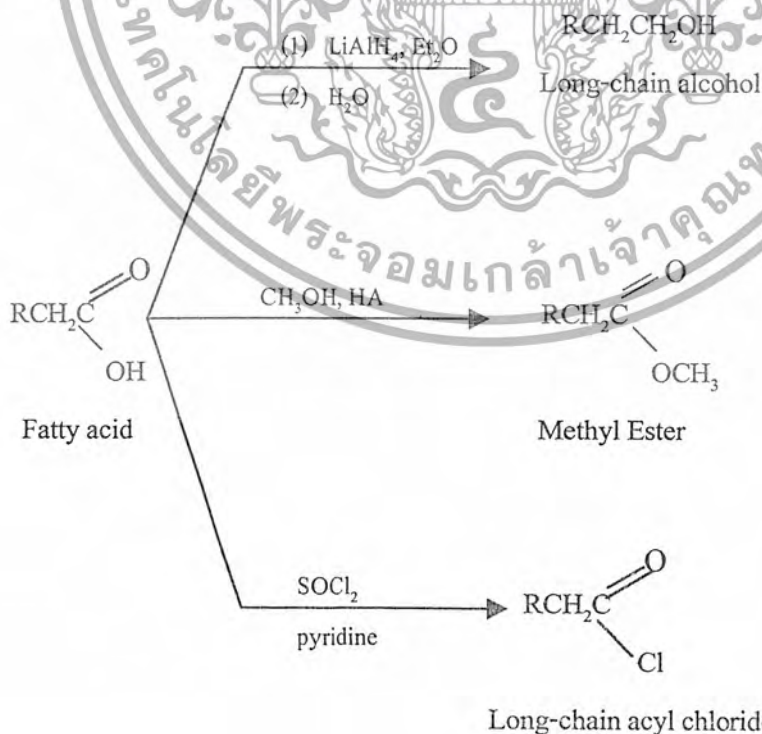
ไม่อิ่มตัวที่พบมากคือ กรดโอเลอิก



กรดไขมันมีทั้งชนิดอิ่มตัว ไม่อิ่มตัว โดยชนิดที่ไม่อิ่มตัวโครงสร้างจะประกอบด้วยพันธะคู่ ซึ่งพันธะคู่ในโมเลกุลสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันกับไฮโดรเจน และถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน

### 2.2.1 ปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอกซิลในกรดไขมัน [16]

กรดไขมันจะเกิดปฏิกิริยาเหมือนกับปฏิกิริยาของกรดคาร์บอกซิลิก โดยจะทำปฏิกิริยากับลิเทียมอะลูมิเนียมไฮไดรด์ ( $\text{LiAlH}_4$ ) ได้แอลกอฮอล์ ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์และกรดแร่ (Mineral acid) ได้เอสเตอร์ และทำปฏิกิริยากับไทโอนิลคลอไรด์ได้เอซิลคลอไรด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของกรดไขมัน โดยทั่วไป [16]

Name	structure	Melting Point (°C)
Myristic acid (tetradecanoic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{CO}_2\text{H}$	54
Palmitic acid (hexadecanoic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$	63
Stearic acid (octadecanoic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$	70
Palmitoleic ( <i>cis</i> -9-hexadecenoic acid)		32
Oleic acid ( <i>cis</i> -9-octadecenoic acid)		4
Linoleic acid ( <i>cis,cis</i> -9,12-octadecadienoic acid)		-5
Linolenic acid ( <i>cis,cis,cis</i> -9,12,15-octadecatrienoic acid)		-11

### 2.3 แอลกอฮอล์

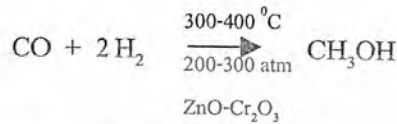
ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอนที่เรียงต่อกันเป็นสายโซ่ โดยมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งอาจมีทั้งแบบโซ่ตรง โซ่กิ่ง และแบบวงแหวน เช่น เมทานอล 2-เฮกซานอล ฟีนอล เป็นต้น

แอลกอฮอล์ที่ใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล แต่นิยมใช้เมทานอลและเอทานอลมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมทานอล เนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจึงทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีราคาถูก ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ได้แก่ กรด ค่าง และเอนไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 เมทานอล [16]

เมทานอลส่วนใหญ่ผลิตมาจากการกลั่นสลายตัวของไม้ (เช่น ให้ความร้อนแก่ไม้ที่อุณหภูมิสูงโดยปราศจากอากาศ) วิธีการเตรียมเมทานอลดังกล่าวจึงเรียกว่า “แอลกอฮอล์จากไม้ (Wood alcohol)” ปัจจุบันนี้เมทานอลส่วนใหญ่เตรียมมาจากการเติมไฮโดรเจนเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของคาร์บอนมอนอกไซด์ (Catalytic Hydrogenation of Carbon Monoxide) ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นที่ภายใต้ความดันสูงและที่อุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส

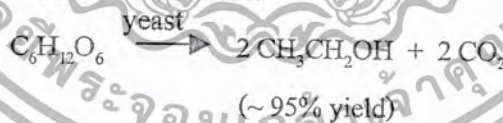


เมทานอลมีคุณสมบัติเป็นพิษสูง การรับประทานเมทานอลเป็นปริมาณน้อยสามารถทำให้ตาบอดได้ ถ้าในปริมาณมากจะทำให้เสียชีวิตได้ ความเป็นพิษของเมทานอลอาจเกิดได้จากการหายใจเอาไอของมันเข้าไป หรือการสัมผัสผิวหนังเป็นเวลานาน

### 2.3.2 เอทานอล

เอทานอลเกิดจากการหมักน้ำตาล เอทานอลที่ได้จากการหมักสามารถเป็นเครื่องดื่มได้ การสังเคราะห์เอทานอลให้อยู่ในรูปของไวน์ โดยกระบวนการหมักน้ำตาลจากน้ำตาลไม้ยังเป็นความสำเร็จครั้งแรกในการสังเคราะห์สารอินทรีย์อีกด้วย น้ำตาลจากแหล่งต่างๆ สามารถใช้ในการเตรียมเครื่องดื่มที่เป็นแอลกอฮอล์ บ่อยครั้งที่น้ำตาลส่วนใหญ่ได้มาจากพืชจำพวกข้าว

การหมักส่วนใหญ่จะเติมยีสต์ผสมน้ำตาลและน้ำ ยีสต์จะมีส่วนประกอบของเอนไซม์เป็นส่วนสำคัญ ในการเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องและเปลี่ยนโมเลกุลของน้ำตาล ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) ให้เป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์



การหมักเพียงอย่างเดียวไม่สามารถผลิตเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบได้ถึงร้อยละ 12-15 เนื่องจากเอนไซม์ในยีสต์จะเสื่อมเมื่อความเข้มข้นมากขึ้น ถ้าต้องการให้เครื่องดื่มมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สูงขึ้นต้องนำมากลั่น

การกลั่นสารละลายของเอทานอลและน้ำจะได้ปริมาณของเอทานอลมากที่สุดประมาณร้อยละ 95 โดยน้ำหนักของผสมระหว่างเอทานอลร้อยละ 95 และน้ำร้อยละ 5 จะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า (78.15 องศาเซลเซียส) ทั้งเอทานอลบริสุทธิ์ (จุดเดือด 78.3 องศาเซลเซียส) และน้ำบริสุทธิ์ (จุดเดือด 100 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของแอลกอฮอล์ [16]

สูตรโครงสร้าง	ชื่อ	จุดเยือกแข็ง	จุดเดือด	ความหนาแน่น $d_4^{20}$	ความสามารถในการละลายน้ำ
<b>Monohydroxy Alcohol</b>					
$\text{CH}_3\text{OH}$	Methanol	-97	64.7	0.792	$\infty$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	Ethanol	-117	78.3	0.789	$\infty$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	Propyl alcohol	-126	97.2	0.804	$\infty$
$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	Isopropyl alcohol	-88	82.3	0.786	$\infty$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	Butyl alcohol	-90	117.7	0.810	8.3
$\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{OH}$	Isobutyl alcohol	-108	108.0	0.802	10.0
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	sec-Butyl alcohol	-114	99.5	0.808	26.0
$(\text{CH}_3)_3\text{COH}$	tert-Butyl alcohol	25	82.5	0.789	$\infty$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2\text{OH}$	Pentyl alcohol	-78.5	138.0	0.817	2.4
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2\text{OH}$	Hexyl alcohol	-52	156.5	0.819	0.6
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}_2\text{OH}$	Heptyl alcohol	-34	176	0.822	0.2
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_2\text{OH}$	Octyl alcohol	-15	195	0.825	0.05
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}_2\text{OH}$	Nonyl alcohol	-5.5	212	0.827	
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CH}_2\text{OH}$	Decyl alcohol	6	228	0.829	
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$	Benzyl alcohol	-15	205	1.046	4
<b>Diols and Triols</b>					
$\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$	Ethylene glycol	-12.6	197	1.113	$\infty$
$\text{CH}_3\text{CHOHCH}_2\text{OH}$	Propylene glycol	-59	187	1.040	$\infty$
$\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	Trimethylene glycol	-30	215	1.060	$\infty$
$\text{CH}_2\text{OHCHOHCH}_2\text{OH}$	Glycerol	18	290	1.261	$\infty$

จุดเยือกแข็ง (องศาเซลเซียส) ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)

จุดเดือด (องศาเซลเซียส) ความสามารถในการละลายน้ำ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของน้ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล [1]

### 2.4.1 การนำมาใช้โดยตรงและการผสม(Direct and blending)

การนำมาใช้โดยตรงนั้น คือการนำน้ำมันพืชและน้ำมันจากไขสัตว์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง แต่เนื่องจากน้ำมันมีความหนืดสูงจึงไม่เหมาะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ จึงใช้น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดผสมกับน้ำมันเพื่อลดความหนืด และสามารถนำเชื้อเพลิงนี้ใช้กับเครื่องยนต์ได้

#### 1. การใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลโดยตรง

เครื่องยนต์ดีเซลเครื่องแรกของโลกที่ประดิษฐ์โดยรูดอล์ฟดีเซล ใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเป็นเครื่องยนต์รอบต่ำเหมือนเครื่องยนต์เรือที่ใช้ในปัจจุบัน และเดินรอบเครื่องที่สม่ำเสมอ ดังนั้น ปัญหาการฉีดเป็นฝอยที่หัวฉีดน้ำมัน และการจุดระเบิดได้ยาก ก็จะบรรเทาลง และไม่เป็นอุปสรรค

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) รายงานการวิจัยโดยใช้ น้ำมันถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับกรใช้น้ำมันดีเซล ในเครื่องยนต์ขั้นขนาด 7 แรงม้า โดยไม่มีการตัดแปลงเครื่องยนต์ ผลการทดลองพบว่า น้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบ และรีไฟน์ มีความหนืดสูง การฉีดเครื่องยนต์เป็นไปได้อย่างยาก มีปัญหาในการเดินเครื่องที่รอบต่ำๆ เครื่องล้มระควง การสันดาปเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์และไม่ต่อเนื่อง ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระยะสั้นพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบ และรีไฟน์เป็นเชื้อเพลิง ให้กำลังใกล้เคียงกับที่ใช้น้ำมันดีเซล หลังการทดสอบเดินเครื่องยนต์แล้ว ได้ตรวจสอบสภาพชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสง พบว่ามีเขม่าจับที่ลูกสูบและวาล์วมากกว่าที่ใช้น้ำมันดีเซล และมีตะกอนขาวตกอยู่ในถังน้ำมันบรรจุเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลต่อลูกสูบและหัวฉีด หากหลุดติดไปกับน้ำมันเชื้อเพลิง

การที่น้ำมันพืชมีความร้อนถึงร้อยละ 85-83 ของน้ำมันดีเซล จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ไขปัญหาน้ำมันขาดแคลนในอนาคต ถ้ามมีการปรับปรุงคัดแปลงระบบต่างๆ ของเครื่องยนต์อย่างเหมาะสม ก็จะสามารถนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงได้ เช่น มีการอุ่นน้ำมันพืชก่อน (Preheat) ด้วยระบบแลกเปลี่ยนความร้อนจากความร้อนที่หม้อน้ำ แต่การที่จะใช้ให้ดีต้องอุ่นน้ำมันพืชถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งก็จะเกิดปัญหาเรื่องความปลอดภัยเพราะเข้าใกล้จุดวาบไฟของน้ำมันพืช ดังนั้นผู้ที่คิดแปลงเครื่องยนต์จะต้องเป็นวิศวกรหรือผู้รู้จริงเท่านั้น มิฉะนั้นจะมีอันตรายมาก นอกจากนี้แล้ว ยังต้องดัดแปลงในส่วนของลูกสูบ ระบบหัวฉีด และห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เพื่อให้ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันพืชเปลี่ยนแปลงเป็นแรงบิด ได้อย่างคุ้มค่า เครื่องยนต์ของ DMS ( Dieselmotoren-und Geratebau GmbH ) เป็นตัวอย่างของเครื่องยนต์ที่ออกแบบมาให้ใช้กับน้ำมันพืชโดยตรงซึ่ง ได้ออกแบบระบบต่างๆ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การใช้น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าด (Blended Diesel)

การแก้ปัญหาความหนืดสูงของน้ำมัน สามารถทำได้โดยการผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล หรือน้ำมันพืชกับน้ำมันก๊าด โดยให้ได้ความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ได้ทดลองใช้ส่วนผสมของน้ำมันถั่วลิสงชนิดคิบร้อยละ 40 กับน้ำมันดีเซล และน้ำมันถั่วลิสงชนิดคิบร้อยละ 50 กับน้ำมันก๊าด ทำให้ได้คุณสมบัติของน้ำมันผสมดังตารางที่ 2.6 (เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม) จะเห็นว่าความหนืดลดลงมาใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ค่าความร้อนก็สูงขึ้นเล็กน้อยด้วย จากการทดลองเดินเครื่องยนต์เพื่อศึกษาสมรรถนะในระยะสั้น พบว่า ใช้งานได้ดี คิดเครื่องได้ง่าย เกิดการสันดาปได้อย่างต่อเนื่อง และไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดที่รอบต่ำ เหมือนการใช้น้ำมันถั่วลิสงล้วนๆ เปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆรวมทั้งเมทิลเอสเทอร์และความดันป้อนเชื้อเพลิงได้ตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดจะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [1]

น้ำมัน	ความว่องไวเพาะ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ความหนืดที่ 37°C (เซนติพอยด์)	ค่าความร้อน(กิโล จูลต่อกิโลกรัม)
น้ำมันถั่วลิสงชนิดคิบ	0.917	43.2	39,470
น้ำมันถั่วลิสง 40%ในน้ำมัน ดีเซล	0.872	4.0	43,150
น้ำมันถั่วลิสง 50%ในน้ำมัน ก๊าด	0.841	3.9	42,600
เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม	0.887	3.6	39,300
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

นอกจากนี้ ยังมีการทดลองของกรมวิชาการเกษตร ที่ทดลองใช้น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันดีเซล หรือน้ำมันก๊าดในอัตราส่วนต่างๆกัน ผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม คือ น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 20:1
2. ถึงแม้ว่าส่วนผสมข้างต้นเหมาะสมแล้วก็ตามแต่ก็ยังมีปัญหาในการเดินเครื่องยนต์ที่น้ำมันไหลไม่สะดวก เครื่องยนต์สะดุดเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ เพราะน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะพร้าวมีความหนืดสูงขึ้นมาเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส และมีจุดแข็งตัวที่อุณหภูมิ 15-17 องศาเซลเซียส

3. เครื่องยนต์ดีเซลต้องมีการดัดแปลง และเพิ่มเติมอุปกรณ์อุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนป้อนเข้าสู่ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง
4. ผลการทดลองเดินเครื่องยนต์ใช้กับงานสูบน้ำและงานขนส่ง ปรากฏว่าใช้งานได้ แต่ได้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงตันเร็วกว่าใช้น้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังพบปัญหาหม้ออุ่นน้ำมันก่อนเข้าสู่ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 60-70 องศาเซลเซียสได้ เมื่ออุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงสูงเกินกว่า 80 องศาเซลเซียส จะเกิด Vapour lock และเครื่องยนต์จะดับ
5. การตรวจสอบสภาพชิ้นส่วนของเครื่องยนต์หลังจากใช้น้ำมันผสม เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซล พบว่า ลูกสูบ ฝาสูบ และหัวฉีดมีเขม่าสีดำปนเทามากกว่าส่วนการสึกหรอใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2.7 ผลการทดลองเดินเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ และอัตราสิ้นเปลือง เชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบสูงสุด 2,600 รอบต่อนาที [1]

เชื้อเพลิง	แรงม้าเบรกสูงสุดของเครื่องยนต์	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ล./ชม.)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉพาะ (ล./แรงม้าเบรก-ชม.)
น้ำมันดีเซล	5.98	2.09	0.3495
น้ำมันถั่วลิสงชนิดคิบ	5.85	1.93	0.3299
น้ำมันถั่วลิสงชนิดคิบ 40% ในน้ำมันดีเซล	5.22	1.77	0.3391
น้ำมันถั่วลิสงชนิดคิบ 50% ในน้ำมันก๊าด	5.31	1.91	0.3597
เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม หรือ FAME ของน้ำมันปาล์ม	5.98	1.97	0.3294

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2 การทำเป็นไมโครอิมัลชัน ( Microemulsion ) [5]

การทำไมโครอิมัลชัน เป็นการกระจายอนุภาคของเหลวที่แขวนในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งอย่างสมดุล ขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 1-150 นาโนเมตร โดยของเหลวสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และกระจายอยู่ได้ด้วยสารลดแรงตึงผิว ตัวทำละลายที่ใช้คือ เมทานอล เอทานอล หรือ 1-บิวทานอลด้วยการทำไมโครอิมัลชันทำให้น้ำมันพืชลดความหนืดลง

#### 2.4.3 การแตกสลายด้วยความร้อน ( Thermal cracking or pyrolysis ) [15]

การทำให้โมเลกุลของสารมีขนาดเล็กลง โดยใช้ความร้อน โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรคาร์บอนทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และสารออกซิเจน (Oxygenate) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเฮเทอโรจีเนียส (Heterogeneous) เช่น ซีโอไลท์ และ โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) และสามารถใช้ได้ทั้งน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน วิธีการนี้ทำให้โมเลกุลของสารมีขนาดเล็กลง จึงทำให้ได้น้ำมันที่มีความหนืดต่ำลง

ตารางที่ 2.8 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่แตกสลายด้วยความร้อน [15]

	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก			
	ตอกค่าฝอย		เมล็ดด้วยเปลือก	
	บรรยากาศของไมโครเจน	อากาศ	บรรยากาศของไมโครเจน	อากาศ
อัลเคน(Alkanes)	37.5	40.9	31.1	29.9
อัลคีน(Alkenes)	22.2	22.0	28.3	24.9
อัลคาไดอิน(Alkadienes)	8.1	13.0	9.4	10.9
อโรมาติกส์(Aromatics)	2.3	2.2	2.3	1.9
โมเลกุลอิ่มตัวที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา(Unresolved unsaturated)	9.7	10.1	5.5	5.1
กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acids)	11.5	16.1	12.2	9.6
สารเจือปน (unidentified)	8.7	12.7	10.9	12.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีเซล	น้ำมันถั่วเหลือง		น้ำมันถั่วเหลืองที่แคร็ก		น้ำมัน	
	a	b	a	b	a	B
ค่าซีเทน	38.0	37.9	43.0	43.0	51.0	40.0
Higher heating value, MJ/kg	39.3	39.6	40.6	40.3	45.6	45.5
pour point องศาเซลเซียส	-12.2	-12.2	4.4	7.2	-6.7max	-6.7max
ค่าความหนืด, cSt ที่ 37.8 องศาเซลเซียส	32.6	32.6	7.74	10.2	2.82	1.9-4.1

a ข้อมูลจาก Niehaus et al.(1986)

b ข้อมูลจาก Schwab et al. (1988)

#### 2.4.4 ปฏิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิริยาที่เกิดจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ทำปฏิริยากับแอลกอฮอล์ ผลผลิตหลักที่ได้คือเอสเทอร์และกลีเซอรอล ปฏิริยานี้มีความร้อนและตัวเร่งปฏิริยาพวกกรดต่าง และเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิริยา

ปฏิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน นิยมใช้น้ำมันไบโอดีเซลมากกว่าวิธีอื่น กล่าวคือน้ำมันที่ผ่านกระบวนการไมโครอิมัลชัน และผ่านกระบวนการเติมตัวทำละลายให้ประสิทธิภาพของเครื่องยาคต่ำ และเกิดคราบคาร์บอน ส่วนวิธีไพโรไลซิสทำให้เกิดควันของก๊าซโซลีนมากกว่าน้ำมันดีเซล

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ด้วยกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันและเมทานอล

#### 2.5 ปฏิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน [15]

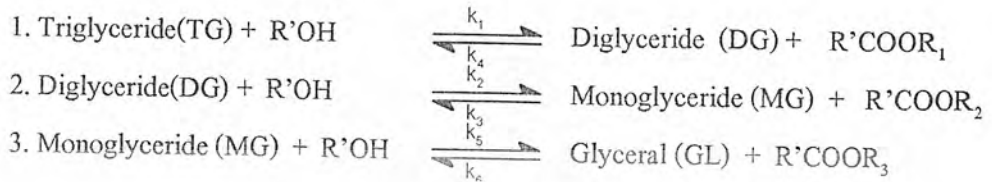
เป็นปฏิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ โดยมีความร้อนและเบสเป็นตัวเร่งปฏิริยา ผลผลิตหลักที่ได้คือเอสเทอร์และน้ำ ดังปฏิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยา

เริ่มจากไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ได้ผลิตภัณฑ์ คือ ไตรกลีเซอไรด์และเอสเทอร์ ไตรกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ได้โมโนกลีเซอไรด์และเอสเทอร์ จากนั้นโมโนกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อไปกับแอลกอฮอล์ได้เอสเทอร์กับกลีเซอรอล ดังสมการต่อไปนี้



ซึ่งแสดงเป็นสมการเคมีดังนี้

ก่อนเกิดปฏิกิริยา :



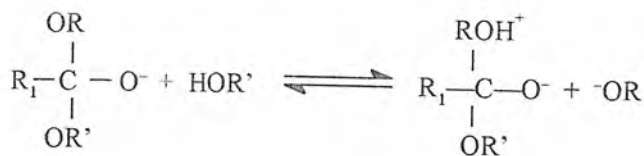
ไอออนของไฮดรอกไซด์และไอออนของไฮดรอกไซด์เห็นยว่นำให้แอลกอฮอล์แตกตัวเป็น  $\text{R'O}^-$  และ  $\text{H}^+$

ขั้นที่ 1.



ไอออนลบของแอลกอฮอล์ (Methoxide Ion) เข้าทำปฏิกิริยาที่หมู่คาร์บอนิลของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ เพื่อที่จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเตตระฮีดรอลอินเทอร์มีเดียต (Tetrahedral Intermediate)

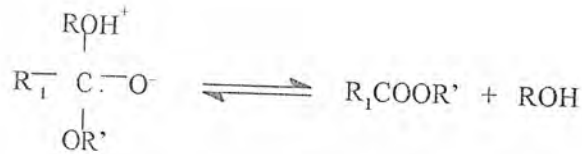
ขั้นที่ 2.



แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับเตตระฮีดรอลอินเทอร์มีเดียตเพื่อให้ได้ไอออนลบของแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3.



เปลี่ยนรูปของเตตระอีตรอดอินเทอร์มีเดียจะได้อีสเทอร์ของกรดไขมันและโคกลีเซอไรด์

การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม โดยทำปฏิกิริยากับเมทานอลและใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยป้อนเมทานอลและน้ำมันปาล์มไปยังเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อสารทำปฏิกิริยากันภายในเครื่องปฏิกรณ์ จะได้ผลิตภัณฑ์คือเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล แยกผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลและเมทานอลที่เหลือ จะได้เมทิลเอสเทอร์ ดังเมทิลเอสเทอร์ แล้วนำไปอบไล่ความชื้นออกเป็นขั้นตอนสุดท้าย จะได้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์

## 2.6 ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา [15]

### 2.6.1 อัตราส่วนโดยโมลของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อปริมาณเอสเทอร์ คือ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์และไตรกลีเซอไรด์ อัตราส่วนโดยโมลที่ใช้ทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันคือแอลกอฮอล์ตามโมลต่อกลีเซอไรด์หนึ่งโมลและจะได้ผลิตภัณฑ์คือ กรดไขมันเอสเทอร์ตามโมล และกลีเซอรอลหนึ่งโมล อย่างไรก็ตามอัตราส่วนโดยโมลมีส่วนสัมพันธ์กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เช่น ในกรณีที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีอัตราส่วนโดยโมลของบิวทานอลกับน้ำมันถั่วเหลืองคือ 30:1 ขณะที่ปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลน์จะมีอัตราส่วนเพียง 6:1 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ในจำนวนโมลที่เท่ากันเมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน

### 2.6.2 ชนิดและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งเป็น แอลคาไลน์ กรด หรือ เอนไซม์ ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแอลคาไลน์ในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด อย่างไรก็ตามถ้ากลีเซอไรด์มีปริมาณกรดไขมันอิสระจำนวนมาก และมีปริมาณน้ำมาก (ปริมาณน้ำ  $\geq$  ร้อยละ 0.06 ของน้ำหนักน้ำมัน) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดจะเหมาะสมกว่า กรดดังกล่าวอาจเป็นกรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรคลอริก กรดอินทรีย์ซัลโฟนิก แอลคาไลน์จะเป็นประเภท โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โปแทสเซียมเมทอกไซด์ โซเดียมเอไมด์ โซเดียมไฮไดร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปแทสเซียมเอไมด์ และ โปแทสเซียมไฮไดรด์ โซเดียมเมทอกไซด์จะมีประสิทธิภาพดีกว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากสมมติฐานที่ว่าเมื่อผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอล เข้าด้วยกันจะเกิดน้ำปริมาณเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเนื่องจากราคาของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ำ จึงเป็นที่นิยมใช้

### 2.6.3 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้

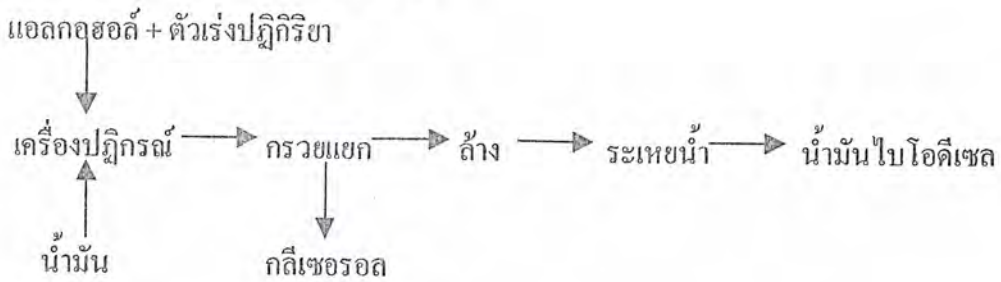
อุณหภูมิมีผลต่อเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา ถ้าใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาลดลง จากงานวิจัยเมทาโนไลซิส (Methanolysis) ของน้ำมันเมล็ดคละหุ้งเพื่อที่จะได้ Methyl Ricinoleate เกิดปฏิกิริยาในช่วงที่นำพอลิเอทิลีนไกลคอลที่อุณหภูมิ 20-35 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันเมล็ดคละหุ้งกับเมทานอล คือ 6 ต่อ 1 และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 0.005-0.35 (โดยน้ำหนักน้ำมัน) สำหรับทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองที่กลั่นแล้วกับเมทานอล (โดยมีอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันถั่วเหลืองที่กลั่นแล้วกับเมทานอล คือ 6:1) และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ หลังจาก 6 นาที ได้เอสเทอร์ร้อยละ 94 87 และ 64 ที่อุณหภูมิ 60 45 และ 32 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อการอัตราการเกิดปฏิกิริยาและการเกิดเอสเทอร์

### 2.6.4 น้ำหรือกรดไขมันอิสระในระบบ

เนื่องจากน้ำจะทำให้เกิดสบู่ขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่สูญเสียปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง และเมื่อเกิดสบู่จะมีผลทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเกิดเป็นเจล และทำให้การแยกกลีเซอรอลออกไปได้ยาก ประการที่สองน้ำมันสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำก่อให้เกิดกรดไขมัน และพบว่าน้ำจะเป็นตัวแปรที่มีผลมากกว่ากรดไขมันอิสระ และถ้ามีทั้งน้ำและกรดไขมันอิสระจะมีผลอย่างมากเนื่องจากจะมีผลเสริมกันทำให้ปริมาณเอสเทอร์ที่ได้มีค่าลดลงอย่างมาก นอกจากนี้น้ำจะเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาและมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาผันกลับเป็นอย่างมาก เมื่อปริมาณของน้ำเพิ่มมากขึ้น และยังพบน้ำจากภาชนะจัดเก็บ เช่นเดียวกับที่สร้างจากปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ของโลหะกับแอลกอฮอล์ เช่น โซเดียมเมทอกไซด์จากโซเดียมไฮดรอกไซด์และเอทานอล ถ้ามีการผลิตแอลกอฮอล์อย่างเพียงพอจะเกิดไฮโดรไลซิส ซึ่งจะผลิตกรดไขมันอิสระและโมโนเมอร์ของโลหะไฮดรอกไซด์ จะทำให้เกิดสะพอนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งจะช่วยให้เอสเทอร์ที่ได้มีค่าลดลง สูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาและอาจเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์

ดังนั้นปริมาณน้ำในระบบไม่ควรจะเกินร้อยละ 0.06 โดยน้ำหนักของน้ำมัน และปริมาณของกรดไขมันอิสระควรจะน้อยกว่าร้อยละ 0.5 (น้ำหนักกรดไขมันอิสระต่อน้ำหนักน้ำมัน)

## 2.7 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล



### 2.7.1 การล้างน้ำมันไบโอดีเซล [13]

จุดประสงค์ของการล้างคือ การทำให้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ขึ้น โดยการขจัดตัวเร่งและกลีเซอรอลที่ตกค้างอยู่และน้ำมันที่ไม่ทำปฏิกิริยาหรือทำปฏิกิริยาเพียงบางส่วน จากการทดลองพบว่าถ้าสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาในระยะเวลาประมาณ 20 นาทีโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลบริสุทธิ์และน้ำร้อนละ 15 โดยน้ำหนักและใช้เวลาในการผสมประมาณ 20 นาที การล้างจะง่ายขึ้นและจำนวนครั้งทั้งหมดที่ใช้ในการล้างน้อยจะลง วิธีดังกล่าวนี้สามารถใช้ในการกำจัดมอนอกลิเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์จากน้ำมันไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามมีการทดลองซึ่งได้พบว่าการควนอย่างแรงก่อน ที่สิ่งเจือปนจะถูกกำจัดออกไปพร้อมกับกลีเซอรอลเป็นสาเหตุให้เกิดอิมัลชันซึ่งจะมีผลทำให้ทำลายฟัสมาระได้ยากและก่อให้เกิดสบู่ซึ่งจะทำให้เกิดเจลหรือของเหลวที่มีความหนืดสูงขึ้น จากการทดลองพบว่าเมื่อเค็มน้ำขณะที่เกิดกลีเซอรอลออกมาและเกิดอิมัลชัน มีผลทำให้เกิดการสูญเสียทั้งกลีเซอรอลและเอสเทอร์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์หรือปฏิกิริยาย้อนกลับ เป็นสาเหตุทำให้เกิดของแข็งหรือเจลเนื่องจากการเกิดอิมัลชันของมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และ ไตรกลีเซอไรด์

ในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะก่อให้เกิดผลดีเมื่อใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไปซึ่งตามมีการค้นพบว่าอัตราส่วนที่มากกว่า 6:1 (ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด) เมื่อใช้ปริมาณแอลกอฮอล์จำนวนมากจะพบว่ากลีเซอรอลและแอลกอฮอล์จะเข้ากันได้ดี และจะไม่แยกชั้นกันทำให้การแยกกลีเซอรอลเป็นไปได้อย่างดีถึงแม้ว่าปรากฏการณ์ดังกล่าวยังไม่มีการรายงานอย่างชัดเจนแต่อาจจะมีผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์หรือทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด และเมื่ออัตราส่วนของแอลกอฮอล์และน้ำมันที่ต่ำกว่า 30:1 จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้น้อย งานวิจัยไม่ได้ครอบคลุมถึงตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดชนิดต่างๆ (Esterification หรือ Acidolysis) เช่นเดียวกับตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การไหลในท่อ

#### 3.1 ค่าเรย์โนลด์ส ( Reynolds Number ) [9]

ตั้งชื่อตามนักวิจัยคือ Osborne Reynolds ผู้ค้นพบปรากฏการณ์ของของไหล โดยเรย์โนลด์พบว่าตัวดัชนีบอกสภาพการไหลขึ้นอยู่กับความเร็วของการไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และค่าความหนาแน่นของของไหล ดังสมการ

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad (3.1)$$

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (เมตรต่อวินาที)

$\mu$  คือ ความหนืดของของไหล (ปาสคาลคูณวินาที)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (เมตร)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ค่าเรย์โนลด์สแบ่งการไหลเป็น 2 อย่างด้วยกันคือ

##### 3.1.1 การไหลแบบราบเรียบ ( Laminar Flow )

มีค่าเรย์โนลด์สน้อยกว่า 2,100 สำหรับการไหลในท่อ ของไหลจะขนานกันไปตลอด การไหลลักษณะนี้เกิดจากของไหลมีความหนืดสูงมาก เช่น ก๊าซเซอรอล น้ำมันเตา อนุของสารเหล่านี้จับตัวกันแน่นทำให้อัตราการไหลมีค่าต่ำมาก

##### 3.1.2 การไหลแบบปั่นป่วน ( Turbulent Flow )

มีค่าเรย์โนลด์สมากกว่า 4,000 สำหรับการไหลในท่อ การไหลส่วนใหญ่ที่พบเป็นแบบนี้ทั้งสิ้น ลักษณะการไหลจะเป็นไปอย่างไม่มีระเบียบ ไม่มีชั้นที่แน่นอน การไหลลักษณะนี้เป็นไปอยู่ในท่อซึ่งเราไม่สามารถเห็นได้จะต้องพิจารณาที่ค่าเรย์โนลด์เท่านั้น

ในช่วงค่าเรย์โนลด์ 2,100 – 4,000 จะเป็นช่วงวิกฤตจะมีการไหลทั้ง 2 แบบ ผสมกัน

ในการทดลองนี้เครื่องปฏิกรณ์เป็นแบบต่อเนื่อง สารที่เหมาะสมกับเครื่องต้องมีความหนืดต่ำ เนื่องจากในท่อไม่มีปริมาตรและเวลาในสารผสมกันมาก จึงต้องทำให้ค่าเรย์โนลด์มีค่ามากๆ (มากกว่า 2,100) เพื่อเกิดการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้การผสมเกิดได้ดี ค่าเรย์โนลด์มีค่านั้นแปรผกผันกับความหนืดของสาร ดังนั้นเมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิทำให้น้ำมันมีความหนืดลดลงจึงทำให้ค่าเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น จึงเกิดการผสมได้ดีขึ้น

### 3.2 การผสมในท่อ [19]

การผสมในท่อจะใช้กับของเหลวที่ถูกผสมแล้วผ่านไป ใช้เวลาในการสัมผัสสั้นก็ สามารถเกิดปฏิกิริยาได้จะใช้สำหรับกระบวนการต่อเนื่องหรือกึ่งกะเท่านั้น ถ้าการผสมนั้น ต้องการเวลาในการผสมมักจะเป็นประเภท vessel แต่ถ้าต้องการปริมาตร ต้องใช้ท่อยาวๆ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากๆ พลังงานส่วนใหญ่ในการผสมจะมาจากความดันลดในการ ผสม

การผสมมีหลายชนิดแต่จะยกมาเสนอเพียงบางชนิดเท่านั้น

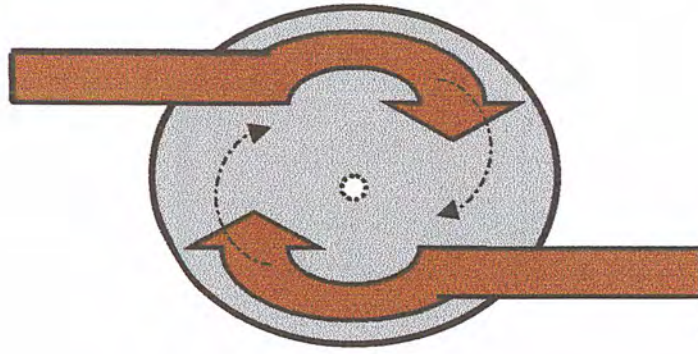
#### 3.2.1 การผสมแบบหัวฉีดพ่นฝอย

การผสมแบบนี้ ของเหลวชนิดที่หนึ่งจะมีผลกระทบต่อการกระจายตัวของของเหลวอีก ชนิดหนึ่ง จะมีของเหลวหนึ่งชนิดถูกบีบผ่านหัวฉีด เข้าสู่กระแสการไหลของสารอีกชนิด หรืออาจเป็นแบบของเหลวทั้ง 2 ชนิดถูกบีบทั้งคู่ก็ได้ การผสมจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อ ของเหลว ทั้งสองชนิดมีค่าแรงตึงผิวต่ำ การใช้การผสมแบบนี้จะให้ค่าการถ่ายเทมวลที่สูงแต่ความ ต้องการในการใช้พลังงานก็สูงตามไปด้วย

การผสมในท่อที่ใหญ่ๆ มักจะเป็นการเหนี่ยวนำจากการฉีดสารหนึ่งชนิดหรือมากกว่า บางครั้งการฉีดจะเกิดขึ้นเป็นกลุ่มในถัง การฉีดจากหัวฉีดเดี่ยวจะมีคุณสมบัติโดดเด่น การ พิจารณาถึงความห่าง ดังรูปที่ 3.2 แสดงถึงลักษณะของของไหลที่ถูกฉีดออกมาจากหัวฉีด ด้วยความเร็วสูง ไปในของเหลวชนิดเดียวกันที่อยู่นิ่ง ความเร็วในการฉีดมีค่าคงที่และมี ลักษณะเหมือนกันตลอด ความเร็วของสารที่ถูกฉีดออกมาจะยังคงอยู่ที่จุดแกนกลางและจะ ค่อยๆลดลงเมื่อระยะห่างจากหัวฉีดมากขึ้น แขนกกลางจะถูก โอบล้อม โดยการขยายตัวของ การไหลแบบปั่นป่วน ความเร็วตามแนวแกนรัศมีจะมีค่าลดลงเมื่อยิ่งห่างจากเส้นศูนย์กลาง การม้วนตัว ( Shrinking ) จะไม่เกิดขึ้นถ้าระยะห่างจากหัวฉีดไม่เกิน 4.3 เท่าของเส้นผ่าน- ศูนย์กลางของหัวฉีด การผสมแบบนี้จะลดลงตามความเร็วของหัวฉีดที่ถูกติดตามโดยการเพิ่ม ขึ้นของความดันที่มา

โดยหัวฉีด ( Jet Mixer) จะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ หัวฉีดที่มีแกนร่วม (Coaxial Jet mixer) และ หัวฉีดที่ทางเข้าด้านข้าง (side-entry jet mixer) หัวฉีดที่มีแกนร่วม จะมีลักษณะ หัวฉีดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กและของเหลวที่ไหลออกจากหัวฉีดจะไหลรวมกันภายในท่อที่มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า และหัวฉีดที่ทางเข้าด้านข้าง ของไหลที่ออกจากรหัวฉีดจะ ถูกฉีดเข้าทางด้านข้างของท่อหลักของการไหล

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้หัวฉีด แบบ Swirl-well chamber มีลักษณะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ห้องผสมแบบ Swirl-Well Chamber

### 1. กลศาสตร์ของไหลของหัวฉีดของการไหลแบบปั่นป่วน

ได้มีการศึกษาและทดลองเพื่อหาลักษณะการฉีดเพื่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน หัวฉีดที่จะทำให้ออกการไหลเกิดการไหลแบบปั่นป่วนสมบูรณ์โดยจะมีค่าเรย์โนลด์สของหัวฉีด ( $Re_j$ ) มากกว่า 1000-2000 โดยประมาณ และ ค่าเรย์โนลด์สของหัวฉีดที่ทำให้เกิดการไหลแบบราบเรียบจะมีค่าต่ำกว่า 100 โดยประมาณ สำหรับการไหลในท่อโดยค่าเรย์โนลด์สของหัวฉีดคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$Re_j = \frac{\rho_j V_j D_j}{\mu_j} \quad (3.2)$$

$\rho_j$  คือ ความหนาแน่นของไหลที่หัวฉีด

$V_j$  คือ ค่าความเร็วที่หัวฉีด

$D_j$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด

$\mu_j$  คือ ค่าความหนืดของไหลที่หัวฉีด

ในการไหลแบบปั่นป่วน หัวฉีดที่มีลักษณะเป็นท่อ เช่น หัวฉีดที่มีแกนร่วม หัวฉีดดังกล่าวจะมีลักษณะคล้ายกับหัวฉีดอิสระ ( free jet) คือ หัวฉีดจะฉีดของไหลไปสู่ของเหลวซึ่งไม่มีขอบเขตที่จำกัด หัวฉีดที่ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหัวฉีดที่บริเวณผนังท่อผสม ถ้า

$$C_i > 0.75$$

โดย  $C_i$  คือ Craya-Curtet number คำนวณได้จาก

$$C_t = \frac{(V-1)D^2 + 1}{D[V^2 - V - 0.5D^2(V-1)^{0.5}]^{0.5}} \dots\dots\dots(3.3)$$

ซึ่ง

$$V = \frac{\text{jet velocity, } V_j}{\text{secondary fluid velocity, } V_s}$$

และ

$$D = \frac{\text{jet diameter, } D_j}{\text{secondary pipe diameter, } D_s}$$

ถ้า

$$C_t < 0.75$$

บริเวณที่เกิดการหมุนวนจะเกิดใกล้ๆ กับผนังท่อผสม ขณะที่หัวฉีดฉีดผสมเข้าไปในของเหลวและของเหลวขยายเป็นมุม  $\alpha$  มุมที่หัวฉีดนี้จะไม่สามารถหาค่าได้เพราะไม่มีขอบเขตจำกัดของหัวฉีดที่แน่นอน อย่างไรก็ตามจากรายงานที่ผ่านมามีค่าอยู่ในช่วง 15-25 องศา สำหรับ  $Re_j > 100$

ในลักษณะเดียวกัน อัตราการไหลโดยปริมาตรของเหลวรวม(ของเหลวรวมทั้งหมัดซึ่งรวมกับของเหลวจากหัวฉีดด้วย)  $Q_e$  จะสามารถวัดค่าได้ยากและผลที่ได้จากการทดลองมีค่าที่ไม่แน่นอน อย่างไรก็ตามปรากฏว่า

$$\frac{Q_e}{Q_j} = \frac{fz}{D_j} \dots\dots\dots(3.3)$$

$Q_e$  คือ อัตราการไหลที่ผ่านหัวฉีดบริเวณหน้าตัดที่ระยะทางตามแกน  $z$

$Q_j$  คือ อัตราการไหลที่หัวฉีด

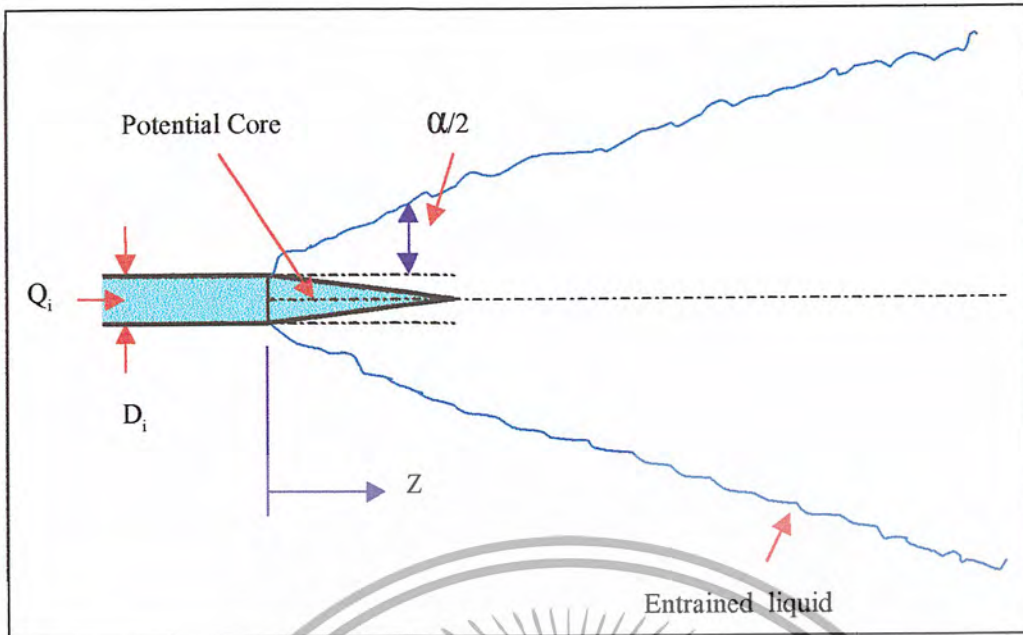
$z$  คือ ระยะทางตามแนวแกน หรือ ความยาวที่หัวฉีดฉีดมีประสิทธิภาพ

ซึ่ง

$$f = \text{fn}(Re_j)$$

$f$  คือ จะมีผลต่อค่า  $Re_j$  เป็นอย่างมาก เมื่อ  $100 < Re_j < 2000$  แต่  $f$  จะมีผลต่อค่า  $Re_j$  น้อยมาก เมื่อ  $Re_j > 2000$

การไหลของหัวฉีดแบบปั่นป่วนสามารถแบ่งเป็นสองส่วนที่เด่นชัด คือ บริเวณหลัก (core region) และ บริเวณที่พัฒนาอย่างสมบูรณ์ (fully developed region) รูป 3.2 ประกอบ



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการไหลแบบหัวฉีด

ในบริเวณหลักซึ่งขยายออกประมาณหกเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดจากหัวฉีด ชั้นผสมจะแผ่กว้างไปจนถึงเส้นศูนย์กลางหรือแกนของหัวฉีด และมีลักษณะเป็นรูปกรวยคล้ายกับ ปริมาตรของเหลวที่ออกจากหัวฉีดที่มีความเร็ว  $V_j$  ของเหลวที่มีลักษณะเป็นกรวยนี้จะเรียกว่า potential core ในบริเวณที่พัฒนาสมบูรณ์ซึ่งเริ่มตั้งแต่หัวฉีด ไปประมาณสิบเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด ชั้นผสมจะแผ่กว้างไปจนถึงแกนของหัวฉีด

ในบริเวณที่พัฒนาสมบูรณ์ของหัวฉีดแบบการไหลปั่นป่วน ความเร็วของเส้นกึ่งกลางหัวฉีด คือ  $V_m$  จะหาได้จาก

$$\frac{V_m}{V_j} \approx \frac{6D_j}{z} \dots \dots \dots (3.5)$$

$V_m$  คือ ความเร็วในการผสม

$V_j$  คือ ความเร็วหัวฉีด

และ ค่าความเข้มข้นที่เส้นกึ่งกลางหัวฉีดคือ  $C_m$

$$\frac{C_m}{C_j} \approx \frac{4.5D_j}{z} \dots \dots \dots (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นว่าความเร็วที่เส้นกึ่งกลางของหัวฉีด  $V_m$  และ ค่าความเข้มข้น  $C_m$  จะมีค่าลดลงร้อยละ 5 ของค่าเริ่มต้นหลังเมื่อห่างจากแกนกลางไปประมาณหนึ่งร้อยเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง และเมื่อห่างจากหัวฉีดเป็นระยะทางสี่ร้อยเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดค่าความเร็วจะมีค่าต่ำมาก ผลของการผสมของหัวฉีดจึงมีค่าลดลง



รูปที่ 5.3 เครื่องผสมแบบหัวฉีดสอยแบบข้ออ

จากหลักความสอดคล้องกันของ เบนนูรี (Bernoulli) ของไหลที่ไหลในท่อจะถูกดูดซึม เร่งความเร็ว และผสมในหัวฉีด เราเรียกขบวนการนี้ว่า entrainment สมการนี้จะใช้เมื่อมีระยะห่างมากกว่า 4.3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด

$$q_e = \left( \frac{x}{4.3D_i} - 1 \right) q_0 \quad (3.7)$$

$q_i$  คือ ปริมาตรของของเหลวที่เข้ามาต่อหน่วยเวลาที่ระยะห่าง  $x$  จากหัวฉีด

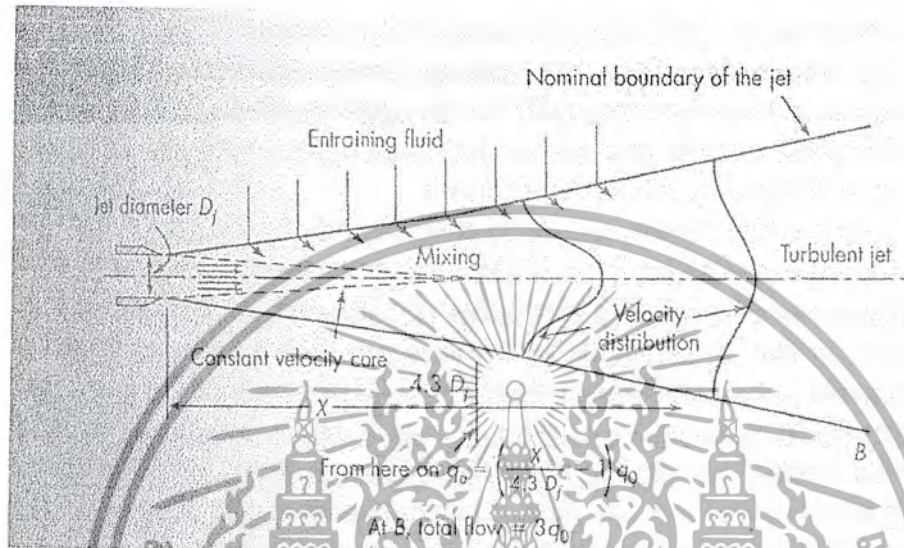
$q_0$  คือ ปริมาตรของของเหลวที่ออกจากหัวฉีดต่อหน่วยเวลา

$D_i$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด(เมตร)

$x$  คือ ระยะห่าง(เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนการนี้ จะทำให้ของเหลวที่ฉีดออกมา มีค่าแรงเฉือนมากในช่วงขอบเขตการฉีด และของเหลวรอบๆ การเกิดการหมุนวนในบริเวณนี้จะทำให้เกิดการผสมขึ้น การไหลของสารชนิดเดียวจะเกิดการผสมน้อยไม่ค่อยเป็นที่น่าพอใจ ต้องมีเวลาและช่องว่างที่เหมาะสมที่จะมีการใช้ไอสารเพื่อช่วยการผสมมวลของของไหลการกระบวนกร entrainment ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการผสมคือ ขนาดของทางเข้าของท่อหัวฉีด[17]

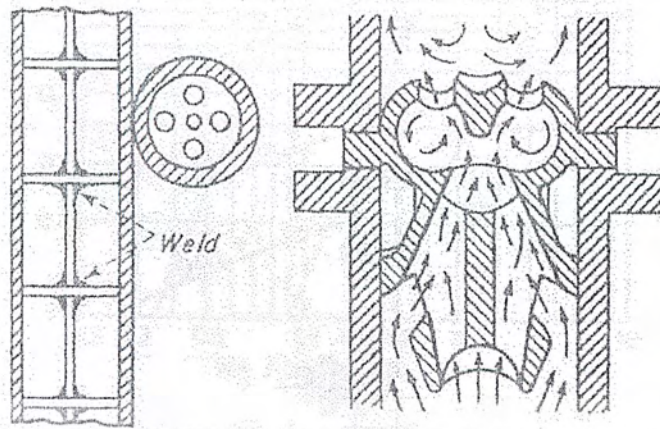


รูปที่ 3.4 ภาพตัดขวางของการผสมแบบหัวฉีดปล่อย

### 3.2.2 Orifices and Mixing Nozzles

หัวฉีด (Nozzle) มีลักษณะเป็นท่อสั้นๆและมีรูที่มีลักษณะเรียว ใช้สำหรับฉีดที่ปลายท่อเพื่อเปลี่ยนพลังงานการไหลของน้ำให้เป็นพลังงานความเร็ว ดังนั้นจึงใช้หัวฉีดในที่ที่ต้องการความเร็วในการไหลสูงๆ เช่น ในการดับเพลิง ซึ่งจะฉีดที่หัวฉีดปลายท่อ หรือในกรณีของเทอร์ไบน์แบบใช้แรงกระทบ เช่น เพลตันวีล (Pelton Wheel) วังใช้หลักการเปลี่ยนพลังงานของไหลให้เป็นพลังงานจลน์ด้วยการฉีดหัวฉีดที่เรียกว่า เพนสโตค (Penstock) ไว้ที่ปลายท่อฉีด

ของเหลวทั้ง 2 ชนิดจะถูกบีบเข้าไปในท่อ ความดันลดจะทำให้เกิดการกระจายตัว การใช้ Nozzles จะใช้แบบตัวเดียวหรือหลายตัวต่อกันก็ได้ แต่ orifices จะใช้การต่อมากกว่า 20 ตัว ลักษณะตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Orifices and Mixing Nozzles



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลอง

#### 4.1 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก

##### 4.1.1 จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อหาอุณหภูมิที่ได้อัตราผลผลิตมากที่สุดและมีความหนืดที่เหมาะสม

##### 4.1.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ
2. เครื่องปั่นกววน
3. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ
4. บีม
5. ขดลวดทองแดง
6. เครื่องให้ความร้อนแบบจุ่มแห้งขนาด 100 วัตต์
7. เทอร์โมมิเตอร์
8. ปีกเกอร์
9. กระบอกตวง
10. นาฬิกาจับเวลา
11. แท่งแก้วคน
12. ขวดรูปชมพู่
13. ฮีตเตอร์
14. เครื่องชั่ง

##### 4.1.3 สารเคมี

1. น้ำมัน
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. เมทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 95
4. น้ำรีเวอร์สออสโมซิส

##### การเตรียมสาร

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25 กรัม
2. เตรียมเมทานอล 1,000 มิลลิลิตร
3. ผสมเมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ ทั้งไว้จนโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายจนหมด
4. เตรียมน้ำมันปาล์มโดยปั๊มสุญญากาศ ( Vacuum pump ) เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการทดลอง

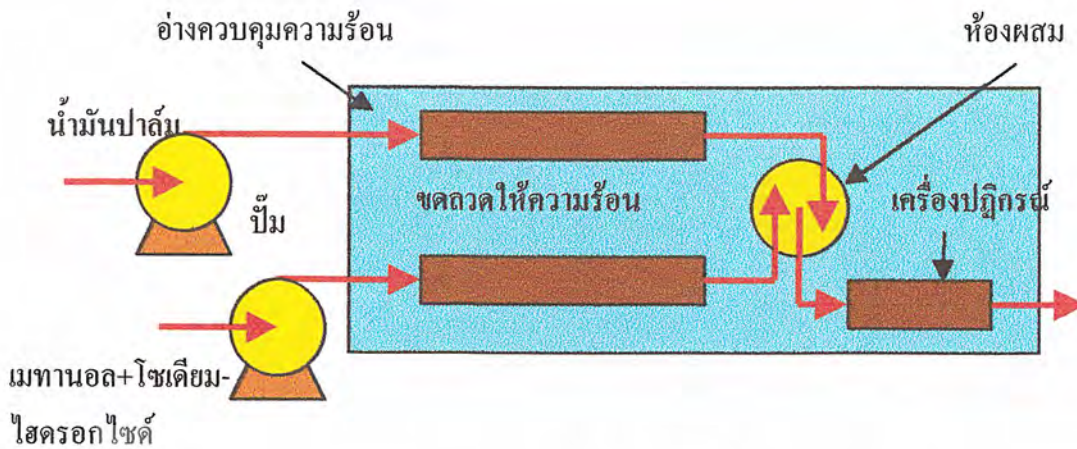
1. ให้ความร้อนแก่น้ำที่อยู่ในถังที่ใส่เครื่องปฏิกรณ์ โดยเครื่องให้ความร้อนแบบจุ่มแท่งและติดตั้งเครื่องปั่นกวนเพื่อกวนให้น้ำมีอุณหภูมิเท่ากันคือ 65 องศาเซลเซียส ทั้งถังดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การติดตั้งเครื่องปั่นกวน

2. นำสารละลายผสมเมทานอลและน้ำมันปาล์มที่เตรียมไว้ใส่ปิกเกอร์แล้วต่อเข้ากับปั๊มปรับความถี่ของปั๊มให้เท่ากันทั้งคู่ เมื่อต้องการปรับอัตราการไหลให้ปรับเพียงช่วงชักเท่านั้น
3. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4.2
4. เปิดปั๊มทั้ง 2 ตัว โดยให้อัตราการป้อนน้ำมันปาล์มคือ 0.28 มิลลิลิตรต่อวินาที (16.67 มิลลิลิตรต่อนาที) และปั๊มสารละลายผสมเมทานอลเข้าไปในห้องผสม (Mixing Chamber) ปรับอัตราการไหลจนได้อัตราการไหลรวมที่ทางออกของท่อเป็น 20 มิลลิลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การต่ออุปกรณ์

- 5 เปิดเครื่องให้กระบวนการเข้าสู่สภาวะประมาณ 2 ชั่วโมง ( ขึ้นอยู่กับอัตราการไหล ) จึงเริ่มเก็บผลิตภัณฑ์ จดบันทึกปริมาณของน้ำมันและสารละลายแอลกอฮอล์ที่ใช้เริ่มต้น และเมื่อหยุดการเดินเครื่อง จดบันทึกปริมาณน้ำมันและแอลกอฮอล์ที่ใช้ไป หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปแยกเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอลด้วยกรวยแยก ดังรูปที่ 4.3
- 6 ตั้งเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำร้อน 60-70 องศาเซลเซียส ประมาณ 5-6 ครั้ง ควรค่อยๆเทน้ำร้อน
- 7 นำเมทิลเอสเทอร์ที่ตั้งแล้วไปอบ ตั้งอุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียสประมาณ 12-24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้เพื่อหาความหนืดต่อไป
- 8 ทำการทดลองซ้ำที่อุณหภูมิ 70 75 และ 80 องศาเซลเซียส

#### 4.2 การหาค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์

ใช้ตามมาตรฐาน ASTM ตามภาคผนวก ค.

#### 4.3 การหาค่าร้อยละผลิตภัณฑ์

ร้อยละผลิตภัณฑ์ คือ โมลของเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ที่ตั้งเคราะห์ได้ ต่อ โมลของสารตั้งต้น

##### 4.3.1 วิธีการหาค่าร้อยละผลิตภัณฑ์

นำค่าความหนืดที่หาได้มาหาค่าร้อยละผลิตภัณฑ์จากสมการที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและร้อยละผลิตภัณฑ์ที่มีสมการ[3]

$$\text{ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์} = -45.097 \ln(\text{ความหนืด}) + 168.08$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การแยกเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล

รูปที่ 4.4 เมทิลเอสเทอร์หลังการอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### 5.1 ผลการทดลองหาความหนืดของเมทิลเอสเทอร์

ตารางที่ 5.1 ความหนืดของเมทิลเอสเทอร์

อัตราการไหลของสาร อุณหภูมิ	ความหนืด (เซนติสโตค)		
	0.33 มิลลิลิตร ต่อวินาที	0.67 มิลลิลิตร ต่อวินาที	1.00 มิลลิลิตร ต่อวินาที
60 องศาเซลเซียส	5.48	7.09	9.49
70 องศาเซลเซียส	5.23	6.82	9.33
80 องศาเซลเซียส	5.07	6.76	9.12

#### 5.2 ผลการทดลองหาความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่อัตราการไหลของเมทิลเอสเทอร์

ขาออกจากเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 0.33 มิลลิลิตรต่อวินาที

วัดค่าความหนืดโดยใช้เครื่องมือวัดความหนืดดังอุณหภูมิของเครื่องเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส จะ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่อัตราการไหลขาออกจากเครื่องปฏิกรณ์ 0.33 มิลลิลิตรต่อวินาที

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	ความหนืด(เซนติสโตค)
65	4.98
70	4.84
75	4.65
80	4.58

#### 5.3 ผลการทดลองหาค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่อัตราการไหลของเมทิลเอสเทอร์ขาออกจากเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 0.33 มิลลิลิตรต่อวินาที

หาค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของเมทิลเอสเทอร์โดยการใช้สมการที่สร้างจากกราฟความหนืดกับค่าร้อยละผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่อัตราการใช้ไฮโดรเจน 0.33 มิลลิกรัมต่อวินาที

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	ร้อยละผลิตภัณฑ์
65	95.68
70	96.97
75	98.77
80	99.46

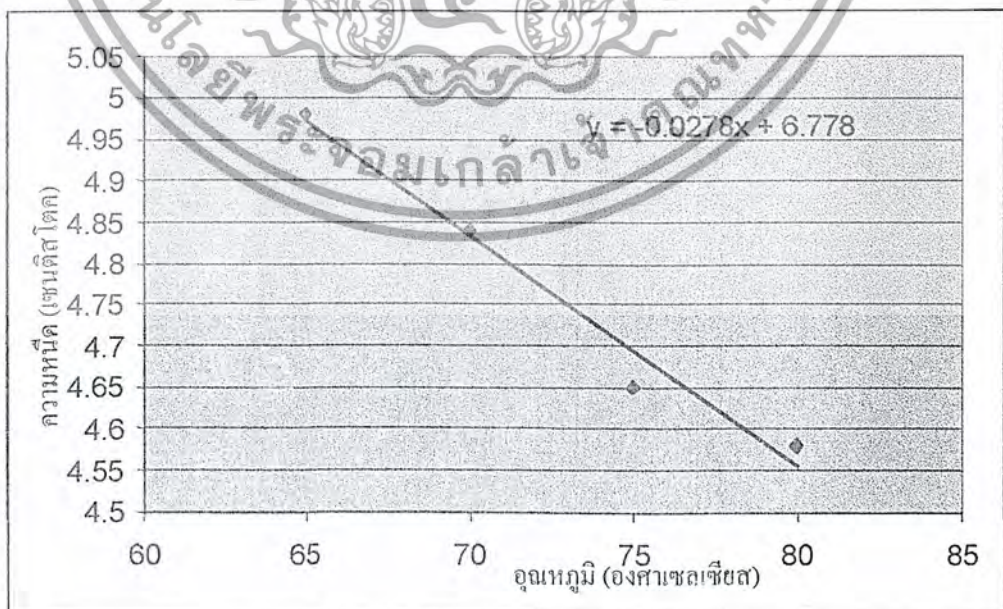


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

### 6.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

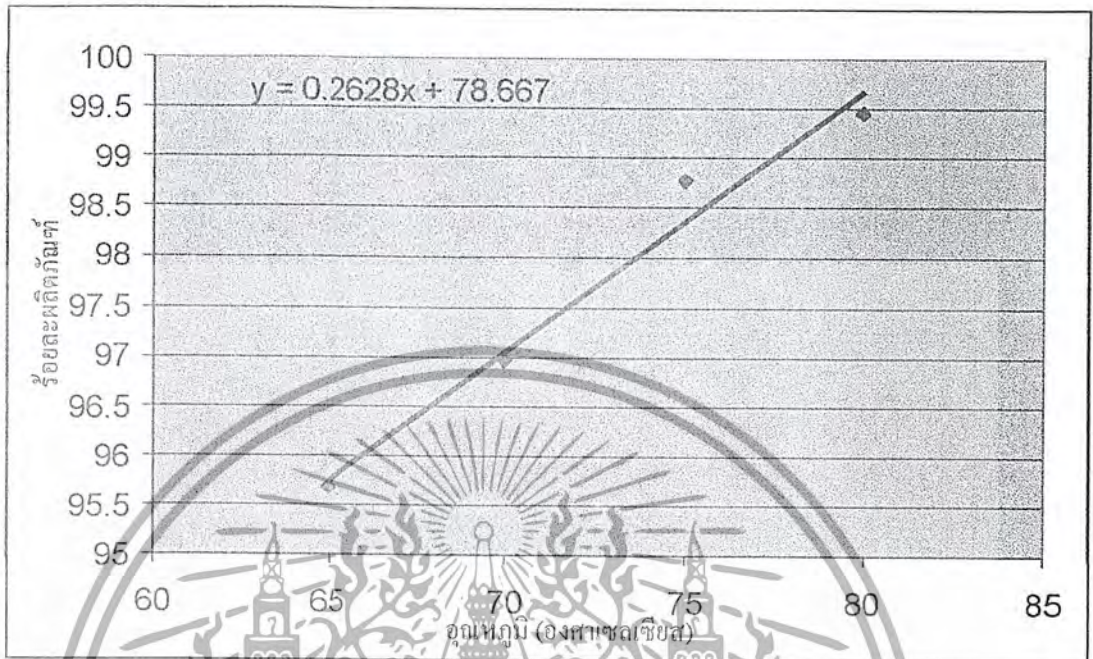
1. จากการทดลองที่ผ่านมา อัตราการไหลรวมของเมทิลเอสเทอร์จากเครื่องปฏิกรณ์ 0.33 มิลลิลิตรต่อวินาที ( 20 มิลลิลิตรต่อนาที ) ให้เมทิลเอสเทอร์ที่มีความหนืดน้อยกว่าที่ อัตราการไหลรวมของเมทิลเอสเทอร์จาก 0.5 มิลลิลิตรต่อวินาที และ 0.67 มิลลิลิตรต่อวินาที ในการทดลองนี้จึงเลือกอัตราการไหลของเมทิลเอสเทอร์ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ เป็น 0.33 มิลลิลิตรต่อวินาที
2. อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา 65 70 75 และ 80 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ เท่ากับ 4.98 4.84 4.65 และ 4.58 เซนติสโตคตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นน้ำมันปาล์มจะมีความหนืดลดลง ทำให้การผสมกับสารละลายเมทานอล ในห้องผสม (Mixing Chamber) ดีขึ้นจึงเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าความหนืดลดลง
3. อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา 65 70 75 และ 80 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของเมทิลเอสเทอร์ 95.68 96.97 98.77 และ 99.46 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเมทิลเอสเทอร์มีความหนืดต่ำจะให้ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์มาก แสดงว่ามีปริมาณน้ำมันปาล์มที่ไม่ได้เข้าทำปฏิกิริยาในถัง หรือหมายถึงเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์
4. จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิได้



รูปที่ 6.1 กราฟความหนืดและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิได้ดังนี้



รูปที่ 6.2 กราฟร้อยละผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิ

6. จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้ค่าความหนืดต่ำที่สุดและให้ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์เพิ่มมากที่สุด เมื่ออุณหภูมิที่ทำการปฏิริยาสูงขึ้นความหนืดของน้ำมันปาล์มที่เข้าทำปฏิริยามีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่าสูงขึ้น เกิดการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้การผสมระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทานอลเกิดได้ดีขึ้น
7. เนื่องจากการวัดอัตราการไหลของเมทิลเอสเทอร์บนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ทำได้ยาก ในการเดินเครื่องจึงปรับอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มเพียงอย่างเดียวให้มีค่า 0.28 มิลลิลิตรต่อวินาที และที่ทางออกของเครื่องปฏิกรณ์ให้มีอัตราการไหล 0.33 มิลลิลิตรต่อวินาที
8. การแยกด้วยกรวยแยกไม่สามารถแยกสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่กลีเซอรอลออกมาได้ ดังนั้นในเมทิลเอสเทอร์อาจมีสารอื่นปนออกมาด้วย เช่น น้ำมันที่เกิดจากการทำปฏิริยาไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลถึงค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ เนื่องจากน้ำมันเมื่อผสมกับเมทิลเอสเทอร์จะผสมกันเป็นสารเนื้อเดียวไม่สามารถแยกด้วยกรวยแยกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการเตรียมของผสม ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอล เมื่อซังสารไม่ควรทิ้งโซเดียมไฮดรอกไซด์ไว้ในอากาศเป็นเวลานาน เพราะโซเดียมไฮดรอกไซด์จะดูดความชื้นจากอากาศอย่างรวดเร็ว ทำให้เวลาทำการทดลองอาจเกิดสปูขึ้น
2. ในการเดินเครื่องการเปิดปั๊มทั้ง 2 ตัว ต้องตั้งให้ความถี่ในการฉีดสารเข้าเท่ากันแล้วปรับอัตราการไหลโดยการปรับช่วงชัก
3. ในการทดลองไม่ควรมีน้ำเข้ามาร่วมในปฏิกิริยาด้วยเพราะจะทำให้เกิดสปูได้
4. ต้องทำความสะอาดเครื่องปฏิกรณ์ทุกครั้งหลังจากทำการทดลอง เพราะจะทำให้เกิดการอุดตันขึ้น
5. ควรทิ้งเมทิลเอสเทอร์ให้แยกชั้นสมบูรณ์เป็นเวลา 1 คืนแล้วจึงทำการแยกกลีเซอรอลออก
6. ถ้าที่ชั้นล่างของผลิตภัณฑ์แข็ง ไม่สามารถไขแยกออกมาได้ ให้จุ่มลงในน้ำร้อนอุณหภูมิอย่างน้อย 50 องศาเซลเซียส จะทำให้สามารถไขกลีเซอรอลออกมาได้
7. ในการล้างเมทิลเอสเทอร์ไม่ควรเขย่าเพราะจะทำให้เกิดสปู ควรเทน้ำร้อนเบาๆ
8. ควรมีการพัฒนาห้องผสม (Mixing Chamber) ให้มีปริมาตรเล็กกว่านี้เพื่อให้น้ำมัน และเมทานอลมีโอกาสสัมผัสกันมากขึ้น
9. เปลี่ยนหัวฉีดให้มีลักษณะเป็นหัวฉีดแบบฝอยเพื่อให้น้ำมันป่าลัมและสารละลายเมทานอลผสมกันจนเกิดปฏิกิริยา ได้ดีขึ้น

## 6.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อจัดอัตราการไหลของสารผสม เท่ากับ 0.33 มิลลิลิตรต่อวินาที หรือ 20 มิลลิลิตรต่อนาที จะสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้ในเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากเริ่มเดินเครื่อง เมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีอัตราสูงสุดคือร้อยละผลิตภัณฑ์ 99.46 หรือมีความหนืด 4.58 เซนติสโตก

## บรรณานุกรม

- [1] กองบรรณาธิการ.2544 “ไบโอดีเซลจะเป็นพลังงานทางเลือกของไทยหรือไม่” .เทคนิค 200
- [2] คณะกรรมาธิการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร.2545 “พลังงานทดแทนเอทานอล และไบโอดีเซล”: แพลนพรีนที่ตึง
- [3] บุญชู ภัทร โสภาคย์ และ เอกพิชญ์ ทรงคุณ.2546 “การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเล็ก.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] ป๋วย อุ่นใจและ สยาม ภพลือชัย.2001 “ไบโอดีเซล เชื้อเพลิงชีวภาพแห่งยุคสมัย” . [online]. Available : <http://update.sc-ed.com> .
- [5] มนตรี พิรุณเกษตร.2545 “กลศาสตร์ของไหล” :วิทยานิพนธ์
- [6] มุกิตา ชันบุรพา.ลักษณะสัคดิ์ พอลิเมอร์และ คัญงนา บุญเกียรติ.2545 “ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช 3 ชนิด” วารสารวิทยาศาสตร์ ปีที่ 56 .ฉบับที่ 2.
- [7] วิชา หมั่นทำการ. 2545 “การผลิตและทดสอบน้ำมันดีเซล” วิศวกรรมสารมก. ปีที่16 .ฉบับที่47
- [8] วิศิษฎ์ จาตุรมาณ,ขวัญชัย สันทิษาธมบุรณ์. “กลศาสตร์ของไหล” แผนกวิชาช่างยนต์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ.กรุงเทพฯ:ซีเอ็ด ยูเคชั่น
- [9] สมศักดิ์ กীরตวุฒิเศรษฐ์.2543 “หลักและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม”. พิมพ์ครั้งที่ 15”. กรุงเทพฯ:ส.ส.ท.
- [10] สำนักงานคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน. “ดีเซลจากพืช ทางเลือกใหม่ของพลังงาน”. [online].Available : <http://www.doeb.go.th/dbd/knowledge/bio-diesel2.htm>. 2003
- [11] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, “สถิติการผลิตพืชน้ำมันในประเทศไทย” . [online].Avaliable : <http://oae.go.th>
- [12] อาณัติ ประภาสวัตดี.2545 “ไบโอดีเซล.” ไอเอฟซีทีรีวิว ปีที่21 .ฉบับที่11,หน้า15-17
- [13] Adam Karl KHAN, “ Biodiesel ” .[online].Available : <http://www.cheque.uq.edu.au/ugrad>
- [14] ASTM International , “ ASTM D88 ” .[online].Available : <http://www.astm.org/cgi-bin>
- [15] Fangrui ,Ma and Milford and A. Hanna.1999 “Biodiesel production:review”. Bioresource Technology:Elsevier Science B.V
- [16] Graham Solomons and Craig Fryhle. 2000 “Organic Chemistry”.7<sup>th</sup> ed.USA :John Wiley & Sons
- [17] McCabe Smith Harriott. 2001 “ Unit Operations of Chemical Engineering” .6<sup>th</sup> ed.Singapore: McGraw-Hill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [18] N Hamby, M.F. Edwards and A.W. Nichow. 2000 “**Mixing in The Process industries**” .2<sup>nd</sup>  
ed :Butterworth –Heinemann
- [19] Robert, H.Perry and Don, W. Green. 1997 “ **Perry’s Chemical Engineering’ Handbook**” .7<sup>th</sup>  
ed.Australia : McGraw-Hill



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

### การคำนวณ

#### 1. การคำนวณหาน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

ในการทดลองใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม

ดังนั้นถ้าในการทดลอง ใช้ น้ำมันปาล์ม 1000 มิลลิลิตรหนัก 888.89 กรัม

ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์  $(0.5 \times 888.89)/100$  เท่ากับ 4.44 กรัม

ในการทดลองใช้เมทานอลในอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล 5:1 โดยปริมาตร ดังนั้น

น้ำมันปาล์ม 1000 มิลลิลิตรใช้เมทานอล 200 มิลลิลิตร

น้ำมันปาล์ม 1000 มิลลิลิตรใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.44 กรัม

ถ้าเมทานอล 1000 มิลลิลิตรใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์  $(4.44 \times 1000)/200 = 22.22$  กรัม

#### 2. การหาค่าความหนืด

สมการที่ใช้ในการคำนวณ[3] คือ ค่าความหนืด (cSt) =  $(0.226 \times t) - (195/t)$

t คือ เวลา(วินาที)

โดยจากการวัดความหนืด 2 ครั้งนำค่ามาหารเฉลี่ยจะได้ค่าตามตารางที่ 2

เช่น ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลาที่ได้จากการวัดความหนืดคือ 42.13 วินาที

ค่าความหนืด (cSt) =  $(0.226 \times 42.13) - (195/42.13)$

= 4.89 cSt

ตารางที่ ก.1 การคำนวณหาค่าความหนืด

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	เวลา(วินาที)	ความหนืด(เซนติสโตค)
65	42.09	4.88
	42.68	5.08
70	42.13	4.89
	41.81	4.79
75	41.46	4.67
	41.36	4.63
80	40.96	4.50
	41.45	4.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การหาค่าร้อยละผลิตภัณฑ์

สมการที่ใช้ในการคำนวณคือ [3]

$$\text{ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์} = -45.097 \ln(\text{ความหนืด}) + 168.08$$

เช่น ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned}\text{ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์} &= (-45.097 \times \ln 4.84) + 168.08 \\ &= 96.96\end{aligned}$$

ผลการคำนวณแสดงตามตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 การคำนวณค่าร้อยละผลิตภัณฑ์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความหนืด(เซนติสโตค)	ร้อยละ
65	4.98	95.68
70	4.84	96.97
75	4.65	98.77
80	4.58	99.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

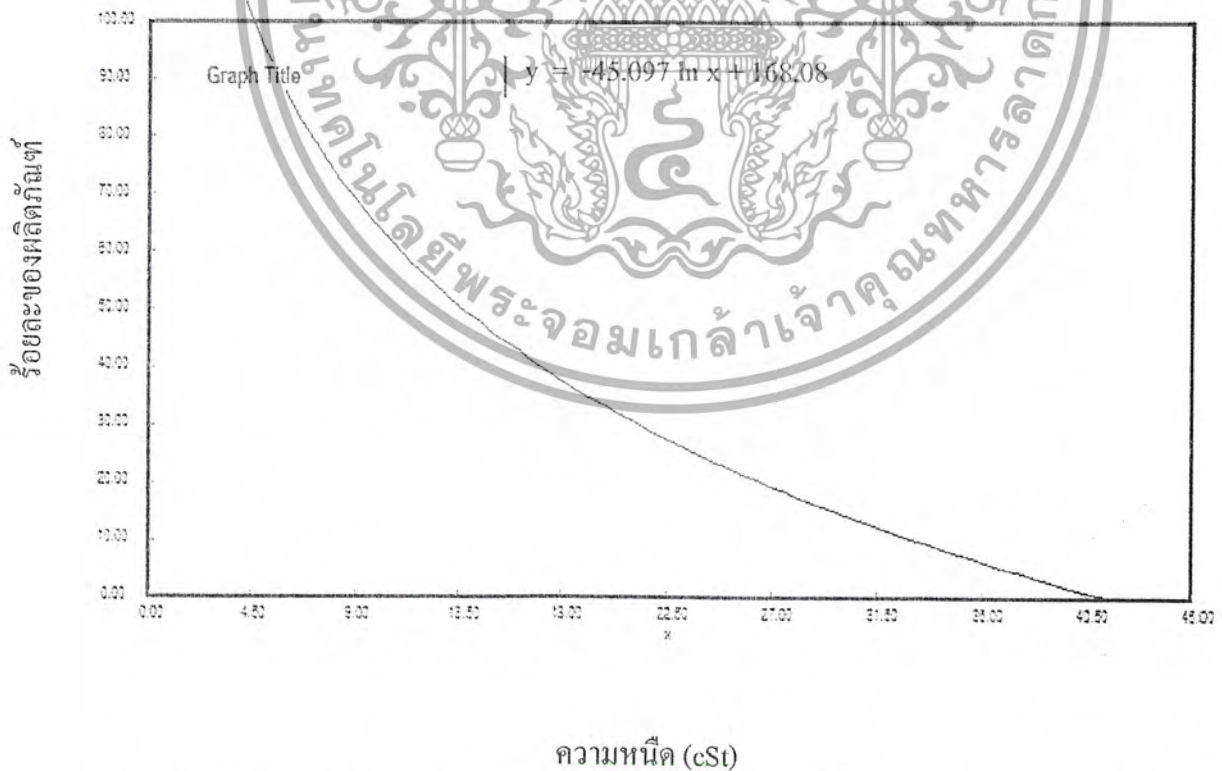
ตารางและกราฟ

1. ตารางค่าความร้อนจำเพาะของเมทานอล

ตารางที่ ข.1 ตารางค่าความร้อนจำเพาะของเมทานอล

เปอร์เซ็นต์โมลของเมทานอล	ค่าความร้อนจำเพาะ (แคลลอรี่ต่อกรัมต่อองศาเซลเซียส)		
	ที่ 5°C	ที่ 20°C	ที่ 40°C
5.88	1.02	1	0.995
12.3	0.975	0.982	0.98
27.3	0.877	0.917	0.92
45.8	0.776	0.811	0.83
69.6	0.681	0.708	0.726
100	0.576	0.6	0.617

2. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลิตภัณฑ์ของเมทิลเอสเทอร์กับค่าความหนืด



รูปที่ ข.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลิตภัณฑ์ของเมทิลเอสเทอร์กับค่าความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

# การหาค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์โดยมาตรฐาน ASTM

### อุปกรณ์การหาค่าความหนืด

1. เครื่องวัดความหนืด (Saybolt Viscometer)
2. บีกเกอร์
3. ถ้วยวัดปริมาตรขนาด 60 มิลลิลิตร
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เมทิลเอสเทอร์

### วิธีการหาค่าความหนืด

1. เปิดสวิตช์ของเครื่องวัดความหนืดหลังจากได้เติมน้ำมันลงในถังบรรจุน้ำมัน เปิดสวิตช์ไฟที่ให้แสงสว่างที่ด้านขวาของสวิตช์เปิดเครื่อง
2. ตั้งค่าอุณหภูมิถังบรรจุน้ำมัน ให้ได้ตามที่ต้องการ หลังจากนั้นปล่อยให้ถังบรรจุน้ำมันมีอุณหภูมิคงที่
3. ใช้จุกคอรัคคุดที่ปากทางออกของหลอดบรรจุน้ำมันของเหลวของเครื่องวัดความหนืดเซโบลด์
4. เติมน้ำมันที่ตรงกลางหลอดในปริมาณ 60 มิลลิลิตร ลงในหลอด
5. ปล่อยให้อุณหภูมิของเหลวที่ต้องการวัดมีค่าเท่ากับน้ำมันในถัง (ใช้เวลาประมาณ 25 นาที)
6. ดึงจุกคอรัค (โดยใช้ไซ้ตั้ง) ของหลอดบรรจุน้ำมันทันทีและเริ่มจับเวลาโดยนาฬิกาจับเวลา
7. เมื่อของเหลวที่ต้องการวัดมีปริมาณถึงจุดที่กำหนด (60 มิลลิลิตร) หยุดเวลา
8. จดเวลาที่ได้อ่าน และทำซ้ำอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้