

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง



หม.  
ค 1451  
ค 25

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 50257  
วัน,เดือน,ปี 28 เม.ย. 2547

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

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS OF BIODIESEL IN TWO COUNTERCURRENT REACTORS**



**A REPORT SUMMITTED IN FOLFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2002**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์  
แบบสวนทาง 2 เครื่อง

โดย

นายขรรยง วารินทร์ เลขประจำตัว 42010598  
นายวัฒนชัย เขาวรัตน์ เลขประจำตัว 42010618

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

กรรมการ

(ดร.ดวงกมล ณ ระนอง)

กรรมการ

(อาจารย์สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์  
แบบสวนทาง 2 เครื่อง

โดย

นายบรรยง วารีนิต เลขประจำตัว 42010598  
นายวัฒนชัย เขาวรัตน์ เลขประจำตัว 42010618

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะเบื้องต้นในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชแบบสวนทางโดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชกับเมทานอลเพื่อให้ได้น้ำมันที่มีความหนืดต่ำ สำหรับปัจจัยที่ศึกษาคือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล และอุณหภูมิ โดยปริมาณของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำมันพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพคือ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล และอุณหภูมิ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาครั้งนี้คือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล เท่ากับ 1 ต่อ 6 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล เท่ากับ 1 ต่อ 4.5 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

Report Title                    Synthesis of Biodiesel in Two Countercurrent Reactors  
By                                    Mr.Yunyong            Wareenin    ID.NO. 42010598  
    Mr.Wattanachai    Yaowarat    ID.NO. 42010618  
Advisor                         Assoc.Prof.Dr. Prakob    Kitchaiya  
Report for                        Bachelor Degree of Engineering (Chemical Engineering),  
    Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,  
    King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

This research presents the study of the elementary conditions for biodiesel synthesis in a countercurrent mode carried out through the transesterification of vegetable oils with methanol in the presence of potassium hydroxide as an alkaline catalyst to lower the biodiesel's viscosity. The parameters were oil-to-methanol molar ratios and temperature with the amount of potassium hydroxide used at 0.3% by weight of vegetable oils. It was found that oil-to-methanol molar ratios and temperature had effect on the biodiesel's viscosity. The good conditions for biodiesel synthesis in this study were 1:6 oil-to-methanol molar ratio at 45 °C and 1:4.5 oil-to-methanol molar ratio at 60 °C.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย  
คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ และ คุณธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรม  
เคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความ  
ช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์ในการทดลอง

คุณชัชวีร์ ไทยสุชาติ และนักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรม  
ศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำดี ๆ และคำปรึกษา  
โดยตลอด

ดร.ดวงกมล ณ ระนอง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำในการเขียนปริญญานิพนธ์

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษา ถ้ามี  
สิ่งผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูปภาพ.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการทำงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ไขมันและน้ำมัน.....	3
2.2 น้ำมันดีเซล.....	8
2.3 น้ำมันดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชและสัตว์.....	11
2.4 การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง.....	15
บทที่ 3 การทดลอง.....	16
ตอนที่ 1 การหาวิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว.....	16
ตอนที่ 2 การศึกษากระบวนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่องจากน้ำมันพืชใหม่.....	17
ตอนที่ 3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง.....	21
ตอนที่ 4 การหาความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	23
4.1 ผลการทดลองการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยวิธีต่าง ๆ.....	23
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว.....	25
4.3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	30
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	30
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	30
เอกสารอ้างอิง.....	32
ภาคผนวก.....	33
ภาคผนวก ก สมบัติของน้ำมันที่ใช้ในการทำการทดลอง.....	34
ภาคผนวก ข การหากรดไขมันอิสระ ในน้ำมันพืช.....	35
ภาคผนวก ค การหาค่าความหนืด.....	37
ภาคผนวก ง การคำนวณปริมาณเมทานอลในของเหลวชั้นต่าง.....	38
ภาคผนวก จ ปริมาณของเมทานอลในของเหลวชั้นล่าง.....	40



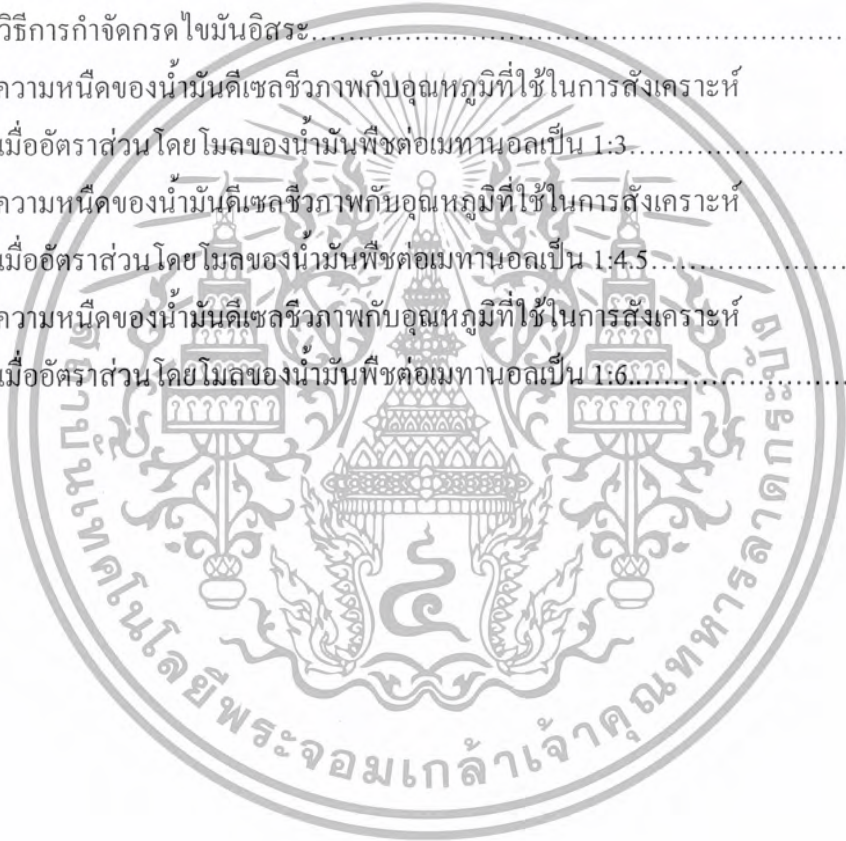
## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของกรดไขมันบางชนิด.....	4
ตารางที่ 2.2 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันหรือน้ำมันบางชนิด.....	5
ตารางที่ 2.3 ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้า.....	10
ตารางที่ 2.4 สมบัติบางประการของน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	11
ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับของการทดลอง.....	21
ตารางที่ 3.2 การจัดกลุ่มการทดลอง.....	21
ตารางที่ 4.1 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ในการทดลองชุดต่าง ๆ.....	27
ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในการทดลองการลดปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	34
ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในการตั้งคราสน้ำมันดีเซลชีวภาพ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง.....	34
ตารางที่ ข.2 ปริมาณน้ำมัน ปริมาณของเมทานอลและความเข้มข้นของสารละลายต่างที่ใช้.....	36
ตารางที่ จ.1 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 1.....	40
ตารางที่ จ.2 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 2.....	40
ตารางที่ จ.3 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 3.....	41
ตารางที่ จ.4 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 4.....	41
ตารางที่ จ.5 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 5.....	42
ตารางที่ จ.6 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 6.....	42
ตารางที่ จ.7 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 7.....	43
ตารางที่ จ.8 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 8.....	43
ตารางที่ จ.9 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 9.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปลูกภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	19
รูปที่ 3.2 การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง.....	19
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง.....	20
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกรดไขมันอิสระกับ วิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระ.....	26
รูปที่ 4.2 ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพกับอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:3.....	28
รูปที่ 4.3 ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพกับอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:4.5.....	28
รูปที่ 4.4 ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพกับอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:6.....	29



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา [11]

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นมาก โดยในปี 2543 มีการนำเข้าน้ำมันดิบสูงถึงวันละ 674,978 บาร์เรลต่อวัน คิดเป็นมูลค่าถึง 285,862 ล้านบาท อันเนื่องมาจากภาวะราคาน้ำมันผันผวนทั่วโลก หลายประเทศได้รับความเดือดร้อน จึงได้มีการคิดหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทน เพื่อการผ่อนคลายปัญหาที่เกิดขึ้น มีการพัฒนาใช้ประโยชน์จากผลผลิตการเกษตรในรูปแบบต่างๆ เช่น การผลิตแก๊สโซฮอล ตลอดจนการผลิตไบโอดีเซลหรือน้ำมันดีเซลชีวภาพ ทั้งนี้เพื่อเป็นการนำทรัพยากรมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า เป็นการรักษาเงินตราภายในประเทศ และสร้างความมั่นคงให้แก่ประเทศชาติ

น้ำมันดีเซลมีบทบาทอย่างมากในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ และในอนาคตพลังงานไฟฟ้าจะมีบทบาทมากขึ้น แต่การใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพก็เป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งจะช่วยทดแทนน้ำมันดีเซลที่อาจหมดลงได้ โดยมีการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลในปี พ.ศ. 2425 แต่ไม่เป็นที่นิยมมากนัก

น้ำมันพืชยังคงมีราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันพืชที่ใช้แล้วสามารถนำมาสังเคราะห์เป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพและได้มีการศึกษาต่อมา ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า แทนที่จะนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วไปทิ้งเป็นของเสีย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญาานิพนธ์

1. สังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา
3. ศึกษาสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากการสังเคราะห์
4. ศึกษาวิธีการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. หาปริมาณกรดไขมันอิสระจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว
2. สังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชโดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชใหม่โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง
3. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชโดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่องโดยมีตัวแปรคือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล และอุณหภูมิ
4. วิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้เทียบกับน้ำมันดีเซล

### 1.4 ขั้นตอนการทำงาน

1. ค้นคว้ารวบรวม และศึกษาข้อมูล
2. ทำการทดลองสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืช
4. ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง
3. โดยมีตัวแปรคืออัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล และอุณหภูมิ
4. วิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันพืช

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่องโดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมัน
3. ทราบวิธีการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไขมันและน้ำมัน [8]

ไขมันและน้ำมัน เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ทั้งไขมันและน้ำมันเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอริน โดยไขมัน (Fat) เป็นของแข็งและน้ำมัน (Oil) เป็นของเหลว ที่อุณหภูมิ 25°C หน้าที่ที่สำคัญของไขมันและน้ำมันคือ เป็นโครงสร้างที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์เป็นแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิต การเผาผลาญไขมันอย่างสมบูรณ์จะให้พลังงานประมาณ 9.0 กิโลแคลอรีต่อกรัมในขณะที่คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ให้พลังงาน 4 และ 4.2 กิโลแคลอรีต่อกรัมตามลำดับ นอกจากนี้ไขมันยังเปรียบเสมือนนมป้องกันอวัยวะภายในของสัตว์ต่าง ๆ อีกด้วย ไขมันและน้ำมันถ้ารับประทานมากเกินไปเกินความต้องการของร่างกายส่วนที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นไขมันสะสมไว้ในร่างกาย ไขมันและน้ำมันพบได้ทั้งในสัตว์และพืชในสัตว์พบในไขมัน สัตว์ซึ่งสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน เช่น ไขมันวัว ส่วนในพืชมักพบในผลและเมล็ด เช่น มะพร้าว ปาล์ม ถั่วเหลือง เมล็ดฝ้าย เมล็ดทานตะวัน ไร่ข้าว เป็นต้น

#### กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ประเภทหนึ่งที่มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชันเหมือนกรดอินทรีย์ทั่ว ๆ ไป แต่ในโมเลกุลของกรดไขมันมีหมู่คาร์บอกซิลเพียง 1 หมู่ต่ออยู่กับสายของไฮโดรคาร์บอนแบบไม่มีกิ่งที่อิมตัว หรือไม่อิมตัวก็ได้ กรดไขมันจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันอิมตัวและกรดไขมันไม่อิมตัว

กรดไขมันอิมตัวคือกรดไขมันที่โมเลกุลมีจำนวนไฮโดรเจนอะตอมอยู่เต็มทีหรือพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดไขมันชนิดนี้มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n+1}COOH$  เมื่อ  $n$  คือ เลขจำนวนเต็มใด ๆ ที่มีค่ามากและเป็นเลขคี่ (แต่จำนวนคาร์บอนทั้งหมดเป็นเลขคู่) เช่น 11,13,15,17... ตัวอย่างกรดไขมันอิมตัวเช่น กรดลอริก ( $C_{11}H_{23}COOH$ ) กรดปาล์มมิติก ( $C_{15}H_{31}COOH$ ) กรดสเตียริก ( $C_{17}H_{35}COOH$ ) เป็นต้น

กรดไขมันไม่อิมตัว คือกรดไขมันที่ไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยพันธะคู่ตั้งแต่ 1 พันธะขึ้นไป และตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างของกรดไขมันไม่อิมตัวเช่น กรดโอเลอิก ( $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$ ) เป็นต้น

กรดไขมันที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ คือประมาณ 14-22 อะตอม แต่ที่พบมากเป็นกรดไขมันที่มีคาร์บอน 16 หรือ 18 อะตอม กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือ ปาล์มมิติก รองลงมาคือ กรดสเตียริก ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือ กรดโอเลอิก ชนิดของกรดไขมันต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของกรดไขมันบางชนิด

กรดไขมัน	สูตรโครงสร้างอย่างย่อ	จุดหลอมเหลว (° C)	จำนวนพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน	ตัวอย่างแหล่งที่พบ
ก.กรดไขมันอิ่มตัว				
กรดลอริก (Lauric acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44.2	-	น้ำมันมะพร้าว
กรดไมริสติก (Myristic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	53.9	-	น้ำมันมะพร้าว, ลูกจันทร์เทศ
กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	63.1	-	น้ำมันปาล์ม, ไขมันสัตว์
กรดสเตียริก (Stearic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69.6	-	ไขมันพืชและสัตว์
กรดอะราซิดิก (Arachidic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	76.5	-	น้ำมันถั่วลิสง
ข.กรดไขมันไม่อิ่มตัว				
กรดปาล์มมิตอเลอิก (Palmitoleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-0.5	1	ไขมันพืชและสัตว์
กรดโอเลอิก (Oleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13.4	1	ไขมันพืชและสัตว์
กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	-5	2	น้ำมันพืช
กรดไลโนเลนิก (Linolenic acid)	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-11	3	น้ำมันพืช
กรดอะราซิดอนิก (Arachidonic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-49.5	4	ไขมันสัตว์

ไขมันซึ่งเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ไขวัว เป็นเอสเทอร์ที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ส่วนน้ำมันซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว เป็นเอสเทอร์ที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

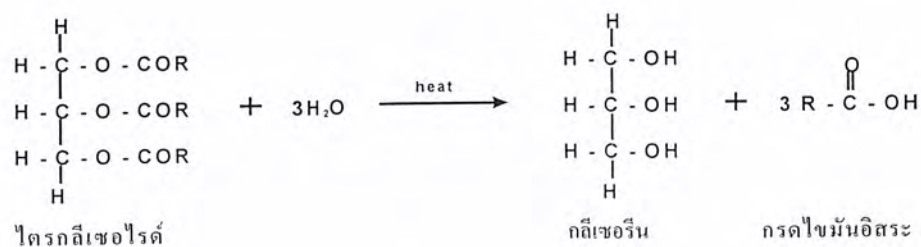
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดประกอบด้วยกลีเซอรินเหมือนกัน แต่กรดไขมันแตกต่างกัน คุณสมบัติของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดจึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เช่น กรดไขมันชนิดอิ่มตัว มีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว หรือกรดไขมันที่มีมวลโมเลกุลมากกว่ามีจุดหลอมเหลวสูงกว่า จึงทำให้ไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าน้ำมัน หรือไขมันและน้ำมันใดที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในเปอร์เซ็นต์สูงหรือประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนมาก (มวลโมเลกุลมาก) จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมัน และน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในเปอร์เซ็นต์สูงหรือประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนน้อย (มวลโมเลกุลน้อย) ตัวอย่างกรดไขมันในไขมันหรือน้ำมันบางชนิดอยู่ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันหรือน้ำมันบางชนิด

ไขมันหรือน้ำมันกรด	ไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (ร้อยละ)				
	ชนิดอิ่มตัว			ชนิดไม่อิ่มตัว	
	กรดไมริสติก	กรดปาล์มิติก	กรดสเตียริก	กรดโอเลอิก	กรดไลโนเลอิก
ไขมันสัตว์					
เนย	8-15	25-29	9-12	18-33	2-4
น้ำมันหมู	0.1-1	25-30	12-18	48-60	6-12
ไขมันวัว	2-5	24-34	15-30	35-45	1-3
น้ำมันพืช					
น้ำมันมะกอก	0-1	5-15	1-4	67-84	8-12
น้ำมันข้าวโพด	1-2	7-11	3-4	25-35	50-60
น้ำมันถั่วเหลือง	1-2	6-10	2-4	20-30	50-58

น้ำมันหรือไขมันเมื่อแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid ; FFA) จะมีสมบัติเป็นกรด ซึ่งทำให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะมีความเป็นกรดมากกว่าน้ำมันพืชที่ยังไม่ได้ใช้ เพราะทำให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วหรือผ่านการให้ความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดกรดไขมันอิสระขึ้น ดังปฏิกิริยานี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ จึงจำเป็นต้องทราบปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อจะได้ทราบปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นค่าที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ

### สมบัติและปฏิกิริยาของไขมันและน้ำมัน

1. ไขมันมีจุดหลอมเหลว และจุดเดือดสูงกว่าน้ำมัน เพราะในไขมันประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากกว่าในน้ำมัน นอกจากนั้นทั้งไขมันและน้ำมันจะมีจุดหลอมเหลว และจุดเดือดสูงขึ้น ถ้ากรดไขมันในโมเลกุลมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้น

2. ไขมันและน้ำมันไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ หรือตัวทำละลายที่โมเลกุลไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน เบนซีน อีเทอร์ เป็นต้น เพราะปลายทั้งสองข้างของโมเลกุลของไขมันและน้ำมันไม่มีขั้ว

3. ไขมันและน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว สามารถเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับธาตุแฮโลเจน เช่น  $\text{Br}_2$  และ  $\text{I}_2$  ได้ในที่มืด (สามารถฟอกสีของโบรมีนและไอโอดีนได้) ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันใดที่เกิดปฏิกิริยารวมตัวกับธาตุแฮโลเจนได้ แสดงว่ามีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมอยู่ในโมเลกุล ถ้ารวมตัวกับธาตุแฮโลเจนได้ในปริมาณมาก แสดงว่ามีพันธะคู่มาก หรือประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่มาก

4. น้ำมันซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว สามารถเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับไฮโดรเจนเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา การรวมตัวจะเกิดที่ตำแหน่งพันธะคู่ ระหว่างคาร์บอน ทำให้พันธะคู่ระหว่างคาร์บอนลดลงเป็นผลให้น้ำมันนั้นมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น จึงทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการทำเนยเทียม

5. ไขมันและน้ำมันเมื่อเก็บไว้นานๆ จะมีกลิ่นเหม็นหืน สาเหตุของการเหม็นหืนเกิดจาก

5.1 ไขมันหรือน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจน(เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน) โดยออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันหรือน้ำมัน เกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียรจะสลายตัวต่อไปกลายเป็นกรดไขมันและแอลดีไฮด์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กกระเหยได้ง่าย และมีกลิ่นเหม็นหืน ไขมันหรือน้ำมันที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนมากจะยิ่งเหม็นหืนได้ง่าย ในธรรมชาติปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีเมื่อไขมันหรือน้ำมันสัมผัสกับอากาศ และมีความร้อนหรือแสง

5.2 เกิดจากไขมันหรือน้ำมันทำปฏิกิริยากับน้ำ(เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส)โดยมีเอนไซม์จากจุลินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดกรดไขมันอิสระที่มีกลิ่นเหม็น

ถ้าพิจารณาโครงสร้างไขมันหรือน้ำมันจากสัตว์และจากพืช ไขมันและน้ำมันจากสัตว์ควรเหม็นหืนยากกว่า เนื่องจากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า แต่ในความเป็นจริงปรากฏว่าไขมันหรือน้ำมันจากสัตว์ กลิ่นเหม็นหืนได้ง่ายกว่าน้ำมันพืช เนื่องจากในน้ำมันพืชมีสารป้องกันการเหม็นหืน สารป้องกันการเหม็นหืนที่มีอยู่โดยธรรมชาติในน้ำมันพืชคือวิตามินอี ซึ่งวิตามินอีนี้จะทำหน้าที่ต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนที่อยู่ในโมเลกุลน้ำมันพืช

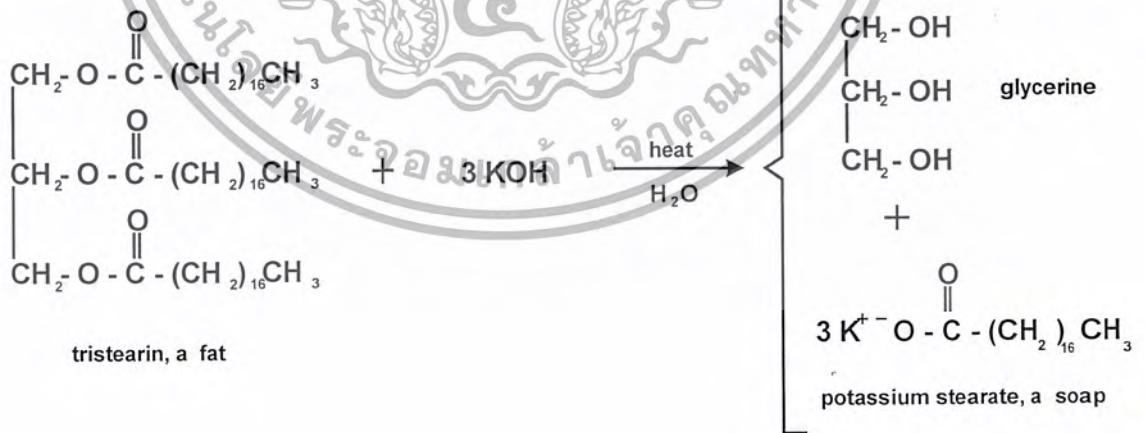
6. ไขมันหรือน้ำมันเมื่อถูกย่อยโดยเอนไซม์ไลเปส (ทำปฏิกิริยาโดยมีเอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) หรือทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดได้กลีเซอรินและกรดไขมัน

7. ไขมันหรือน้ำมันเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)จะได้กลีเซอรินและเกลือของกรดไขมัน(สบู่) เรียกปฏิกิริยานี้ว่า สaponification (Saponification)

8. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่จะกล่าวถึงต่อไป

**ปฏิกิริยาสaponification [3]**

ปฏิกิริยาสaponification คือ ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสบู่ เกิดจากการเกิดไฮโดรไลซิสของกรดไขมัน จากนั้นทำปฏิกิริยากับ เบส ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งปฏิกิริยาเป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 น้ำมันดีเซล [4]

น้ำมันดีเซลคือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มพาราฟินซึ่งเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันที่ระเหยช้าโดยมีจุดเดือดอยู่ในช่วง 150 ถึง 360 องศาเซลเซียส สามารถจุดระเบิดได้เองด้วยการอัด ในปัจจุบันน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์หมุนเร็ว หรือที่เป็นที่รู้จักกันในชื่อต่างๆ เช่น Automotive Diesel Oil (ADO) , Gas Oil หรือน้ำมันโซล่า น้ำมันดีเซลชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูงกว่า 1,000 รอบต่อนาที เช่น รถกระบะ รถบรรทุก และรถโดยสาร เป็นต้น

2. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์หมุนช้า หรืออาจมีชื่อเรียกที่ต่างกันไป เช่น Industrial Diesel Oil (IDO) หรือน้ำมันซีโล้ เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบปานกลางหรือรอบต่ำ เช่น เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในรถขุดเคลื่อนที่เร็วเดินทะเล และการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซลมีดังต่อไปนี้

1. ค่าความหนืด เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความต้านทานในตัวต่อการไหลของน้ำมัน คือ น้ำมันที่มีความหนืดน้อยจะไหลได้ง่าย แต่น้ำมันที่มีความหนืดมากกว่าจะไหลได้ยากกว่า ความหนืดมีผลกระทบต่อระบบการฉีดน้ำมันและยังมีส่วนในการหล่อลื่นปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงอีกด้วยโดยน้ำมันที่มีความหนืดมากเกินไปจะทำให้ละอองน้ำมันที่ฉีดออกไปไม่กระจายเท่าที่ควร แต่หากน้ำมันมีความหนืดน้อยเกินไปก็จะไม่เพียงพอต่อการหล่อลื่น

2. ค่าซีเทน เป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพในการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง กล่าวคือเป็นค่าบอกระดับความสามารถในการจุดระเบิดและการลุกติดไฟได้เร็ว ยิ่งค่าซีเทนมีค่าสูงเท่าใดก็ยิ่งจะมีช่วงเวลาความล่าช้าในการจุดระเบิดสั้นลงและทำให้มีปริมาณของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการจุดระเบิดมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนที่สูงกว่าจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันที่น้อยกว่า และทำให้ควบคุมการเผาไหม้ได้ดีกว่า นอกจากนั้นยังเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์เนื่องจากมีช่วงเวลาความล่าช้าในการจุดระเบิดสั้นทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมในห้องเผาไหม้จะลดลงก่อนถึงการลุกติดไฟ และยังลดปริมาณการปล่อยไฮโดรคาร์บอนและก๊าซจําพวกไนโตรเจนออกไซด์ได้อีกด้วย นอร์มัลเฮกซะเดเคน(ซีเทน) ซึ่งสามารถติดไฟได้ง่ายได้ถูกกำหนดให้มีค่าซีเทนเป็น 100 และให้เฮปตะเมทิลโนเนนที่ติดไฟยากมีค่าซีเทนเป็น 15 ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนสูงก็จะมีความสามารถในการต้านการน็อคของเครื่องยนต์ที่มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ดัชนีซีเทน เป็นค่าประมาณสำหรับค่าซีเทน เนื่องจากการหาค่าซีเทนต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลพิเศษ โดยเฉพาะในการเปรียบเทียบคุณภาพในการจุดระเบิดกับเชื้อเพลิงมาตรฐานซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายสูงและสิ้นเปลืองเวลา จึงได้มีการประมาณค่าซีเทนด้วยดัชนีซีเทนซึ่งสามารถคำนวณได้จากการวัดค่าความถ่วงเอพีไอ และอุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์

4. จุดวาบไฟ เป็นอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงที่ได้รับความร้อนซึ่งจะเกิดส่วนผสมของไอน้ำมันและอากาศที่ติดไฟได้เหนือผิวหน้าของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อน้ำมันเป็นตัวต่อ จุดวาบไฟมีความสำคัญในการขนส่งและการสำรองเชื้อเพลิงในแง่ของอันตรายจากอัคคีภัย นอกจากนี้ น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำยังก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเนื่องจากจะมีการระเหยเมื่อไปเกาะอยู่ตามผนังกระบอกสูบ

5. อุณหภูมิการกลั่น เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการระเหยของน้ำมัน มีผลต่อเครื่องยนต์ดังนี้

5.1 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แสดงถึงความยากง่ายในการติดเครื่องยนต์ ยิ่งมีค่ามากเครื่องยนต์จะยิ่งติดยาก

5.2 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นจุดที่ทำให้การอุ่นเครื่องยนต์ทำได้เร็ว การกระจายไอน้ำมันไปยังกระบอกสูบต่างๆ เป็นไปอย่างสม่ำเสมอและปรับส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศได้ถูกต้องตลอดเวลา ทำให้แรงเครื่องได้ดี เครื่องยนต์มีพลังงานสูง

5.3 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ต้องมีการกำหนดค่าสูงสุดไว้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน ให้ได้พลังงานสูงสุดและประหยัดเชื้อเพลิง

5.4 อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุด และส่วนที่เหลือจากการกลั่นมีการกำหนดค่าสูงสุดไว้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันที่ไม่เผาไหม้เกิดการผสมกับน้ำมันเครื่องมากเกินไป

6. ปริมาณกำมะถัน ในน้ำมันดีเซลนั้นอยู่ในรูปต่างๆ เช่น เมอร์แคปแทน ซัลไฟด์ และไดซัลไฟด์ เป็นต้น กำมะถันเมื่อผ่านห้องเผาไหม้แล้วจะเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้นกลายเป็นกรดกำมะถันก่อให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์

จะเห็นได้ว่าสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซลมีหลายประการ และเพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของน้ำมันดีเซลให้เป็นผลดีกับเครื่องยนต์และกับสิ่งแวดล้อมตลอดจนให้สามารถใช้เครื่องยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ทางรัฐบาลไทยโดยกระทรวงพาณิชย์จึงได้กำหนดมาตรฐานของน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้า

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมัน ดีเซล		วิธีทดสอบ
			หมุนเร็ว	หมุนช้า	
1	ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 °ซ.	ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า	0.81 0.87	- 0.92	ASTM D 1298
2	จำนวนซีเทน หรือ ดัชนีซีเทน	ไม่ต่ำกว่า	47	45	ASTM D 613
3	ความหนืด เซนติสโตกส์ 3.1 ณ อุณหภูมิ 40 °C 3.2 ณ อุณหภูมิ 50 °C	ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า	1.8 4.1 - -	- 8.0 - 6.0	ASTM D 445
4	จุดไหลเท °ซ.	ไม่สูงกว่า	10	16	ASTM D 97
5	ปริมาณกำมะถัน ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.05	1.5	ASTM D 2622
6	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง หมายเลข	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 °ซ.	ไม่ต่ำกว่า	52	52	ASTM D 93
11	การกลั่น อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตร ในอัตราร้อยละเก้าสิบ	ไม่สูงกว่า	357	-	ASTM D 86
12	สี	ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า	- 4.0	4.5 7.5	ASTM D 1500
13	คุณสมบัติการหล่อลื่นทดสอบโดย เครื่องเอชเอฟอาร์อาร์ ไมโครเมตร	ไม่สูงกว่า	460	-	CEC F-06-A-96
14	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	-	-	-	-

ที่มา ประกาศกรมทะเบียนการค้า (พ.ศ. 2545)

www.thaigro.com

## เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 น้ำมันดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชหรือสัตว์ [1,2]

น้ำมันดีเซลชีวภาพจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากสิ่งมีชีวิตจำพวกพืชและสัตว์ ได้นำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งจะเป็นผลดีในการนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณจำกัด ซึ่งเราอาจแบ่งน้ำมันดีเซลชีวภาพตามประเภทของน้ำมัน ที่นำมาใช้ได้ออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

#### 2.3.1 ชนิดของน้ำมันดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชหรือสัตว์

1. การนำน้ำมันจากสิ่งมีชีวิตใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง เช่น น้ำมันมะพร้าวดิบ น้ำมันปาล์มดิบ ตลอดจนน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ก่อน เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง
2. การผสมระหว่างน้ำมันพืช (หรือสัตว์) กับ น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล เพื่อให้ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น โคโคดีเซล (coco-diesel) ที่ อ.ทับสะแก ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (palm-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล
3. การทำน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นการนำน้ำมันมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เอสเทอร์ และกลีเซอริน โดยการผลิตวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุดเนื่องจากมีสมบัติของน้ำมันใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4
4. การทำการแตกสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อนที่สถานะที่ไม่มีออกซิเจน เพื่อทำให้น้ำมันพืชแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ทำให้ความหนืดลดลง

ตารางที่ 2.4 สมบัติบางประการของน้ำมันดีเซลชีวภาพ [10]

สมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพ	
ความถ่วงจำเพาะ	0.88
ความหนืดที่ 40°C (centistokes)	1.9 –6.5
ดัชนีซีเทน	49
จุดวาบไฟ (°C)	100
ธาตุกำมะถัน(ร้อยละโดนน้ำหนัก) น้อยกว่า	0.01
ปริมาณของกลีเซอริน(ร้อยละโดนน้ำหนัก) น้อยกว่า	0.25
Cold Filter Plugging Point (°C)	-12
Net Heating Value (kilojoules per liter)	33,300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 ข้อดีของน้ำมันดีเซลชีวภาพ [11]

1. เป็นพลังงานที่ปราศจากสารพิษ ถูกย่อยสลายง่าย ปลอดภัยจากสารกำมะถันและเบนซิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง อีกทั้งไม่มีกลิ่นและควันพิษ
2. ในกระบวนการเผาไหม้เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลธรรมดา น้ำมันดีเซลชีวภาพสามารถลดปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนในการเผาไหม้ได้ 10% ในขณะเดียวกันสามารถลดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในอากาศได้ 44% ลดปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเครื่องยนต์เผาไหม้ไม่หมดลงได้ 68% รวมทั้งอนุภาคของสารพิษหรือประจุขนาดเล็กของสารพิษลงได้ 40% อีกด้วย
3. ช่วยลดปัญหาของสภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ที่ทำให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีผลเสียต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อม
4. จุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลชีวภาพสูงทำให้ติดไฟได้ยาก จึงไม่มีอันตราย ปลอดภัยต่อการขนย้าย และเก็บรักษา โดยสามารถเก็บไว้ในถังที่ใช้บรรจุน้ำมันปิโตรเลียมได้ ยกเว้นถังคอนกรีต หรือภาชนะที่ผลิตจากสารประเภทโพลีเอทิลีน และยางพารา
5. เป็นพลังงานที่ได้จากกระบวนการนำทรัพยากรที่ใช้แล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ได้ใหม่ ทำให้เกิดประโยชน์ ได้แก่ การนำน้ำมันพืชชนิดต่างๆ มาผลิตเป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพใช้เองภายในท้องถิ่น ซึ่งจะช่วยลดปริมาณความต้องการน้ำมันจากต่างประเทศ และยังช่วยประหยัดเงินตราของประเทศได้อีกด้วย

### 2.3.3 ข้อเสียของน้ำมันดีเซลชีวภาพ [12]

1. น้ำมันดีเซลที่ได้จากการนำน้ำมันพืชหรือสัตว์มาใช้โดยตรงนั้นจะมีข้อเสียคือ เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันต่างกับน้ำมันดีเซลก่อนข้างมากเพราะมีความหนืดสูง จึงมีปัญหาเรื่องการสันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสะดุด มีผลต่อลูกสูบและวาล์ว มีตะกอนขาวหลงทาง ออกไม่ได้ อยู่ในถังน้ำมัน ความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำลงทำให้การติดเครื่องที่ไม่ค่อยจะติดอยู่แล้วไม่สามารถติดได้เลยในที่อากาศเย็นๆ
2. น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากการผสมกันระหว่างน้ำมันพืชและน้ำมันปิโตรเลียม ทำให้ลดปัญหาเรื่อง ความหนืดลงไปได้บ้าง แต่ก็ยังมีปัญหาขณะที่อากาศเย็น มีปัญหาเรื่องการจุด

ต้นของเครื่องยนต์คือ ใ้สักรองจะอุดตันเร็วกว่าปกติแต่สำหรับปัญหาอื่น ๆ ไม่มีคุณสมบัติส่วนมากจะเหมือนกับน้ำมันดีเซล เครื่องจะเดินเรียบ เครื่องสตาร์ทดีดง่าย (แต่อาจต้องมีการอุ่นน้ำมัน) เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลการเกษตร

3. น้ำมันดีเซลชีวภาพโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีข้อเสียคือราคาแพง ต้นทุนสูงกว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบอื่นๆ เครื่องยนต์ให้กำลังต่ำกว่าน้ำมันดีเซล มีการสร้างแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ ( $\text{NO}_x$ ) เพิ่มขึ้น อาจต้องดัดแปลงส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่เป็นยาง (rubber) ซึ่งอาจถูกทำลายโดยน้ำมันดีเซลชีวภาพ อย่างไรก็ตามน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบเอสเทอร์นี้ใช้กับเครื่องยนต์รอบสูงของรถยนต์ดีเซลได้

#### 2.3.4 น้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [11]

น้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ผลิตได้จากน้ำมันพืช และไขมันจากสัตว์ มีคุณสมบัติเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทดีเซล เช่นเดียวกับน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันดีเซลชีวภาพถูกผลิตขึ้นโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) โดยการนำน้ำมันพืช หรือไขมันจากสัตว์ มาผ่านการกรองก่อนที่จะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับด่างเพื่อกำจัดอนุภาคไขมันอิสระ แล้วจึงผสมรวมกับเมทานอล (methanol) และ โซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (sodium / potassium hydroxide) ที่เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาให้สารไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ในน้ำมันถูกเปลี่ยนเป็นสารประเภทเอสเทอร์ (esters) และ กลีเซอริน (glycerine) และเมื่อกลีเซอรินถูกแยกออกจากร้ำมันพืชแล้ว โมเลกุลที่เหลือจะมีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำมันปิโตรเลียม จะต่างกับที่โมเลกุลของน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นกลุ่มของไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ที่ปลอดจากกำมะถัน หรือองค์ประกอบที่ซับซ้อนอื่นๆ

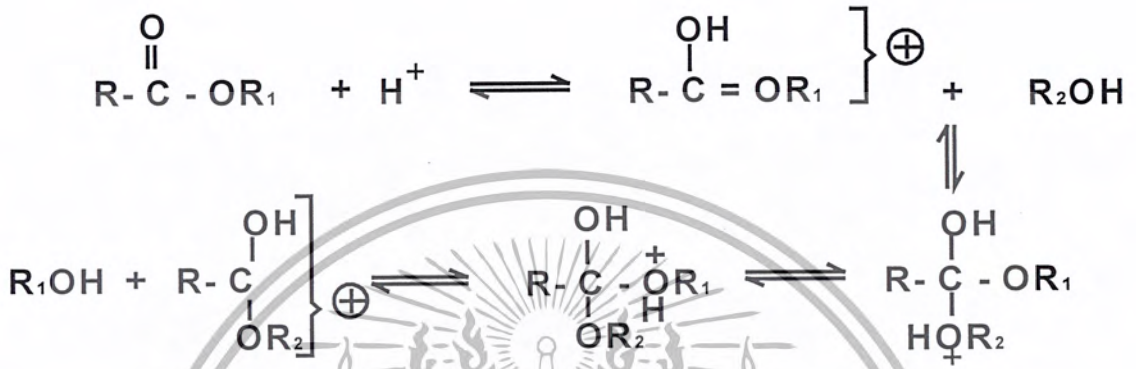
น้ำมันพืชชนิดต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพได้นั้น สามารถสกัดได้จากพืชหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ปาล์ม เมล็ดยางพารา เมล็ดฝ้าย ละหุ่ง ถั่วลิสง ป่าน ปอ ทานตะวัน ดอกคำฝอย ฯลฯ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตพืชในแต่ละท้องถิ่นมากน้อยแตกต่างกันไป

#### ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [5,6,7]

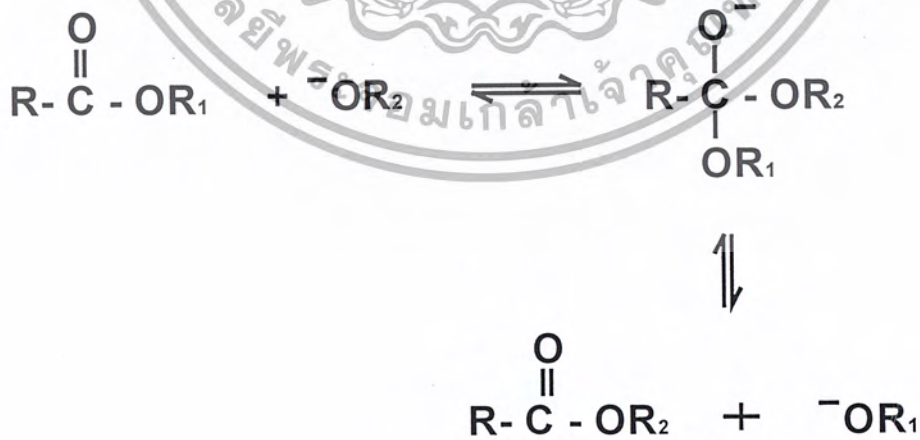
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือปฏิกิริยาที่เปลี่ยนเอสเทอร์ใดที่เป็นสารตั้งต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอสเทอร์อีกตัวหนึ่ง โดยปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้สามารถทำได้โดยนำ

เอสเทอร์ทำปฏิกิริยากับ แอลกอฮอล์ ในสภาวะกรด หรือ ด่าง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นเอสเทอร์กับ แอลกอฮอล์ซึ่งสารทั้ง 2 ตัวนี้เป็นคนละตัวกับสารตั้งต้น ปฏิกิริยานี้มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

1. กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

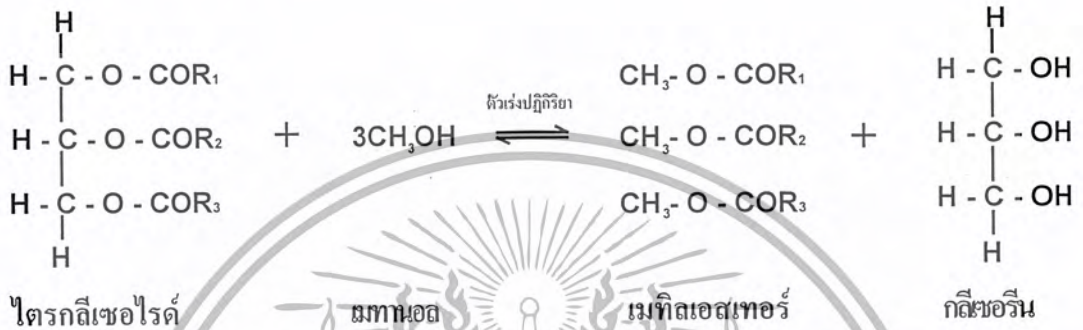


2. กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เกิดจากการนำมันที่อยู่ในรูปของ ไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ซึ่งมักจะเป็น เมทานอล หรือ เอทานอล เนื่องจากมีโมเลกุลขนาดเล็กจึงง่ายต่อการเข้าทำปฏิกิริยา และสามารถหาได้ง่าย และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มักจะเป็น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย อัลคิลเอสเทอร์ และ กลีเซอริน ดังปฏิกิริยานี้



2.4 การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง

แนวความคิดของการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพแบบนี้เพื่อต้องการนำเมทานอลที่อาจเหลือจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งอยู่ในชั้นกลีเซอรินที่แยกชั้นออกมาจากน้ำมันดีเซลชีวภาพ กลับมาทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืชใหม่โดยไม่ต้องทำการแยกเมทานอลออกจากกลีเซอริน ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในด้านพลังงานที่ต้องใช้ในการแยกเมทานอล และอาจเกิดการสูญเสียเมทานอลในขั้นตอนการแยกนี้ รายละเอียดของวิธีการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่องจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 3

### บทที่ 3

#### การทดลอง

#### ตอนที่ 1 การหาวิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

##### อุปกรณ์การทดลอง

- ขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร
- กระบอกตวง 250 มิลลิลิตร
- บีกเกอร์ 200, 400, 1000 มิลลิลิตร
- ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- บิวเรต 50 มิลลิลิตร
- กรวยแยก 500 มิลลิลิตร
- แท่งแก้วคนสาร
- แท่งแม่เหล็ก
- ฮีตเตอร์และเครื่องกวนแบบแม่เหล็กไฟฟ้า
- เทอร์โมมิเตอร์
- นาฬิกาจับเวลา

##### สารเคมีที่ใช้

- น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมล/ลิตร (เอทานอล)
- เมทานอล, เอทานอล
- ฟีนอล์ฟทาลีน 1 % ใน เอทานอล 95%

##### วิธีการทดลอง

1. นำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาทำการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยการสกัดด้วยเมทานอลและเอทานอล
2. ทดลองหาเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้วตามวิธีมาตรฐาน A.O.C.S. Official Method Ca 5a-40 (ภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 การศึกษากระบวนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชใหม่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ  
สวนทาง 2 เครื่อง

อุปกรณ์การทดลอง

- ขวดปฏิกรณ์เคมี
- เทอร์โมมิเตอร์
- ชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- แท่งกวนแม่เหล็ก
- เครื่องกวนแบบแม่เหล็กไฟฟ้า
- กรวยแยก
- นาฬิกาจับเวลา
- เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า
- บีกเกอร์
- เครื่องทดสอบความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)
- เครื่องวัดความหนืด

สารเคมี

- น้ำมันพืชตรามรกต
- เมทานอล
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
- น้ำกลั่น

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 2.1 ศึกษาหาสมบัติของน้ำมันพืชใหม่ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

- 1) ปริมาณกรดไขมันอิสระ
- 2) ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (ภาคผนวก ค)
- 3) ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตอนที่ 2.2 การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง

### 1. ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริเฟชัน

1.1 เตรียมสารตั้งต้น คือ น้ำมันพืช(ตรามรกต)และเมทานอลในอัตราส่วนที่ต้องการทดลอง และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน

1.2 แบ่งเมทานอล ออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 นำไปละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในขวดรูปชมพู่

ส่วนที่ 2 นำไปปั่นกวนกับน้ำมันที่สภาวะที่ควบคุมไว้

ส่วนที่ 3 เตรียมเพื่อนำไปล้างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อาจตกค้างอยู่ในขวดรูปชมพู่

1.3 นำน้ำมันที่เตรียมไว้มาผสมกับเมทานอลส่วนที่ 2 ในเครื่องปฏิกรณ์ที่เตรียมไว้ดังรูปที่ 3.1 แล้วทำการปั่นกวนด้วย เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้ว เติมนเมทานอลส่วนที่ 1 ลงไป จากนั้นนำเมทานอลส่วนที่ 3 ไปล้างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อาจตกค้างอยู่ในขวดรูปชมพู่ แล้วนำไปใส่ในเครื่องปฏิกรณ์

1.4 เริ่มจับเวลาในการทำปฏิกริยาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นจึงหยุดการปั่นกวนแล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาใส่ในกรวยแยกเพื่อทิ้งไว้ให้แยกชั้น จะได้ชั้นบนเป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio A1) และชั้นล่างเป็นกลีเซอรินผสมกับเมทานอล(MeOH A1)

1.5 นำ Bio A1ที่ได้จากข้อ 1.4 มาปั่นกวนกับ เมทานอลที่เตรียมไว้เหมือนในข้อ 1.2 โดยทำปฏิกริยาที่สภาวะเดิมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาทีเช่นกัน จากนั้นจึงหยุดการปั่นกวนแล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาใส่ในกรวยแยกเพื่อทิ้งไว้ให้แยกชั้น จะได้น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio B1) และกลีเซอรินที่มีเมทานอลปนอยู่ แยกทั้งสองส่วนออกจากกัน

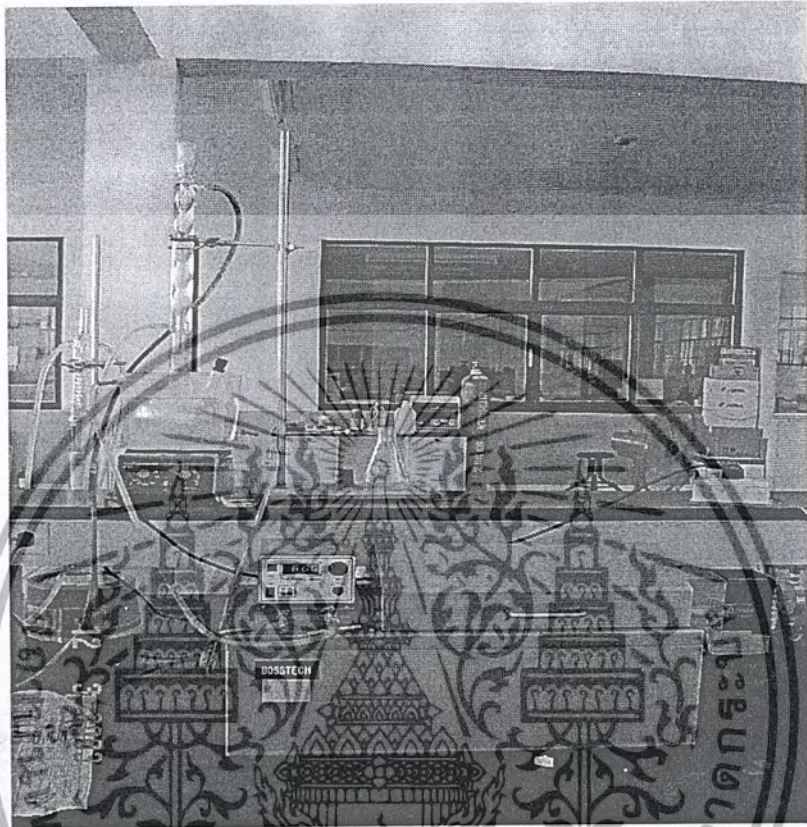
1.6 นำกลีเซอรินที่มีเมทานอลปนอยู่ (MeOH B1) มาทำปฏิกริยากับน้ำมันพืชใหม่ในสภาวะเดิม หลังจากนั้นจะได้น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio A2) กับชั้นกลีเซอรินผสมเมทานอล (MeOH A2)

1.7 นำ Bio A2 ที่ได้จากข้อ 1.6 มาปั่นกวนกับ เมทานอลที่เตรียมไว้เหมือนในข้อ 1.2 โดยทำปฏิกริยาที่สภาวะเดิมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาทีเช่นกัน จากนั้นจึงหยุดการปั่นกวนแล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาใส่ในกรวยแยกเพื่อทิ้งไว้ให้แยกชั้นจะได้น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio B2)และกลีเซอรินที่มี เมทานอลปนอยู่ (MeOH B2) แยกทั้งสองส่วนออกจากกัน

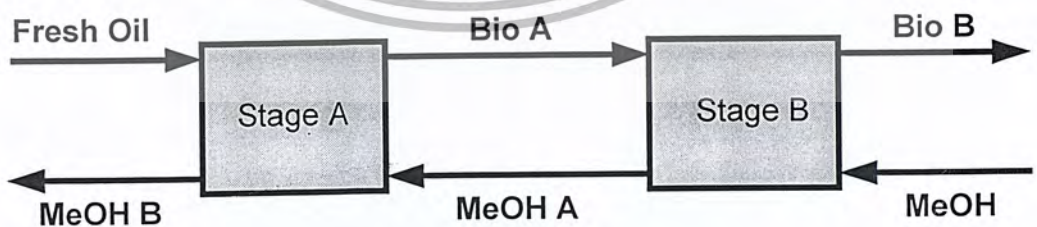
1.8 นำกลีเซอรินที่มีเมทานอลปนอยู่(MeOH B2) มาทำปฏิกริยากับน้ำมันพืชที่เตรียมใหม่ในสภาวะเดิมหลังจากนั้นจะได้น้ำมันดีเซลชีวภาพ(Bio A3) กับกลีเซอรินที่มีเมทานอลปนอยู่(MeOH A3)

1.9 ทำซ้ำเหมือนข้อ 1.7 จะได้ Bio B3 ออกมา

1.10 เปลี่ยนสถานะในการทำปฏิกิริยาแล้วทำซ้ำเหมือนข้อ 1.1 ถึง 1.9 ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวอาจแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3

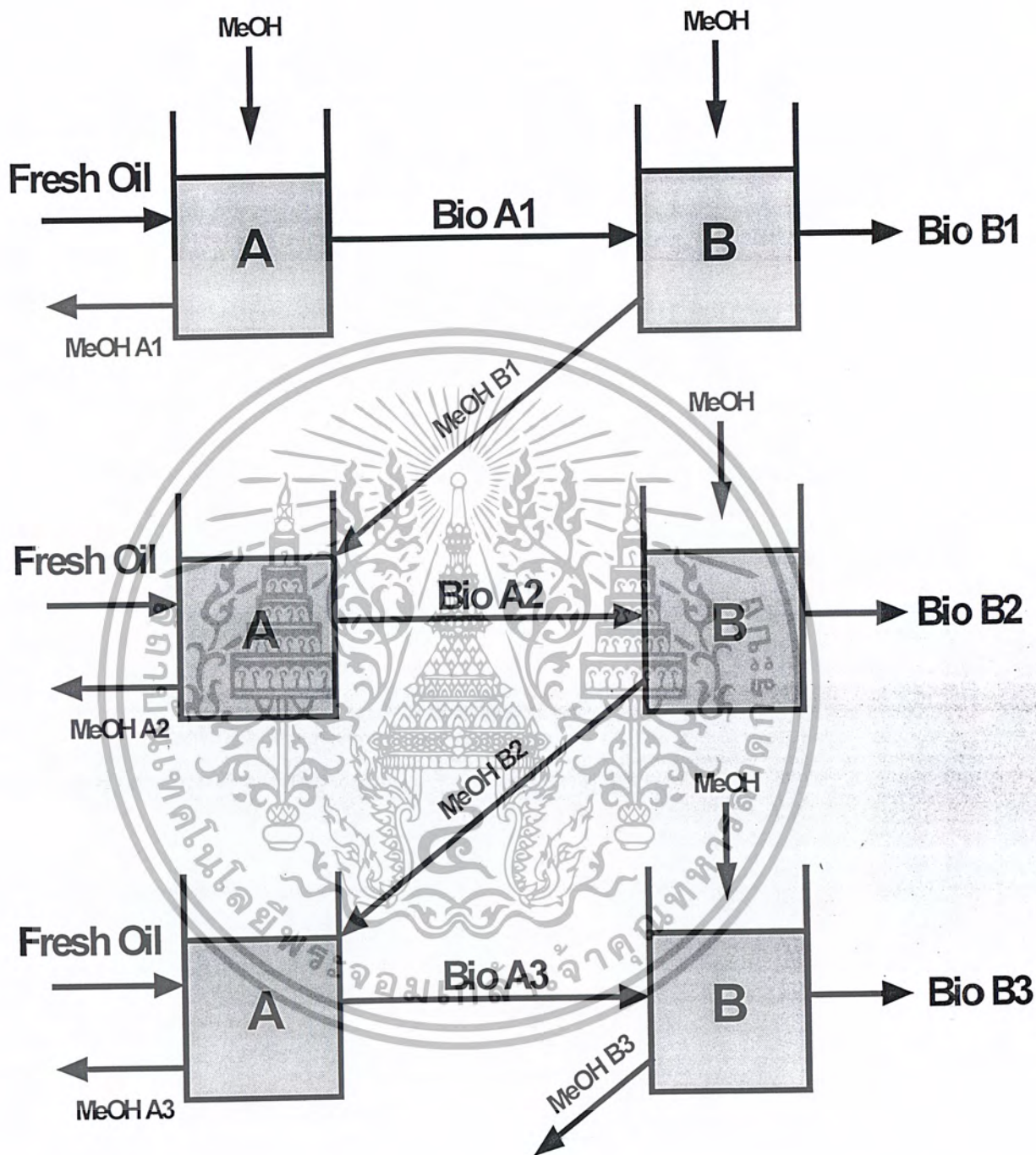


รูปที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.2 การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพและการระเหยน้ำออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ทำการล้างแล้ว
  - 1) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากตอนที่ 2.2 มาทำการแยกชั้นด้วยกรวยแยก จะได้ของเหลวชั้นบนคือน้ำมันดีเซลชีวภาพ ของเหลวชั้นล่างคือกลีเซอริน แล้วแยกกลีเซอรินออก
  - 2) นำน้ำมันดีเซลชีวภาพมาทำการล้างด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้บีเวอร์ไปปล่อยให้น้ำอุ่นไหลผ่านน้ำมันดีเซลชีวภาพ
  - 3) ทำซ้ำแบบข้อ 2 อีก 3-4 ครั้ง หลังจากนั้นนำน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ล้างแล้วมาทำการระเหยน้ำออกโดยนำเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

**ตอนที่ 3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง**

ในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจะทำการแปรผันค่าตัวแปรที่ต้องการศึกษาทั้งหมด 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ดังนี้

1. อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมธานอล คือ 1:3 , 1:4.5 และ 1:6
2. อุณหภูมิคือ อุณหภูมิห้อง(30 °C) , 45 °C และ 60 °C

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่องจากการออกแบบการทดลอง จะประกอบด้วยวิธีการทดลองทั้งหมด 3<sup>2</sup> การทดลอง ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับของการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		
	1. อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมธานอล	a1 = 1:3	a2 = 1:4.5
2. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	b1 = 30	b2 = 45	b3 = 60

ตารางที่ 3.2 การจัดกลุ่มการทดลอง

ปัจจัย	การทดลองที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3
2	b1	b1	b1	b2	b2	b2	b3	b3	b3

หมายเหตุ สำหรับปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะให้คงที่ตลอดทุกการทดลองที่ 0.3% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

#### ตอนที่ 4 การหาความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้

เนื่องจากคุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพนั้นสามารถดูได้จากค่าของความหนืดที่วัดได้ ดังนั้นจึงหาความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่อุณหภูมิ 40 °C จากเครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลท์(Saybolt) ของ Koehler รุ่น K21590 (ตามวิธีการในภาคผนวก ค)

หมายเหตุ การตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพสามารถดูจากค่าซีเทนได้ด้วย แต่เนื่องจากค่าซีเทน ของน้ำมันดีเซลชีวภาพส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลธรรมดา ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากค่าของความหนืดเพียงอย่างเดียว



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการทดลองการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยวิธีต่าง ๆ

1.1) ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วยังไม่ได้ทำการกำจัดกรดไขมันอิสระ

ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (g)	ปริมาตร KOH (ml)
1	7.06	3.2
2	7.08	3.1
3	7.04	3.1
เฉลี่ย	7.06	3.13

เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันคือ 2.84 % เมื่อคิดเป็นกรดปาล์มมิติก

1.2) ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (g)	ปริมาตร KOH (ml)
1	7.06	3.2
2	7.06	3.2
3	7.07	3.3
เฉลี่ย	7.063	3.23

เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันคือ 2.93 % เมื่อคิดเป็นกรดปาล์มมิติก

1.3) ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วนำมาควนผสมกับเมทานอลอัตราส่วน โดยปริมาตร น้ำมัน : เมทานอล คือ 3 : 1 แล้วทิ้งไว้ให้แยกชั้น

ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (g)	ปริมาตร KOH (ml)
1	7.05	2.3
2	7.05	2.4
3	7.06	2.3
เฉลี่ย	7.053	2.33

เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันคือ 2.12 % เมื่อคิดเป็นกรดปาล์มมิติก

1.4) ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชจากข้อ 1.3 มาให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (g)	ปริมาตร KOH (ml)
1	7.05	2.4
2	7.05	2.5
3	7.06	2.4
เฉลี่ย	7.053	2.43

เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันคือ 2.20 % เมื่อคิดเป็นกรดปาล์มมิติก

1.5) ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วนำมาควนผสมกับเอทานอลอัตราส่วน โดย ปริมาตร น้ำมัน:เอทานอล คือ 3 : 1 แล้วทิ้งไว้ให้แยกชั้น

ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (g)	ปริมาตร KOH (ml)
1	7.05	2.2
2	7.06	2.1
3	7.05	2.2
เฉลี่ย	7.053	2.167

เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันคือ 1.93 % เมื่อคิดเป็นกรดปาล์มมิติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6) ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชจากข้อ 1.5 มาให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (g)	ปริมาตร KOH (ml)
1	7.07	2.2
2	7.06	2.1
3	7.05	2.2
เฉลี่ย	7.06	2.167

เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันคือ 1.96 % เมื่อคิดเป็นกรดปาล์มมิก

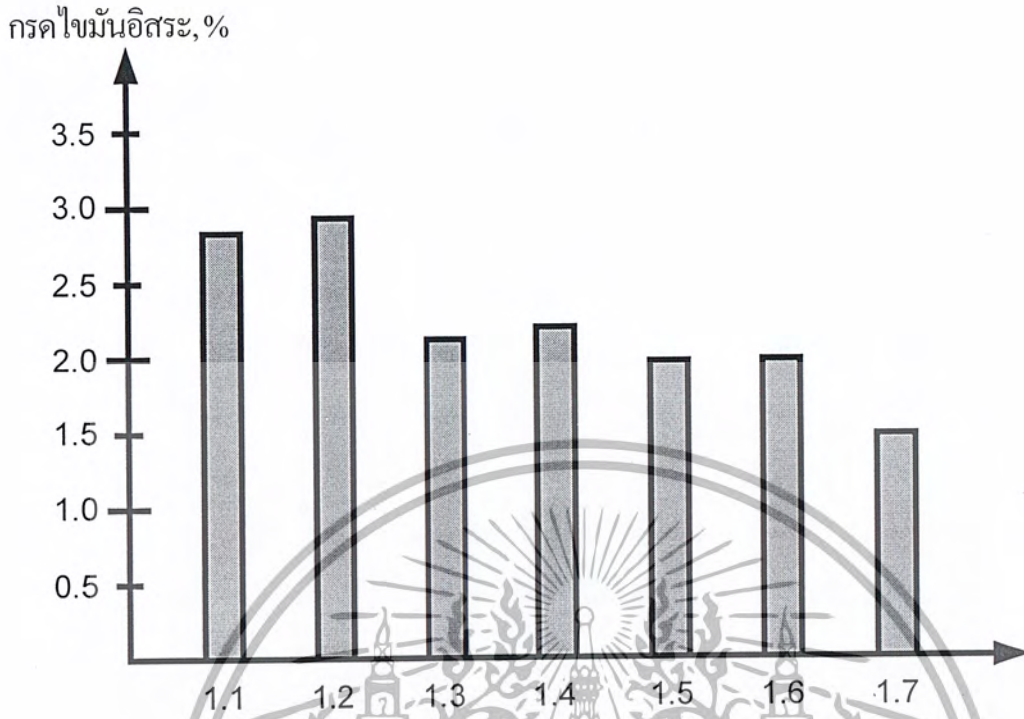
1.7) ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชจากข้อ 1.6 มาควนผสมกับเอทานอลอัตราส่วน โดยปริมาตร น้ำมัน : เอทานอล คือ 3 : 1 แล้วทิ้งไว้ให้แยกชั้น

ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (g)	ปริมาตร KOH (ml)
1	7.06	1.7
2	7.06	1.6
3	7.05	1.6
เฉลี่ย	7.053	1.63

เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันคือ 1.48 % เมื่อคิดเป็นกรดปาล์มมิก

#### 4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

เนื่องจากว่าน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงดังนั้นเราจึงหาวิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระเหล่านี้โดยวิธีการสกัดด้วยเมทานอลหรือเอทานอล จะเห็นว่าเมื่อนำเอทานอลมาปั่นกวนกับน้ำมันสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้วได้ดีกว่าเมทานอลและเมื่อให้ความร้อนกับน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะเห็นว่าปริมาณกรดไขมันอิสระนั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอาจเนื่องจากน้ำมันพืชทำปฏิกิริยากับน้ำที่ตกค้างอยู่ในน้ำมันที่อุณหภูมิสูงและจากการนำข้อมูลมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกรดไขมันอิสระกับวิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะได้รับความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกรดไขมันอิสระกับวิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระ

#### 4.3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง

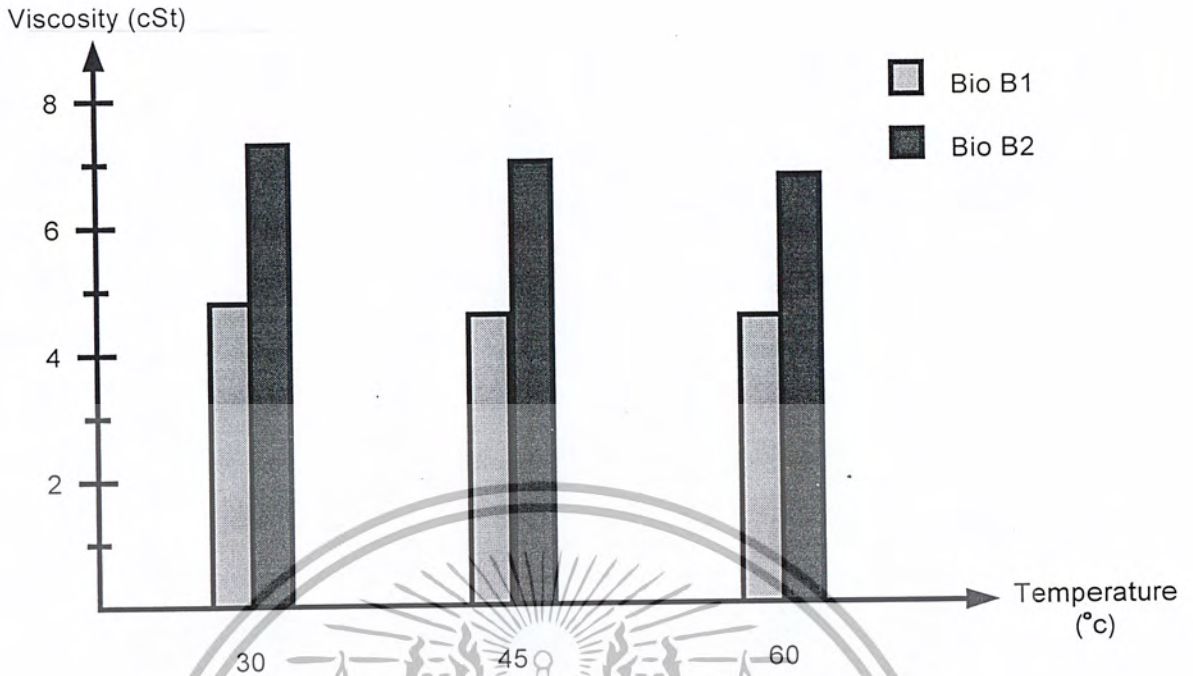
จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบสวนทาง 2 เครื่อง โดยจะตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากความหนืดที่วัดได้ และจากการจัดกลุ่มการทดลอง ผลการทดลองที่ได้จะเป็นความหนืดของ Bio B ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายที่จะนำมาตรวจสอบคุณภาพได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความหนืดของผลิตภัณฑ์ในการทดลองชุดต่าง ๆ

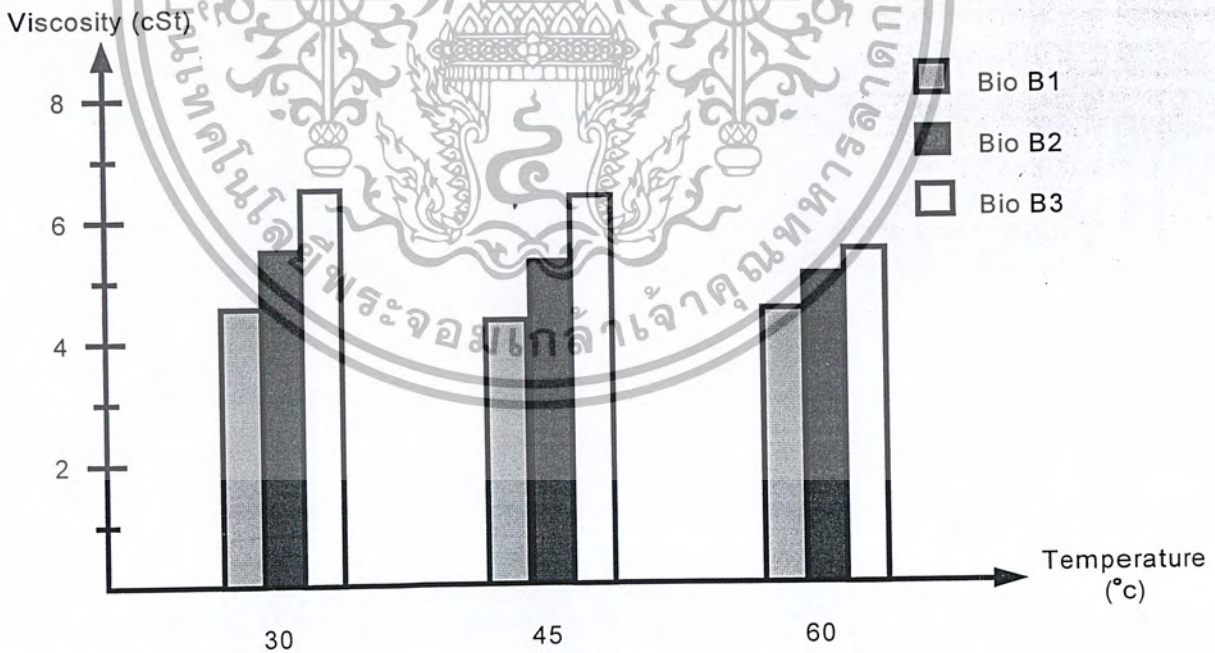
การทดลองที่	ความหนืด (cSt)								
	Bio B1			Bio B2			Bio B3		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	เฉลี่ย
1	4.68	4.87	4.78	7.40	7.22	7.31	-	-	-
2	4.66	4.52	4.59	5.34	5.70	5.52	6.43	6.51	6.47
3	4.65	4.71	4.68	5.07	5.19	5.13	5.94	6.08	6.01
4	4.81	4.53	4.67	7.07	6.85	6.96	-	-	-
5	4.31	4.42	4.36	5.43	5.19	5.31	6.72	6.48	6.60
6	4.64	4.34	4.49	5.29	5.07	5.18	5.53	5.21	5.37
7	4.51	4.69	4.60	6.92	6.58	6.75	-	-	-
8	4.59	4.49	4.54	5.40	5.46	5.43	5.64	5.43	5.56
9	4.33	4.39	4.36	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ เครื่องหมาย (-) แสดงว่าไม่สามารถสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในสภาวะนั้นๆได้

จากข้อมูลข้างต้นนำมาเขียนกราฟได้ดังรูป 4.2 ถึง 4.4 โดยรูปที่ 4.2 เป็นการทดลองที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:3 จะสามารถสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio B) ได้เพียง 2 ครั้งเท่านั้นคือ Bio B1 และ Bio B2 เนื่องจากปริมาณของเมทานอลที่แยกออกจาก Bio B2 นั้นไม่เพียงพอต่อการนำไปสังเคราะห์เป็น Bio B3 (ปริมาณของเมทานอลที่เหลือจากการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในแต่ละครั้งนั้นแสดงไว้ในภาคผนวก ง) นอกจากนี้จะทำให้ทราบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนั้นมีผลเล็กน้อยต่อความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพ เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:3



รูปที่ 4.2 ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพกับอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่ออัตราส่วนของน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:3



รูปที่ 4.3 ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพกับอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่ออัตราส่วนของน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.3 ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส นั้นความหนืดที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio B1, Bio B2 และ Bio B3) มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพ นั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น แสดงว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:4.5 เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองสูงจะทำให้ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพ ที่ได้มีการเพิ่มความหนืดอย่างเล็กน้อย



รูปที่ 4.4 ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพกับอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อ เมทานอลเป็น 1:6

จากรูป 4.4 เมื่ออัตราส่วน โดย โมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:6 และที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพ นั้นจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก แสดงว่าอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อ เมทานอลและอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพอย่างชัดเจน นอกจากนี้จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio B1) ได้เพียงชนิดเดียวเนื่องจากว่าเมื่อนำน้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio A1) มาทำปฏิกิริยาอีกครั้งกับเมทานอลเพื่อให้ได้ Bio B1 ออกมานั้นพบว่าไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นของน้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio B1) กับชั้นของกลีเซอริน (MeOH B1) ซึ่งมีเมทานอลปนอยู่ เนื่องจากว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio B1) สามารถผสมกับ MeOH B1 แล้วเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างดี ทำให้ไม่สามารถนำ MeOH B1 ไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืชใหม่เพื่อสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Bio B2 , Bio B3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. เมื่อนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาปั่นกวนกับเอทานอลสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ดีกว่านำมาปั่นกวนกับเมทานอล
2. ปัจจัยที่ศึกษาในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพภาพในเครื่องปฏิกรณ์ แบบสวนทาง 2 เครื่อง โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีอยู่ 2 ปัจจัยคือ อัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล และอุณหภูมิ พบว่าทั้งสองปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพ
3. สภาพที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ความหนืดต่ำและการเพิ่มขึ้นของความหนืดของผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างช้าๆ นั่นคือ ที่ อัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล เป็น 1 ต่อ 6 และอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสหรือ 1:4.5 และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.3 % โดยน้ำหนักของน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลองนี้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันส่วนใหญ่จะนิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย
2. ในการทดลองนี้เลือกใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพเนื่องจาก
  - ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเวลาในการแยกชั้นระหว่างน้ำมันดีเซลชีวภาพกับกลีเซอรินที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า การแยกชั้นระหว่างน้ำมันดีเซลชีวภาพกับกลีเซอรินจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเร็วกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
  - ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองนำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์มาละลายในเมทานอลแล้วพบว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถละลายในเมทานอลได้เร็วกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ประหยัดเวลาในการเตรียมเบส (การละลายเบสในเมทานอล) ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

- เมื่อนำน้ำที่ใช้ในการล้างความเป็นด่างของน้ำมันดีเซลชีวภาพทำให้มีฤทธิ์เป็นกลางด้วยกรดฟอสฟอริกจะทำให้ได้โปแทสเซียมฟอสเฟตซึ่งนำไปเป็นปุ๋ยได้

- สามารถทำการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพที่อุณหภูมิห้องได้

3. จากการทดลองนี้คณะผู้จัดทำได้กำหนดให้ปริมาณของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีค่าคงที่ตลอด เนื่องจากว่าได้ทำการทดสอบการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพโดยใช้โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.3 % และ 0.4 % โดยน้ำหนักของน้ำมันและทำการวัดความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพแล้วพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.3 % โดยน้ำหนักของน้ำมันมาใช้ในการทดลองเพื่อประหยัดปริมาณเบสที่ใช้

4. ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การผสมกันระหว่างน้ำมันพืชและกับเมทานอลมีความสำคัญมาก เพราะหากสารทั้งสองผสมกันไม่ดีจะมีผลต่อความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้ โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้การผสมกันได้นั้นคือ รูปร่างของขวดปฏิกิริยา ความเร็วในการปั่นกวน และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งทางคณะผู้จัดทำไม่ได้ทำการทดลองในปัจจัยเหล่านี้ แต่ในการทดลองได้ใช้ขวดปฏิกิริยาที่มีลักษณะคล้ายขวดก้นกลมปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยใช้ความเร็วในการปั่นกวนสูงสุดเท่าที่เครื่องมือจะสามารถทำได้ และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่เพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์

## เอกสารอ้างอิง

1. กัญจนา บุญเกียรติ และสุกัญญา มากมี, Biodiesel : พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล, วารสารวิทยาศาสตร์, พฤษภาคม – มิถุนายน 2544 : 148-155
2. ป๊วย อุ๋นใจ และสยามภพ ลือชัย, Biodiesel เชื้อเพลิงชีวภาพแห่งยุคสมัย, UPDATE. สิงหาคม 2544, 50-56
3. ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์, *สบู่และสารซักฟอก*, เอกสารประกอบการเรียนวิชา Chemical Engineering Process, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2543
4. กิติภพ ตำราญ, *การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดีเซลด้วยเพอร์ฟิวรัลที่ได้จากชั่งข้าวโพด*, วิทยานิพนธ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542
5. Fessend, R.J., *Organic Chemistry*, 6<sup>th</sup>, Brooks/Cole Publishing Company, 1998 , p.658
6. L.G.Wade,JR., *Organic Chemistry*, 3<sup>rd</sup>, New Jersey, Prentice Hall, 1995, p.1215
7. Korus, R.A., *Transesterification Process to Manufacture Ethyl Ester of Rapeseed oil*, Department of Chemical Engineering University of Idaho, MOSCOW, 1993
8. A.O.C.S. *Official Method Ca 5a-40*, Sampling and Analysis of Commercial Fats and Oils, Free Fatty Acid
9. <http://www.geocities.com/numpung1/page.htm>
10. [http://www.dmr.go.th/adm\\_mfd/MFD\\_WEBSITE/Events\\_Biodiesel/Biodeisel](http://www.dmr.go.th/adm_mfd/MFD_WEBSITE/Events_Biodiesel/Biodeisel).
11. <http://clgc.rdi.ku.ac.th/index.htm/>
12. <http://update.se-ed.com/168/biodeisel.htm>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ก**  
**สมบัติของน้ำมันที่ใช้ในการทำการทดลอง**

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในการทดลองการลดปริมาณกรดไขมันอิสระ

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้จากการวัด
ปริมาณกรดไขมันอิสระ, % น้ำหนัก	2.87
ความหนืด, cSt	46.67
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.03

ตารางที่ ก.2

คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพแบบสวนทางกัน  
- น้ำมันพืชตรามรกต

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้จากการวัด
ปริมาณกรดไขมันอิสระ, % น้ำหนัก	0.02
ความหนืด, cSt	35.06
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.95

**ภาคผนวก ข**  
**การหากรดไขมันอิสระ ในน้ำมันพืช**

การหากรดไขมันอิสระ ในน้ำมันพืชโดย A.O.C.S. Official Method Ca 5a-40 [11]

**ข.1 การเตรียมสารเคมี**

1. เตรียมฟีนอล์ฟทาลิน (1 % ใน เอทานอล 95%)
2. นำเอทานอลปริมาตรที่ต้องการมาทำให้มีฤทธิ์เป็นกลางโดยเติมฟีนอล์ฟทาลิน 2 มิลลิลิตรแล้วค่อย ๆ เติมสารละลายค้างลงไปจนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพู
3. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นตามตารางที่ ข.2

**ข.2 ขั้นตอนการหากรดไขมันอิสระ**

1. นำตัวอย่างน้ำมันมาชั่งให้ได้น้ำหนักตามต้องการที่แสดงไว้ในตารางที่ ข.2
2. นำเอทานอลที่ทำให้เป็นกลางมาผสมกับตัวอย่างน้ำมัน เขย่าให้เข้ากันแล้วนำมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นตามตารางที่ ข.2 จนกลายเป็นสีชมพูโดยสีจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 30 วินาที แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต
3. ทำซ้ำข้อ 2 อีก 2 ครั้ง

**ข.3 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ**

เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันส่วนใหญ่จะคำนวณจะคำนวณในรูปของกรดโอเลอิก แต่ในน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มจะคำนวณ ในรูปของกรดไขมันประเภทลอริกและปาล์มเมติกดังสมการ

$$@ \text{ กรดไขมันอิสระในรูปของกรดโอเลอิก, \% } = (V_{\text{NaOH}} \times N \times 28.6) / m_{\text{oil}}$$

$$@ \text{ กรดไขมันอิสระในรูปของกรดลอริก, \% } = (V_{\text{NaOH}} \times N \times 26.6) / m_{\text{oil}}$$

$$@ \text{ กรดไขมันอิสระในรูปของกรดปาล์มเมติก, \% } = (V_{\text{NaOH}} \times N \times 25.6) / m_{\text{oil}}$$

เมื่อ  $V_{\text{NaOH}}$  คือ ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$m_{\text{oil}}$  คือ น้ำหนักของน้ำมัน

$N$  คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ปริมาณน้ำมัน ปริมาตรของเอทานอลและความเข้มข้นของสารละลายต่างที่ใช้

FFA range,%	Grams of sample	mL of alcohol	Strength of alkali
0.00 to 0.2	$56.4 \pm 0.2$	50	0.1 N
0.2 to 1.0	$28.2 \pm 0.2$	50	0.1 N
1.0 to 30.0	$7.05 \pm 0.05$	75	0.25 N
30.0 to 50.0	$7.05 \pm 0.05$	100	0.25 or 1.0 N
50.0 to 100	$3.525 \pm 0.001$	100	1.0 N



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### การหาค่าความหนืด

เครื่องมือที่ใช้ในการหาความหนืด คือ เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ (Saybolt) ของ Koehler รุ่น K21590 การวิเคราะห์หาค่าความหนืดนี้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 88 ใช้ในการวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซล ซึ่งเป็นการวัดความหนืดของน้ำมันโดยจับเวลาจากการไหลเป็นวินาทีของน้ำมัน 60 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดที่ได้มีหน่วยเป็นวินาทีเซย์โบลต์ (Saybolt Universal Seconds, SUS) รูที่น้ำมันไหลผ่านมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0695 นิ้ว (1.765 มิลลิเมตร) ความยาว 0.4823 นิ้ว (12.25 มิลลิเมตร) เครื่องมือนี้ไม่เหมาะกับน้ำมันที่มีเวลาการไหลต่ำกว่า 32 วินาที

ลำดับขั้นและวิธีการทดสอบ

1. ทำความสะอาดท่อทางน้ำมันในเครื่องทดสอบ โดยล้างด้วยเบนซินแล้วปล่อยให้แห้งสนิท
2. เทน้ำมันที่จะทดสอบลงไปในท่อ โดยให้ผ่านตะแกรงกรองละเอียดซึ่งในระดับของน้ำมันที่ทดสอบควรจะมีระดับสูงกว่าขอบในของท่อเล็กน้อย
3. ปรับเครื่องมือในเครื่องมือทดลองให้มีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส รอจนน้ำมันที่จะทดสอบมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส
4. นำขวดแก้วสำหรับรองน้ำมันขนาด 60 มิลลิลิตร วางใต้จุกก็้อคโดยประมาณให้น้ำมันไหลออกมาจากรู สัมผัสกับด้านในของขวดแก้วเล็กน้อย เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันกระเด็นหรือเป็นฟอง
5. ดึงจุกก็้อคออกพร้อมกับเริ่มจับเวลา และเลิกจับเวลาเมื่อระดับน้ำมันในขวดอยู่ที่ขีดวัดปริมาตร 60 มิลลิลิตรพอดี บันทึกเวลาที่ได้เป็นวินาที

น้ำมันที่ผ่านเครื่องทดสอบนี้จะต้องนำมาเปลี่ยนหน่วย สมการที่จะกล่าวต่อไปนี้ใช้สำหรับการเปลี่ยนค่าความหนืดแบบเซย์โบลต์ ไปเป็นค่าความหนืดแบบไคเนมาติก (kinematic viscosity) ซึ่งมีหน่วยเป็นเซนติสโตก (cSt) ใช้สัญลักษณ์แสดงด้วยตัว  $\mu$  และ  $t$  คือ เวลาเป็นวินาที

$$\mu = 0.226t - (195/t)$$

เมื่อค่า  $t$  อยู่ระหว่าง 32-100 วินาที

$$\mu = 0.220t - (135/t)$$

เมื่อค่า  $t$  มากกว่า 100 วินาที

## ภาคผนวก ง

## การคำนวณปริมาณเมทานอลในของเหลวชั้นล่าง

ในของเหลวชั้นล่างประกอบด้วยกลีเซอรินและเมทานอลผสมกัน ซึ่งปริมาณของเมทานอลในของเหลวชั้นล่างนี้มีความสำคัญมากต่อการนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันใหม่ โดยสามารถคำนวณปริมาณเมทานอลจากโปรแกรม Polymath

ขั้นตอนการคำนวณ

- 1) เปิดโปรแกรม Polymath แล้วเลือกหน้าต่างของ Nonlinear Equation [NLE]
- 2) ป้อนสมการและค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงในโปรแกรม Polymath

$$1. f(mg) = mm + mg - (dmix \times vmix)$$

$$2. f(mm) = (mm/dm) + (mg/dg) - vmix$$

เมื่อ mm คือ ปริมาณของเมทานอล, g

mg คือ ปริมาณของกลีเซอริน, g

dm คือ ความหนาแน่นของเมทานอลเท่ากับ  $0.79 \text{ g/cm}^3$

dg คือ ความหนาแน่นของกลีเซอรินเท่ากับ  $1.19 \text{ g/cm}^3$

vmix คือ ปริมาตรของของเหลวชั้นล่าง,  $\text{cm}^3$

dmix คือ ความหนาแน่นของของเหลวชั้นล่าง,  $\text{g/cm}^3$

- 3) เลือกเครื่องหมายลูกศรที่ชี้ไปทางขวา(รูปที่ ง.1)เพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาค่า mm และ mg ออกมา
- 4) คำนวณปริมาณเมทานอลในของเหลวชั้นล่าง (กลีเซอรินผสมเมทานอล) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเมทานอลในของเหลวส่วนล่างทั้งหมด

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณเมทานอล (MeOH B1) จากการทดลองที่ 1 (ครั้งที่ 1)

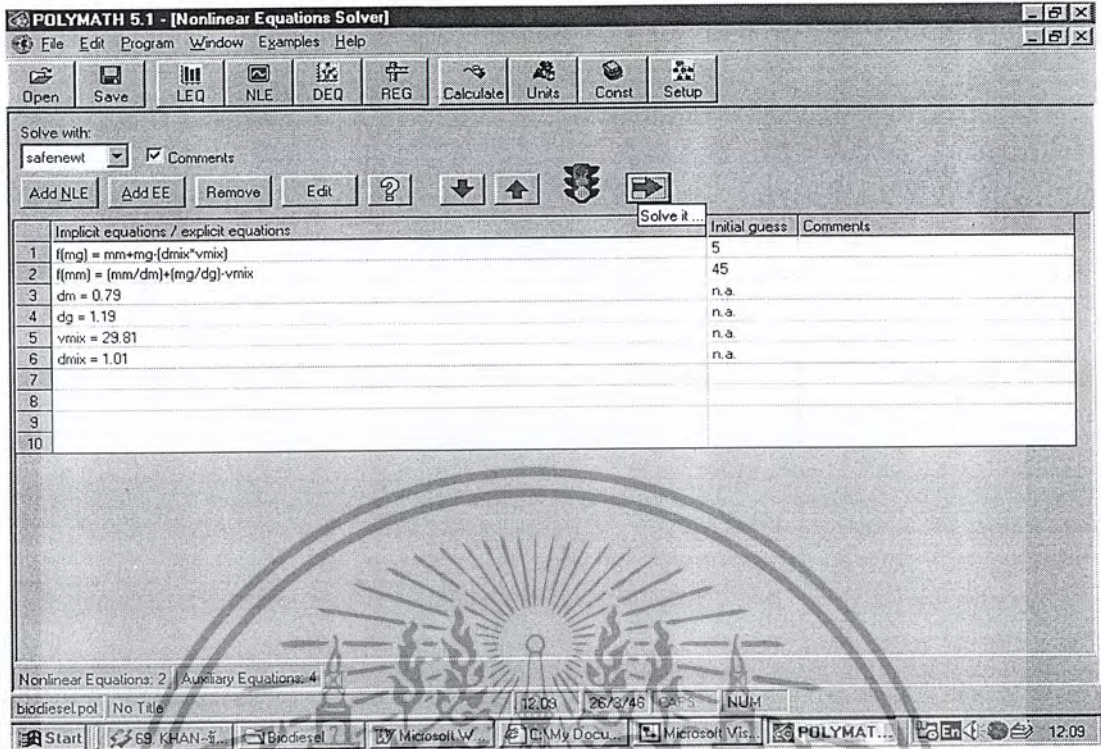
$$\text{เมื่อ } vmix = 29.81 \text{ cm}^3$$

$$dmix = 1.01 \text{ g/cm}^3$$

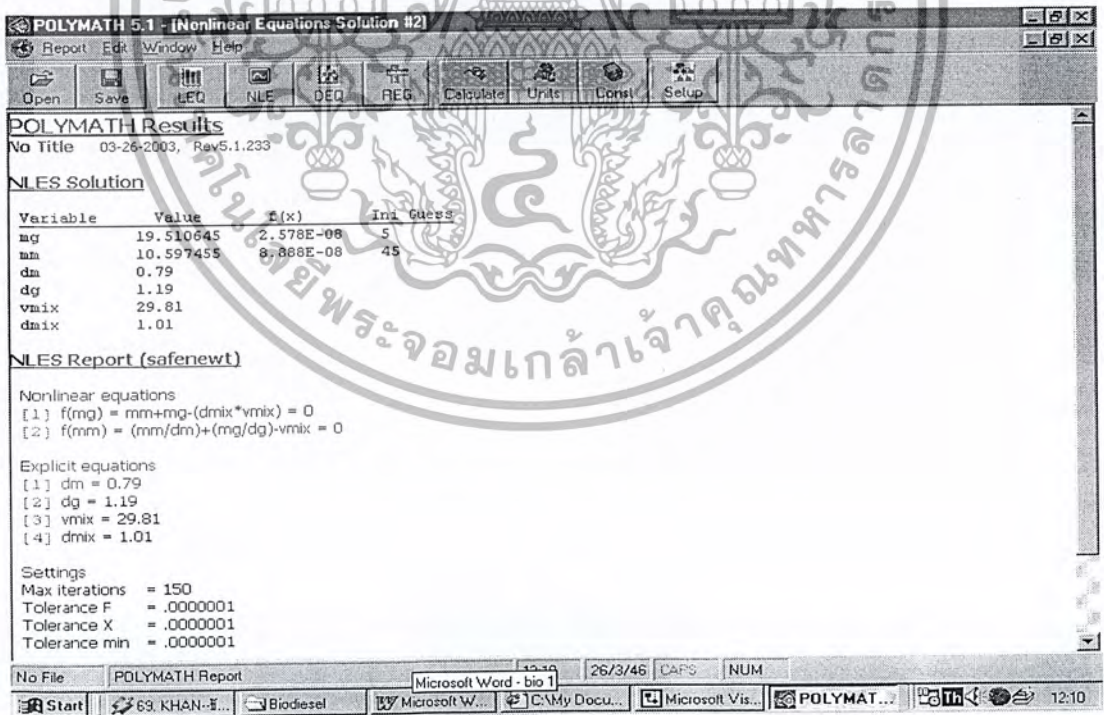
เมื่อทำตามขั้นตอนการคำนวณข้อที่ 1) ถึง 3) แสดงได้ดังรูปที่ ง.1 และรูปที่ ง.2 จะได้ปริมาณของเมทานอลในของเหลวชั้นล่าง 10.6 g ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทานอลในของเหลวส่วนล่างทั้งหมดดังนี้

$$\%MeOH = (10.6/29.81) \times 100 = 5.08$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การป้อนข้อมูลในโปรแกรม Polymath



รูปที่ 3.2 ผลการคำนวณของโปรแกรม Polymath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก จ**  
**ปริมาณของเมทานอลในของเหลวชั้นล่าง**

ปริมาณของเมทานอลในของเหลวชั้นล่าง (กลีเซอรินผสมเมทานอล) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทานอลในของเหลวส่วนล่างทั้งหมดที่สภาวะต่าง ๆ โดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath

ตารางที่ จ.1 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 1  
(อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล = 1:3 , อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส)

ชนิดของเมทานอล	% MeOH		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MeOH A1	5.08	6.84	5.96
MeOH B1	35.20	32.92	34.06
MeOH A2	14.21	14.22	14.22
MeOH B2	12.35	10.48	11.42
MeOH A3	-	-	-
MeOH B3	-	-	-

ตารางที่ จ.2 ปริมาณของเมทานอล โดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 2  
(อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล = 1:4.5 , อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส)

ชนิดของเมทานอล	% MeOH		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MeOH A1	23.29	17.52	20.40
MeOH B1	63.63	63.62	63.62
MeOH A2	10.47	11.38	10.92
MeOH B2	57.96	60.75	59.36
MeOH A3	20.50	18.46	19.48
MeOH B3	55.94	54.23	55.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 3  
(อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล = 1:6, อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส)

ชนิดของเมทานอล	% MeOH		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MeOH A1	41.10	37.44	39.27
MeOH B1	74.53	79.00	76.76
MeOH A2	28.58	30.46	29.52
MeOH B2	63.64	56.13	59.88
MeOH A3	37.53	37.51	37.52
MeOH B3	50.95	53.94	52.44

ตารางที่ จ.4 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 4  
(อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล = 1:3, อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส)

ชนิดของเมทานอล	% MeOH		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MeOH A1	3.39	5.14	4.26
MeOH B1	37.53	40.36	38.94
MeOH A2	14.22	12.86	13.54
MeOH B2	3.37	4.71	4.04
MeOH A3	-	-	-
MeOH B3	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.5 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 5  
(อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล = 1:4.5 , อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส)

ชนิดของเมทานอล	% MeOH		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MeOH A1	18.91	17.65	18.28
MeOH B1	51.42	46.94	49.18
MeOH A2	12.33	12.86	12.60
MeOH B2	28.47	30.11	29.29
MeOH A3	16.15	14.08	15.12
MeOH B3	12.35	13.27	12.81

ตารางที่ จ.6 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 6  
(อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล = 1:6 , อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส)

ชนิดของเมทานอล	% MeOH		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MeOH A1	35.19	32.91	34.05
MeOH B1	78.99	75.39	77.19
MeOH A2	5.09	9.11	7.10
MeOH B2	37.52	40.76	39.14
MeOH A3	28.49	24.28	26.38
MeOH B3	39.89	38.44	39.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.7 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 7  
(อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล = 1:3 , อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส)

ชนิดของเมทานอล	% MeOH		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MeOH A1	1.66	1.87	1.76
MeOH B1	37.54	38.21	37.88
MeOH A2	10.48	9.08	9.78
MeOH B2	10.50	11.54	11.02
MeOH A3	-	-	-
MeOH B3	-	-	-

ตารางที่ จ.8 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 8  
(อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล = 1:4.5 , อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส)

ชนิดของเมทานอล	% MeOH		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MeOH A1	12.32	10.29	11.30
MeOH B1	37.50	39.53	38.52
MeOH A2	22.14	20.03	21.08
MeOH B2	26.27	27.11	26.69
MeOH A3	12.32	14.94	13.63
MeOH B3	22.16	21.47	21.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.9 ปริมาณของเมทานอลโดยคำนวณจากโปรแกรม Polymath จากการทดลองที่ 9  
(อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล = 1:6 , อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส)

ชนิดของเมทานอล	% MeOH		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MeOH A1	28.47	30.67	29.57
MeOH B1	-	-	-
MeOH A2	-	-	-
MeOH B2	-	-	-
MeOH A3	-	-	-
MeOH B3	-	-	-

