

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดและการประมาณค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซล

MEASUREMENT AND ESTIMATION

OF SURFACE TENSION OF BIODIESEL



นางสาวนิตา ห่ออุคมพันธ์
นายนิพนธ์ ตระกูลพิทักษ์

26/4
#5697
JSC

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **83200**
วัน,เดือน,ปี..... - 6 ส.ค. 2551

b. 11a b 2 b 3 x
i.

**ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MEASUREMENT AND ESTIMATION
OF SURFACE TENSION OF BIODIESEL**



**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**

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง
โดย

การวัดและการประมาณค่าแรงดึงผิวของ ไบโอดีเซล
นางสาวนิตา หล่ออุดมพันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

นายนิพนธ์ ตระกูลพิทักษ์
ผศ.ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)


.....กรรมการ
(ผศ.ดร.อภิวัฒน์ นัมคณิศรณ)

.....กรรมการ
(ดร.วลัยรัตน์ สุขสมัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การวัดและการประมาณค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซล
โดย นางสาวนิตา หล่ออุดมพันธ์
นายนิพนธ์ ตระกูลพิทักษ์
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผศ.ดร.สุรัตน์ อาริรัตน์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาการวัดค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลวและพัฒนาสมการเพื่อใช้ประมาณค่าแรงตึงผิวที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิและอัตราส่วนของไบโอดีเซลผสมซึ่งประกอบด้วยน้ำมันดีเซลกับไบโอดีเซล 2 ชนิดคือไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้วในอัตราส่วนร้อยละ 0:100 , 25:75 , 50:50 , 75:25 และ 100:0 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 80 องศาเซลเซียส ค่าแรงตึงผิวที่วัดได้อยู่ในช่วง 19.5 - 25.0 มิลลินิวตันต่อเมตร และค่าแรงตึงผิวที่คำนวณจากสมการที่พัฒนาขึ้นมีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (%AAD) จากผลการทดลองเท่ากับ 0.7 – 1.2 ซึ่งถือว่าน้อยมาก จึงสามารถใช้สมการที่พัฒนาขึ้นประมาณค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสมได้

เมื่อศึกษาผลของสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด และแรงตึงผิวที่มีต่อขนาดหยดน้ำมัน โดยใช้สมการเอมพิริคัลในการประมาณค่าขนาดหยดน้ำมันในเทอมของค่า Sauter Mean Diameter (SMD) ในการทดลองได้ใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ในการวัดค่าความหนาแน่น พบว่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลผสมจะอยู่ในช่วง 795 – 868 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และใช้วิสโคมิเตอร์ (Viscometer) ในการวัดค่าความหนืด พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลผสมอยู่ในช่วง 1.92 – 6.49 เซนติสโตก จากข้อมูลสมบัติทางกายภาพดังกล่าวสามารถคำนวณขนาดหยดน้ำมันไบโอดีเซลผสมได้ พบว่า ขนาดหยดน้ำมันมีค่าอยู่ในช่วง 19.0 – 39.2 ไมครอน ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า เมื่อความหนาแน่น ความหนืด และแรงตึงผิวมีค่าลดลง จะส่งผลให้ขนาดหยดน้ำมันลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลดีขึ้น และที่อัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลต่ำ เช่น อัตราส่วนการผสมไบโอดีเซลร้อยละ 25 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลผสมจะมีขนาดหยดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ดังนั้นในการนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงนิยมนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่ำก่อน เพื่อให้ไบโอดีเซลผสมมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

Report title Measurement and estimation of surface tension of biodiesel
By Miss Nida Lawudomphan
 Mr. Nipon Trakunphitak
Advisor Asst. Prof. Dr. Surat Areerat
Report for Bachelor Degree in Chemical Engineering
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This paper studied the surface tension of biodiesel using pendent drop image processing. The measurement was used to develop mathematical equations to estimate the surface tension as function of temperature and blend ratios. Biodiesel-blends consisted of diesel oil and biodiesel that produced from palm oil and used oil, the ratios of diesel oil to biodiesel were 0:100 , 25:75 , 50:50 , 75:25 and 100:0 percents by volume at temperatures of 25, 50 and 80 degree celsius. The measured surface tension was in the range of 19.5 to 25.0 millinewtons per meter. The measured surface tension was comparable to the calculated value, so we can use the developed equation to estimate the surface tension of biodiesel.

We estimated for atomization of biodiesels and their blends in term of Sauter Mean Diameter (SMD) and effects of the physical properties such as density, viscosity and surface tension on SMD. The density and the viscosity of biodiesel-blends were 795 to 868 kilograms per cubic meter and 1.92 to 6.49 centistokes respectively. This information can be use to calculate corresponding SMD. The SMD was found to be about 19.0 to 39.2 micron. When the density, viscosity and surface tension decreased SMD to decreased. At the low blend ratio, SMD of Biodiesel-blend was almost the same as SMD of diesel. In practice, the low blend ratio will be used in diesel motor because their properties to be similar to diesel oil.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์และบุคคลฝ่ายต่างๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์และให้คำปรึกษาสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่องานปริญญาโท

ขอขอบคุณ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำมัน

ขอขอบคุณ คุณนิกร เกิดทองกลาง และ คุณปฐมภรณ์ ทรัพย์เจริญ ที่ให้คำปรึกษาวิธีใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณ คุณพงศ์ประกาศ ปิยมโนชา และ คุณเศรษฐการ พรหมศิริ ที่ช่วยตรวจสอบความถูกต้องของรายงานเล่มนี้

สุดท้ายขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุวัฒน์ อารีรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำตลอดมา และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

นิตา หล่ออุดมพันธ์

นิพนธ์ ตระกูลพิทักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์การวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ไบโอดีเซล.....	3
2.1.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล.....	3
2.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล.....	5
2.1.3 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล.....	6
2.1.4 มาตรการส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซล.....	7
2.2 สมบัติของ ไบโอดีเซล.....	8
2.2.1 ความหนืด.....	8
2.2.2 ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ.....	8
2.2.3 จุดเดือดปกติ.....	9
2.3 แรงตึงผิว.....	9
2.3.1 การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำ.....	9
ก. หลักการ.....	9
ข. การคำนวณแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำ.....	10
2.3.2 การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่าง.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 การประมาณค่าแรงตึงผิว.....	12
ก. การประมาณค่าแรงตึงผิวของน้ำมันดีเซล.....	12
ข. การประมาณค่าแรงตึงผิวของของเหลวบริสุทธิ์.....	12
ค. การประมาณค่าแรงตึงผิวของของเหลวผสมที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ....	14
ง. การประมาณค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสม.....	14
2.4 การประมาณค่าขนาดของหยดน้ำมัน.....	15
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	17
3.1 การวัดค่าแรงตึงผิวของน้ำมันตัวอย่าง.....	18
3.1.1 สารที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3.1.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	18
3.1.3 วิธีการทดลอง.....	19
3.2 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันตัวอย่าง.....	19
3.2.1 สารที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.2.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	20
3.2.3 วิธีการทดลอง.....	20
3.3 การวัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง.....	20
3.3.1 สารที่ใช้ในการทดลอง.....	20
3.3.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	20
3.3.3 วิธีการทดลอง.....	20
3.4 การวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่าง.....	21
3.4.1 สารที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3.4.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	21
3.4.3 วิธีการทดลอง.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	23
4.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมัน.....	23
4.1.1 ผลของอัตราส่วนการผสมต่อความถ่วงจำเพาะและความหนืด.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตั้งจ้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 ผลของอุณหภูมิต่อความถ่วงจำเพาะและความหนืด.....	25
4.1.3 ผลของชนิดน้ำมันต่อความถ่วงจำเพาะและความหนืด.....	26
4.2 การศึกษาเกี่ยวกับค่าแรงตึงผิว.....	28
4.2.1 การสอบเทียบช่วงการวัดแรงตึงผิวของเครื่องมือวัด (Validation method).....	28
4.2.2 ผลของปริมาตรหยดน้ำมันที่มีต่อค่าแรงตึงผิว.....	29
4.2.3 ผลการศึกษาระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของหยดน้ำมัน.....	30
4.2.4 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวโดยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลว.....	30
ก. ผลของอัตราส่วนการผสมต่อค่าแรงตึงผิว.....	31
ข. ผลของอุณหภูมิต่อค่าแรงตึงผิว.....	32
4.2.5 ผลการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่าง.....	32
4.3 การประมาณค่าแรงตึงผิวและขนาดหยดน้ำมัน.....	33
4.3.1 ผลการคำนวณค่าแรงตึงผิวโดยใช้สมการ Quadratic mixing rule.....	33
4.3.2 ค่าพารามิเตอร์ในสมการคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น.....	35
ก. ค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ (k_{12}).....	35
ข. ค่าพารามิเตอร์ [P] จากผลการทดลอง.....	35
ค. ค่าแฟกเตอร์แก้ไขในส่วนของคิเชล (α).....	36
4.3.3 การประมาณค่าและเปรียบเทียบขนาดหยดน้ำมัน.....	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	39
5.1 การวัดค่าแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลว.....	39
5.2 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสม.....	39
5.3 สมการที่พัฒนาขึ้นเพื่อทำนายค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสม.....	39
5.4 การประมาณค่าและเปรียบเทียบขนาดหยดของไบโอดีเซลผสม.....	40
5.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการวัดความถ่วงจำเพาะและวิธีคำนวณค่าความหนาแน่น.....	42
ภาคผนวก ข. ผลการวัดและวิธีคำนวณค่าความหนืด.....	46
ภาคผนวก ค. การคำนวณหาค่าแรงตึงผิวของ โป ไอดีเซลผสมจาก โพร ไฟล์รูปหยดน้ำ...50	
ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบการวัดค่ามุมสัมผัสของ โป ไอดีเซลผสม.....	54
ภาคผนวก จ. ขั้นตอนการพัฒนาสมการควอคราติกและตัวอย่างคำสั่ง การคำนวณบนโปรแกรม Visual Basic for application.....	57
ภาคผนวก ฉ. การประมาณค่าพารามิเตอร์ของ โป ไอดีเซลจากน้ำมันปาล์มอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก ช. ผลและวิธีการคำนวณค่าแรงตึงผิวจากสมการที่พัฒนาขึ้น.....	70
ภาคผนวก ซ. ผลและวิธีการคำนวณขนาดหยดน้ำมัน.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปร่างของหยดวัสดุ.....	10
รูปที่ 2.3 ทิศทางของแรงดึงผิวระหว่างของแข็ง- ของเหลว ในรูปเวกเตอร์.....	11
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดแรงดึงผิวจากภาพหยดของเหลว.....	18
รูปที่ 3.2 โปรแกรมคำนวณค่าแรงดึงผิว (Still cap)	19
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์สำหรับวัดค่าความหนืด.....	21
รูปที่ 3.4 เครื่อง Contact Angle Meter	22
รูปที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนการผสมต่อความถ่วงจำเพาะและความหนืด ของไบโอดีเซลผสมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส.....	24
รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิต่อความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม และน้ำมันใช้แล้ว.....	25
รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม และน้ำมันใช้แล้ว.....	26
รูปที่ 4.4 ผลของชนิดน้ำมันและอัตราส่วนการผสมต่อความถ่วงจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส.....	27
รูปที่ 4.5 ผลของชนิดน้ำมันและอัตราส่วนการผสมต่อความหนืด ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส.....	28
รูปที่ 4.6 ผลของปริมาตรหยดน้ำมันที่มีต่อค่าแรงดึงผิว.....	29
รูปที่ 4.7 ระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของหยดน้ำมัน.....	30
รูปที่ 4.8 ผลของอัตราส่วนการผสมต่อค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซล ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส.....	31
รูปที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิต่อค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม และน้ำมันใช้แล้ว.....	32
รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดึงผิวที่วัดได้จากการทดลองและผลการคำนวณ	34
รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิต่อค่าแฟคเตอร์แก้ไขในส่วนขนานของน้ำมันดีเซล (α).....	36
รูปที่ 4.12 ผลของชนิดน้ำมันและอัตราส่วนการผสมต่อค่าแรงดึงผิว ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส.....	38
รูปที่ ค.1 รูปหยดน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	51
รูปที่ ค.2 กราฟระหว่างมุมสัมผัสและความยาวตามแนวรูปหยดน้ำ.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตัดสู่อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	4
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดคลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ของกรคไบมันพุทธศักราช 2548.....	5
ตารางที่ 2.3 ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้าง โมเลกุลต่างๆ.....	13
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนและชื่อเรียกน้ำมันผสมในงานวิจัย.....	17
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลความถ่วงจำเพาะและความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม.....	23
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลความถ่วงจำเพาะและความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว.....	23
ตารางที่ 4.3 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดแรงตึงผิวกับของเหลวมาตรฐาน.....	29
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลค่าแรงตึงผิวของน้ำมันตัวอย่าง.....	31
ตารางที่ 4.5 ค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง.....	33
ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (%AAD) ของผลต่างระหว่าง ค่าแรงตึงผิวที่ได้จากการวัด โดยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลวและ คำนวณจากสมการที่พัฒนาขึ้น.....	35
ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ (k_{12}) และค่าพารามิเตอร์ [P] จากผลการทดลอง.....	36
ตารางที่ 4.8 ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของละอองน้ำมันที่คำนวณจากสมการที่ (2.17)	37
ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	43
ตารางที่ ก.2 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	43
ตารางที่ ก.3 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	43
ตารางที่ ก.4 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	44
ตารางที่ ก.5 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	44
ตารางที่ ก.6 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	44
ตารางที่ ข.1 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และคัดลอกอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ข.2 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	47
ตารางที่ ข.3 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	47
ตารางที่ ข.4 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันไข่แล้ว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	48
ตารางที่ ข.5 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันไข่แล้ว ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	48
ตารางที่ ข.6 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันไข่แล้ว ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	48
ตารางที่ ข.7 ค่าคงที่เฉพาะที่อุณหภูมิตดลอง.....	49
ตารางที่ ก.1 พารามิเตอร์รูปร่างที่วัดได้จากภาพหยดน้ำ.....	51
ตารางที่ ง.1 ค่าแรงตึงผิวของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง.....	55
ตารางที่ ง.2 ค่ามุมสัมผัสของไบโอดีเซลผสมระหว่างไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม กับน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	55
ตารางที่ ง.3 ค่ามุมสัมผัสของไบโอดีเซลผสมระหว่างไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่แล้ว กับน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	56
ตารางที่ จ.1 ข้อมูล ค่า k_{12} ค่าพาราซอร์ และค่า α จากการ Fitting curve ในขั้นตอนที่ 1.....	58
ตารางที่ ฉ.1 ปริมาณขององค์ประกอบ ความหนาแน่น มวลโมเลกุลและพาราซอร์ ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มอ้างอิง.....	69
ตารางที่ ช.1 ข้อมูลค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่คำนวณจาก สมการควอดราติกที่พัฒนาขึ้น.....	72
ตารางที่ ซ.1 ข้อมูลการคำนวณ SMD ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม.....	74
ตารางที่ ซ.2 ข้อมูลการคำนวณ SMD ของไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่แล้ว.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

g	ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
k_{12}	พารามิเตอร์ปรับแก้
M	มวลโมเลกุล
$[P]$	พาราซอร์จากทฤษฎี ($\text{cm}^3 \text{g}^{1/4} / \text{s}^{1/2} \text{mol}$)
$[Ps]$	พาราซอร์จากการทดลอง ($\text{cm}^3 / \text{s}^{1/2} \text{g}^{3/4}$)
SG	ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส
SMD	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำมัน (ไมโครเมตร)
T	อุณหภูมิ (เคลวิน)
T_b	จุดเดือดปกติ (เคลวิน)
T_c	อุณหภูมิวิกฤติ (เคลวิน)
W_i	สัดส่วนโดยปริมาตรของของผสม
x_i	สัดส่วนโมลขององค์ประกอบ i
y_i	สัดส่วนมวลขององค์ประกอบ i

สัญลักษณ์กรีก

ρ_L	ความหนาแน่นของของเหลวบริสุทธิ์ในวัฏภาคของเหลว (โมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
ρ_v	ความหนาแน่นของของเหลวบริสุทธิ์ในวัฏภาคไอ (โมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
ρ_{Lm}	ความหนาแน่นของของผสมในวัฏภาคของเหลว (โมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
ρ_{Vm}	ความหนาแน่นของของผสมในวัฏภาคไอ (โมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
ρ_A	ค่าความหนาแน่นของอากาศภายในห้องเผาไหม้ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และความดันของแก๊สภายในห้องเผาไหม้ (บาร์)
ρ_m	ค่าความหนาแน่นของน้ำมัน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
Δp	ผลต่างของความหนาแน่นของของเหลวและอากาศ
Δp_L	ผลต่างของความดันระหว่างความดันของละอองที่ถูกฉีดผ่านหัวฉีด (บาร์)
θ	มุมสัมผัสที่วัดได้จากหยดของของเหลวบนของแข็ง (องศา)
ϕ	มุมสัมผัส โพธิ์ไฟล์ของหยดวัสดุ (องศา)
μ	ความหนืด (เซนติสโตก)
v_m	ค่าความหนืดของน้ำมัน (ตารางเมตรต่อวินาที)
γ	แรงตึงผิวของของเหลวบริสุทธิ์หรือแรงตึงผิวของน้ำมันดีเซล (มิลลินิวตันต่อเมตร)
γ_m	แรงตึงผิวของของผสม (มิลลินิวตันต่อเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

- γ_{mix} แรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสม (มิลลินิวตันต่อเมตร)
- γ_L แรงดึงผิวของของเหลว ณ สภาวะสมดุล (มิลลินิวตันต่อเมตร)
- γ_{SL} แรงดึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลว ณ สภาวะสมดุล (มิลลินิวตันต่อเมตร)
- γ_{SV} แรงดึงผิวระหว่างของแข็ง-ไอ ณ สภาวะสมดุล (มิลลินิวตันต่อเมตร)
- γ_{12} Interaction parameter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยขาดแคลนแหล่งทรัพยากรทางด้านพลังงานปิโตรเลียม อีกทั้งยังมีความต้องการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในปริมาณสูง ทำให้ต้องนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมดิบจากต่างประเทศจำนวนมาก ซึ่งคิดเป็นมูลค่ามหาศาลในแต่ละปี และราคาน้ำมันปิโตรเลียมดิบในตลาดโลกมีความผันผวนค่อนข้างมาก จากผลกระทบด้านราคาและการขาดดุลการค้า ทางภาครัฐ ได้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาจึงได้หันมาส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนซึ่งได้จากพืชและสัตว์อย่างจริงจัง เพื่อช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันปิโตรเลียมและลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญชนิดหนึ่ง สามารถผลิตจากพืชน้ำมันหลายชนิด เช่น ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วเหลือง ทานตะวัน และเมล็ดสบู่ดำ ซึ่งนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม จึงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้

ไบโอดีเซลได้กลายเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่สำหรับประเทศไทยเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ซึ่งการนำไบโอดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของไบโอดีเซลหลายประการที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ ความหนืด แรงตึงผิว ความถ่วงจำเพาะ ค่าความร้อน และจุดวาบไฟ เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติสองอย่างแรกมีผลอย่างมากต่อขนาดของหยดน้ำมันที่ถูกพ่นเป็นละอองเล็กๆ ผ่านหัวฉีดเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ ซึ่งหากไบโอดีเซลมีค่าความหนืดและแรงตึงผิวที่เหมาะสมจะส่งผลให้ขนาดหยดน้ำมันที่ถูกพ่นผ่านหัวฉีดมีขนาดที่พอเหมาะ ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ส่งผลดีต่อเครื่องยนต์ในด้านช่วยลดสิ้นและเพิ่มอายุการใช้งาน อีกทั้งยังช่วยลดมลพิษได้อีกด้วย

จะเห็นได้ว่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญ อีกทั้งจำนวนงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับแรงตึงผิวของไบโอดีเซลนั้นยังมีน้อย ดังนั้นการศึกษาและพัฒนาสมการทำนายค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลจึงเป็นงานวิจัยที่มีประโยชน์เป็นอย่างยิ่งสำหรับการช่วยปรับปรุงคุณภาพไบโอดีเซลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาวิธีวัดค่าแรงตึงผิวจากภาพหยดของเหลว

1.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซล (B100) ที่ผลิตจากวัตถุดิบต่าง

ชนิดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 ศึกษาและเปรียบเทียบค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมซึ่งประกอบด้วยไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (D1) ที่ผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างกัน

1.2.4 พัฒนาศมการเพื่อใช้ทำนายค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมซึ่งประกอบด้วยไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่ผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างกันได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 วัดค่าแรงดึงผิว ความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้ว

1.3.2 วัดค่าแรงดึงผิว ความหนืด และความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมซึ่งประกอบด้วยไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล ที่ผสมกันด้วยอัตราส่วนร้อยละ 25:75, 50:50 และ 75:25 โดยปริมาตร

1.3.3 วัดค่าแรงดึงผิวของน้ำมันในข้อ 1.3.1 และ 1.3.2 ด้วยวิธีการคำนวณแรงดึงผิวจากภาพหยดของเหลว (Pendant drop) ที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

1.4 ประโยชน์การวิจัย

1.4.1 เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลให้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

1.4.2 สามารถใช้ค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างชนิดกันและเป็นแนวทางในการเลือกใช้ไบโอดีเซลให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์

1.4.3 สามารถนำความสัมพันธ์ของแรงดึงผิวกับอัตราส่วนระหว่างไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล มาปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ได้

ไบโอดีเซลมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จุดวาบไฟของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้ว ค่าซีเทนที่เป็นดัชนีบอกระดับคุณภาพการติดไฟของไบโอดีเซลยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [6]

Fuel Property	Diesel	Blodiesel
Fuel standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower heating value, Btu/gal	~129050	~118170
Kinematic viscosity @ 40°C	1.3 - 4.1	4.0 - 6.0
Specific gravity kg/l @ 60°F	0.85	0.88
Density, lb/gal @ 15°C	7.079	7.328
Water and sediment, vol%	0.05 max	0.05 max
Carbon, wt %	87	77
Hydrogen, wt %	13	12
Oxygen, by dif. wt %	0	11
Sulfur, wt %	0.05 max	0.0 - 0.0024
Boiling point °C	180 - 340	315 - 350
Flash point, °C	60 - 80	100 - 170
Cloud point, °C	-15 to 5	-3 to 12
Pour point, °C	-35 to -15	-15 to 10
Cetane number	40 - 55	48 - 65
Lubricity SLBOCLE, grams	2000 - 5000	> 7000
Lubricity HFRR, microns	300 - 600	< 300

องค์ประกอบของไบโอดีเซลเป็นสารประเภทเมทิลเอสเทอร์ แต่โดยปกติแล้วมักมีสารอื่นเจือปนอยู่เล็กน้อย โดยสิ่งเจือปนเหล่านี้ควรมีปริมาณตามตารางที่ 2.2 ซึ่งเป็นข้อกำหนดปริมาณขององค์ประกอบในไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน ทำให้ไบโอดีเซลมีมาตรฐานและเหมาะสมกับการใช้ในเครื่องยนต์มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน
พุทธศักราช 2548 [6]

รายการ	รายการข้อกำหนด	ระดับความเข้มข้น	หน่วยที่วัด
1	Methyl ester	> 96.5	%wt
2	Linolenic acid methyl ester	< 12	%wt
3	Monoglyceride	< 0.8	%wt
4	Diglyceride	< 0.2	%wt
5	Triglyceride	< 0.2	%wt
6	Free glycerin	< 0.2	%wt
7	Total glycerin	< 0.25	%wt
8	Methanol	< 0.2	%wt
9	โลหะกลุ่ม 1 : Na , K	< 5	mg/kg (ppm)
10	โลหะกลุ่ม 2 : Ca , Mg	< 5	mg/kg (ppm)
11	Phosphorus	< 0.001	%wt
12	Sulphur	< 0.001	%wt
13	Water	< 0.05	%wt

2.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลภายในประเทศไทยมีอยู่หลายชนิด แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต โดยวัตถุดิบที่นิยมใช้มีดังนี้

ก. ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น ก็มิต้นทุนการผลิตต่ำ ให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง ทนต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติได้ดี อีกทั้งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานถึง 20 ปี รัฐบาลจึงมีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกปาล์มน้ำมันพันธุ์ดีทดแทนพืชอื่นๆ ที่มีรายได้ต่ำกว่า โดยพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ลงไป ในปัจจุบันจังหวัดกระบี่มีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในประเทศไทย คือ ประมาณร้อยละ 40 ของพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันทั้งประเทศรองลงมาคือ สุราษฎร์ธานี และชุมพร

ข. สบู่ดำ เป็นพืชน้ำมันอย่างหนึ่งที่ภาครัฐมนตรีนโยบายส่งเสริมให้ปลูกเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลชุมชน เนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูกง่ายไม่ต้องดูแลมาก ทนต่อสภาพแล้งและน้ำท่วมทำให้ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วทุกภาคแม้แต่ในพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้น้อย สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ภายในหนึ่งปีหลังปลูก และมีอายุยืนกว่า 30 ปี น้ำมันที่บีบจากผลสบู่ดำสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการเกษตรได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งจากที่สบู่ดำเป็นพืชรับประทานไม่ได้ซึ่งแตกต่างจากพืชน้ำมันชนิดอื่น จึงทำให้ราคาไม่ผันผวน โดยราคามะลิสบู่ดำอยู่ที่ประมาณ 3 - 4 บาทต่อกิโลกรัม การสกัดต้องใช้จำนวนเมล็ดถึง 4 กิโลกรัมจึงจะได้น้ำมัน 1 ลิตร ทำให้ต้นทุนน้ำมันสบู่ดำอยู่ที่ประมาณ 12 - 16 บาทต่อลิตร ซึ่งยังคงต่ำกว่าราคาน้ำมันปาล์มดิบที่มีราคาค่อนข้างผันผวนอยู่ที่ประมาณ 14 - 22 บาทต่อลิตร

ค. น้ำมันพืชใช้แล้ว เป็นวัตถุดิบอีกประเภทหนึ่งที่ควรส่งเสริมให้นำไปผลิตไบโอดีเซล ซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ด้านพลังงานแล้ว ยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขได้เป็นอย่างดี สำหรับประเทศไทยมีการบริโภคน้ำมันพืชกว่า 800,000 ตันต่อปี ประเมินกันว่าน่าจะมีน้ำมันพืชใช้แล้วเหลือมากกว่า 100 ล้านลิตรต่อปี ดังนั้นน้ำมันพืชใช้แล้วจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

2.1.3 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล

การใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์มีประโยชน์หลายประการ ดังจะกล่าวต่อไปนี้

ก. ด้านสิ่งแวดล้อม

- การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National biodiesel) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม (US Environment Protection Agency) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำวิจัยและทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่างๆ กับเครื่องยนต์ดีเซล และได้รายงานว่ามีไบโอดีเซลสูตร B100 และ B20 สามารถลดมลพิษได้จากการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในวเนกรมอุทการเรือกองทัพเรือ ก็ได้รายงานผลการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้า ว่าสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 40

- การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก เพราะผลิตจากพืช
- การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันมิให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ซึ่งมีสารไดออกซินที่เป็นสารก่อมะเร็งไปผลิตเป็นอาหารสัตว์

ข. ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

- การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล จากผลการทดลองของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) พบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าวในอัตราร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากในไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดีจึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น

- ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อดีของไบโอดีเซลไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

ค. ด้านเศรษฐศาสตร์

- การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค

- การใช้ไบโอดีเซลสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 300,000 ล้านบาท

ง. ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ

- ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก ตลาดน้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซินกว่า 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้ภายในประเทศ ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้

- การผสมไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 1-2 สามารถเพิ่มความหล่อลื่นในน้ำมันดีเซลได้ โดยเฉพาะกรณีที่จะมีการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

จ. ด้านความมั่นคง

- การใช้ไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ถือเป็น การเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ

2.1.4 มาตรการส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซล

ภาครัฐได้เห็นถึงความสำคัญของไบโอดีเซลในปัจจุบันจึงได้ออกมาตรการส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ ซึ่งมีแนวทางดังนี้

ก. สนับสนุนการปลูกปาล์ม 5 ล้านไร่ เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล

ข. สนับสนุนผู้ประกอบการผลิตไบโอดีเซล ตามสิทธิประโยชน์ของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน BOI เช่น ยกเว้นภาษีนำเข้าเครื่องจักร ยกเว้นภาษีรายได้ 8 ปี

ค. สร้างตลาดสำหรับไบโอดีเซล โดยใช้มาตรการทางภาษี เพื่อให้ราคาขายปลีกน้ำมันไบโอดีเซลต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. ออกประกาศกรมธุรกิจพลังงานฯ เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548 เมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2548 เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภค

2.2 คุณสมบัติของไบโอดีเซล

2.2.1 ความหนืด

ความหนืดส่งผลต่อขนาดของหยดน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นอย่างมาก และเนื่องจากก๊าซออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับน้ำมันเฉพาะบริเวณผิวน้ำมันเท่านั้น ดังนั้นถ้าหยดน้ำมันที่ฉีดเข้ามามีขนาดใหญ่ก็จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

วิธีการทำนายความหนืดของไบโอดีเซลยังมีไม่มากเมื่อเทียบกับวิธีการทำนายความหนืดของน้ำมันปิโตรเลียม การหาความหนืดของ Fatty acid methyl ester (FAME) อิมิตัวที่ 40 องศาเซลเซียส หาได้จาก

$$\mu = 1.05 \times 10^{-4} M^2 - 0.024M + 2.15 \quad (2.1)$$

และความหนืดของไบโอดีเซลที่ประกอบด้วย FAME อิมิตัวที่ 40 องศาเซลเซียส หาได้จาก

$$\ln \mu = \sum_{i=1}^n y_i \ln \mu_i \quad (2.2)$$

เมื่อ y_i = สัดส่วนมวลขององค์ประกอบในไบโอดีเซล

นอกจากนี้แล้วยังมีสมการทำนายความหนืดของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่างๆ โดยขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมคาร์บอนใน FAME โดยคำนวณความหนืดของ FAME ที่เป็นองค์ประกอบย่อยในไบโอดีเซล ซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.3

$$\ln \mu = a + bz + \frac{c}{T} + \frac{dz}{T} \quad (2.3)$$

เมื่อ a, b, c, d = ค่าคงที่จากการทดลอง

T = อุณหภูมิ (เคลวิน)

2.2.2 ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ

ความหนาแน่นของสารเป็นนิยามของมวลส่วนด้วยปริมาตรของสารนั้นๆ นิยมบอกในหน่วยของกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หรือกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) โดยหากสาร 2 ชนิดมีปริมาตรเท่ากัน สารที่มีความหนาแน่นมากจะมีมวลมากกว่าสารที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า

ความถ่วงจำเพาะเป็นนิยามของความหนาแน่นของสารนั้นๆ ส่วนด้วยความหนาแน่นของสารอ้างอิงซึ่งโดยปกติคือน้ำ ความหนาแน่นประมาณ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นและความถ่วงจำเพาะจึงมีค่าใกล้เคียงกันนั่นเอง ซึ่งค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะนี้เป็นตัวแปรที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่มีผลต่อจุดเดือดปกติและค่าแรงตึงผิวของน้ำมัน

2.2.3 จุดเดือดปกติ

จุดเดือดปกติของสารคือ จุดเดือดของสารที่ความดันบรรยากาศ สำหรับน้ำมันชนิดต่างๆ สามารถหาค่าจุดเดือดปกติได้ เมื่อทราบข้อมูลการกลั่น ASTM (ASTM distillation) ค่าจุดเดือดปกตินี้เป็นตัวแปรที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่มีผลต่อค่าแรงตึงผิวของน้ำมัน

2.3 แรงตึงผิว

แรงตึงผิว (γ) คือแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของของไหล โมเลกุลของของไหลจะดึงดูดกับโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง แรงของโมเลกุลที่อยู่ในของเหลวสมดุลจากแรงกระทำของโมเลกุลอื่นๆที่อยู่โดยรอบในขณะที่โมเลกุลที่อยู่บนพื้นผิวเกิดการไม่สมดุล ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดพลังงานอิสระที่ผิวของของไหล พลังงานที่มากเกินไปนี้เรียกว่าพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Surface free energy) มักถูกบอกปริมาณในรูปของพลังงานต่อพื้นที่ นอกจากนี้ยังสามารถลดทอนให้เหลืออยู่ในรูปของ พลังงานต่อระยะทาง โดยทั่วไปหน่วยที่นิยมใช้ในการวัดแรงตึงผิวคือดาไนต์ต่อเซนติเมตร (dyne/cm) หรือมิลลินิวตันต่อเมตร (mN/m) พลังงานที่เกินพอนี้เกิดขึ้นที่ระหว่างผิวของของไหลสองชนิด ถ้าหากของไหลชนิดหนึ่งอยู่ในสถานะก๊าซ พลังงานที่วัดได้จากผิวของของไหลจะถูกเรียกว่าแรงตึงผิว แต่ถ้าหากการวัดเกิดขึ้นที่ระหว่างผิวของของเหลวสองชนิดจะเรียกพลังงานนี้ว่าแรงระหว่างผิว (Interfacial tension) ผลจากการที่โมเลกุลจะถูกดึงดูดเข้าสู่ศูนย์กลางทำให้ของเหลวมีแนวโน้มที่จะมีรูปร่างซึ่งมีโมเลกุลอยู่บริเวณศูนย์กลางมากที่สุด โดยมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด นั่นก็คือจะมีรูปร่างเป็นทรงกลมซึ่งเป็นรูปร่างที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด

2.3.1 การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำ

ก. หลักการ

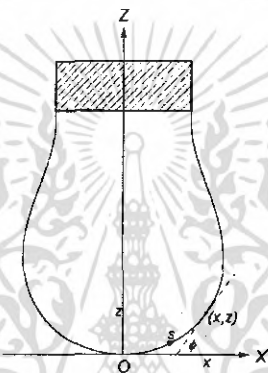
การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพแบบรูปหยดน้ำอาศัยหลักการดุลของแรง เมื่อหยดของสารอยู่ในสภาวะที่เสถียรจะมีแรงที่กระทำต่อหยดในขณะนั้น 3 แรงคือ แรงตึงผิว (Surface tension) แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force) และแรงลอยตัว (Buoyancy force) อันเนื่องมาจากอากาศ ซึ่งทั้ง 3 แรงนี้จะอยู่ในสภาวะสมดุล โดยแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้หยดของไบโอดีเซลตกลงสู่พื้นโลกตามแนวตั้งในขณะที่แรงตึงผิวของไบโอดีเซลและแรงลอยตัวจะพยายามต้านทานการตกลงสู่พื้นโลก โดยทำให้ไบโอดีเซลก่อตัวเป็นหยดที่มีรูปทรงสมมาตรและเสถียรในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งแรงตึงผิวมีค่าแตกต่างกันตามชนิด และโครงสร้างทางโมเลกุลของไบโอดีเซล แต่อย่างไรก็ตามการวัดค่าแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำนี้ยังมีข้อจำกัดคือ จำเป็นต้องให้ระบบเข้าสู่สภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมูล ดังนั้นสารที่จะนำมาวัดจะต้องมีหยดที่เสถียรและไม่สลายตัว หรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในระหว่างการทดลอง

ข. การคำนวณแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำ

การคำนวณแรงตึงผิวด้วยวิธีการสร้าง โพรไฟล์ของรูปหยดน้ำเป็นวิธีการคำนวณจาก สมการลาปลาซ-ยัง โดยอาศัยข้อมูลขนาดและลักษณะรูปร่างของภาพหยดของไบโอดีเซล วิธีการ นี้เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวัดค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซล ซึ่งเกิดเป็นลักษณะหยดได้ง่าย เมื่อทำการทดลองจนกระทั่งได้ภาพหยดวัสดุจะสามารถทำการสร้าง โพรไฟล์ของรูปหยดวัสดุได้ดัง แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปร่างของหยดวัสดุ [4]

จากภาพดังกล่าว โพรไฟล์ของรูปหยดในสองมิติตามแนวแกน x และ z สามารถเขียนใน รูปของฟังก์ชัน $p(x,z)$ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการดังนี้

$$\frac{d\phi}{dS} = \frac{2}{B} - Z - \frac{\sin \phi}{X} \quad (2.4)$$

$$\frac{dX}{dS} = \cos \phi \quad (2.5)$$

$$\frac{dZ}{dS} = \sin \phi \quad (2.6)$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือที่จุดยอดของหยดวัสดุ

$$X = Z = S = \phi = 0$$

$$\frac{\sin \phi}{X} = \frac{1}{B} \quad (2.7)$$

$$B = \frac{1}{ak_{apex}}, \quad k_{apex} = \left(\frac{x}{\sin \phi} \right)_{apex} \quad (2.8)$$

$$a = \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta \rho g}} \quad (2.9)$$

เมื่อ $\Delta \rho =$ ผลต่างของความหนาแน่นของของเหลวและอากาศ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϕ = มุมสัมผัสโพรไฟล์ของหยดของเหลว (องศา)

g = ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

γ = แรงตึงผิวของของเหลว (mN/m)

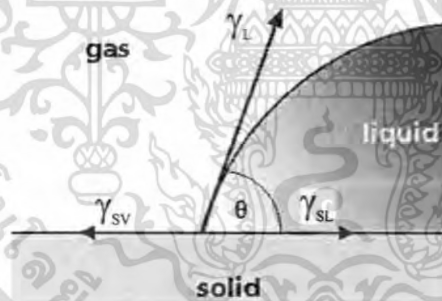
X, Z และ S เป็นรูปไร้หน่วยของพิกัด x, z และ s ดังแสดงในรูปที่ 2.2 หาได้จาก

$$x = X \cdot a, z = Z \cdot a, s = S \cdot a \quad (2.10)$$

สมการที่ (2.4) – (2.6) เป็นรูปหนึ่งของสมการลาปลาซ-ยัง (Laplace – Young Equation) สำหรับกรณีของรูปหยดน้ำ ดังนั้นจากลักษณะรูปร่างที่ได้จากการทดลอง และความหนาแน่นของไบโอดีเซลที่ทำการวัดค่าได้ จึงสามารถหาค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลได้นั่นเอง

2.3.2 การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่าง

วิธีการนี้เป็นการวัดแรงตึงผิวที่อุณหภูมิค่า [4] แสดงสมการความสัมพันธ์ ของค่าแรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลว โดยสามารถเขียนในรูปเวกเตอร์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ทิศทางของแรงตึงผิว ระหว่างของแข็ง-ของเหลว ในรูปเวกเตอร์[4]

จากรูปที่ 2.3 คูณแรงของเวกเตอร์ทั้ง 3 ทิศทาง จะได้ สมการที่ 2.2

$$\gamma_{SL} = \gamma_{SV} - \gamma_L \cdot \cos\theta \quad (2.11)$$

เมื่อ γ_{SL} = แรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลว ณ สภาวะสมดุล (mN/m)

γ_{SV} = แรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ไอ ณ สภาวะสมดุล (mN/m)

γ_L = แรงตึงผิวของของเหลว ณ สภาวะสมดุล (mN/m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและขอสงวนสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การประมาณค่าแรงตึงผิว

ก. การประมาณค่าแรงตึงผิวของน้ำมันดีเซล

การทำนายแรงตึงผิวในสมการที่ (2.12) สามารถใช้ได้กับสารไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยมีความผิดพลาด $\pm 2\%$

$$\gamma = \frac{673.7SG(1 - \frac{T}{T_c})^{1.232}}{(1.8T_b)^{1/3}} \quad (2.12)$$

$$\text{และ} \quad T_c = 9.5233[\exp(-9.314 \times 10^{-4} T_b - 0.544442SG) + 6.4791 \times 10^{-4} T_b SG] T_b^{0.81067} SG^{0.53691}$$

เมื่อ γ = แรงตึงผิวของน้ำมันดีเซล (mN/m)

T_b = จุดเดือดปกติ (K)

T_c = อุณหภูมิวิกฤติ (K)

SG = ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส

สมการที่ 2.12 จะให้ผลการคำนวณถูกต้องในกรณีที่มีมวลโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนมีค่า 90 - 300 และจุดเดือดปกติมีค่า 300 - 620 เคลวิน

ข. การประมาณค่าแรงตึงผิวของของเหลวบริสุทธิ์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความหนาแน่นของของเหลวบริสุทธิ์ แสดงดังสมการที่ (2.13) ซึ่งสามารถนำมาประมาณค่าแรงตึงผิวของ FAME ชนิดต่างๆ ได้

$$\gamma^{1/4} = [P](\rho_L - \rho_V) \quad (2.13)$$

เมื่อ γ = ค่าแรงตึงผิวของของเหลวบริสุทธิ์ (mN/m)

[P] = พาราซอร์ ($\text{cm}^3 \text{g}^{1/4}/\text{s}^{1/2} \text{mol}$)

ρ_L = ความหนาแน่นของของเหลวบริสุทธิ์ในวัฏภาคของเหลว (mol/cm^3)

ρ_V = ความหนาแน่นของของเหลวบริสุทธิ์ในวัฏภาคไอ (mol/cm^3)

ถ้าพิจารณาในภาวะซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของของเหลวหรือมีความดันต่ำแล้ว สามารถตัด ρ_V ทิ้งได้เพื่อให้การคำนวณมีความกระชับมากขึ้น สำหรับพาราซอร์สามารถหาได้เมื่อทราบโครงสร้างโมเลกุลของสาร โดยเป็นค่าคงที่ของโครงสร้างโมเลกุลหนึ่งๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างโมเลกุลต่างๆ [1]

Group	Increment	Group	Increment
C	9.0	I	90.3
H	15.5	Se	63
H (in OH)	10.0	Si	31
H in (HN)	12.5	Al	55
CH ₂ <12 carbons	40.0	Sn	64.5
CH ₂ >12 carbons	40.3	As	54
1-methylethyl	133.3	= (terminal; aromatic)	19.1
1-methylpropyl	171.9	= (2,3 position)	17.7
2-methylpropyl	173.3	= (3,4 position)	16.3
1,1-dimethylethyl	170.4	R(C=O)R' (R+R'=2)	51.3
1-methylbutyl	211.7	R(C=O)R' (R+R'=3)	49.0
1-ethylpropyl	209.5	R(C=O)R' (R+R'=4)	47.5
1,1-dimethylpropyl	207.5	R(C=O)R' (R+R'=5)	46.3
1,2-dimethylpropyl	207.9	R(C=O)R' (R+R'=6)	45.3
1,1,2-trimethylpropyl	243.5	R(C=O)R' (R+R'=7)	44.1
C ₆ H ₅	189.6	triple bond	40.6
O ₂ (esters)	54.8	3-member ring	12.5
O	19.8	4-member ring	6.0
N	17.5	5-member ring	3.0
S	49.1	6-member ring	0.8
P	40.5	7-member ring	4.0
F	26.1	sec-sec adjacency	-1.6
Cl	55.2	sec-tert adjacency	-2.0
Br	68.0	tert-tert adjacency	-4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. การประมาณค่าแรงตึงผิวของของเหลวผสมที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (γ_m)

สมการทำนายแรงตึงผิวของของเหลวผสมที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (Nonaqueous mixture) ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2.14) สามารถใช้ทำนายค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลได้เป็นอย่างดี

$$\gamma_m^{1/4} = \sum_{i=1}^n [P_i](\rho_{Lm}x_i - \rho_{vm}y_i) \quad (2.14)$$

เมื่อ γ_m = ค่าแรงตึงผิวของของผสม (mN/m)

$[P_i]$ = พาราเมอร์ขององค์ประกอบ i

x_i , = สัดส่วนโมลขององค์ประกอบ i ในวัฏภาคของเหลว

y_i = สัดส่วนโมลขององค์ประกอบ i ในวัฏภาคไอ

ρ_{Lm} = ความหนาแน่นของของผสมในวัฏภาคของเหลว (mol/cm³)

ρ_{vm} = ความหนาแน่นของของผสมในวัฏภาคไอ (mol/cm³)

เช่นเดียวกับการประมาณค่าแรงตึงผิวของของเหลวบริสุทธิ์ สามารถละพจน์ของ ρ_{vm} ได้ ถ้าพิจารณาในภาวะซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของของเหลวหรือมีความดันต่ำ

ง. การประมาณค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสม

เนื่องจากการประมาณค่าแรงตึงของไบโอดีเซลผสมมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและต้องทำการประมาณค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอีกด้วย ทำให้การพัฒนาสมการที่สามารถทำนายค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนการผสมและอุณหภูมิ จากค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลคู่ผสมจึงมีความสำคัญและทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ง่ายอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้สมการกฎการผสมแบบควอดราติก (Quadratic mixing rule) ในการทำนายค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสม เมื่อทราบค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลคู่ผสมแต่ละชนิดที่นำมาผสมกันที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ดังสมการที่ (2.15)

$$\gamma_{\text{mix}}(T, w_1) = w_1^2 \gamma_1(T) + w_2^2 \gamma_2(T) + 2w_1 w_2 \gamma_{12} \quad (2.15)$$

$$\gamma_{12} = \sqrt{\gamma_1 \gamma_2} (1 - k_{12}) \quad (2.16)$$

เมื่อ γ_{mix} = แรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสม (mN/m)

w_i = สัดส่วนโดยปริมาตรของของผสม

γ_{12} = Interaction parameter

k_{12} = พารามิเตอร์ปรับแก้

สำหรับค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ (k_{12}) หาได้จากการทดลองและการหาค่าแรงตึงผิวของน้ำมันดีเซล (γ_1) และไบโอดีเซล (γ_2) ในสมการกฎการผสมแบบควอดราติกหาได้จากสมการ (2.12) และ (2.14) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การประมาณค่าขนาดหยดน้ำมัน

เมื่อนิยามให้หยดน้ำมันมีลักษณะเป็นทรงกลมและอัตราส่วนระหว่างปริมาตรต่อพื้นที่หน้าตัดของหยดน้ำมันแต่ละหยดเท่ากันหมด จะสามารถประมาณค่าขนาดหยดน้ำมันได้โดยทำการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของละอองน้ำมัน (Sauter mean diameter : SMD) ที่สัมพันธ์กับความหนืด แรงตึงผิว ความหนาแน่น และสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (2.17) ซึ่งใช้ทำนายค่า SMD ได้ที่เวลา 0.5 มิลลิวินาที นับจากหัวฉีดในเครื่องยนต์เริ่มทำงาน

$$SMD = 6156 v_m^{0.385} \gamma_m^{0.737} \rho_m^{0.737} \rho_A^{0.06} \Delta P_L^{-0.54} \quad (2.17)$$

เมื่อ SMD = ขนาดของหยดน้ำมัน (μm)

ρ_A = ค่าความหนาแน่นของอากาศภายในห้องเผาไหม้ (kg/m^3)

ΔP_L = ผลต่างของความดันระหว่างความดันของหยดน้ำมันที่ถูกฉีดผ่านหัวฉีดและความดันของแก๊สภายในห้องเผาไหม้ (bar)

v_m = ค่าความหนืดของน้ำมัน (m^2/s)

γ_m = ค่าแรงตึงผิวของน้ำมัน (N/m)

ρ_m = ค่าความหนาแน่นของน้ำมัน (kg/m^3)

สมการ (2.17) ให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องเมื่อพารามิเตอร์แต่ละตัวมีค่าอยู่ในช่วงดังนี้

- ค่าความหนืดของน้ำมัน อยู่ในช่วง $0.81 \times 10^{-6} \leq v_m \leq 8.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

- ค่าแรงตึงผิวของน้ำมัน อยู่ในช่วง $20.4 \leq \gamma_m \leq 27.5 \text{ N}/\text{m}$

- ค่าความหนาแน่นของน้ำมัน อยู่ในช่วง $732 \leq \rho_m \leq 847 \text{ kg}/\text{m}^3$

- ค่าความหนาแน่นของอากาศภายในห้องเผาไหม้ อยู่ในช่วง

$$1.20 \leq \rho_A \leq 8.20 \text{ kg}/\text{m}^3$$

- ผลต่างของความดันระหว่างความดันของละอองที่ถูกฉีดผ่านหัวฉีดและความดันของแก๊สภายในห้องเผาไหม้ อยู่ในช่วง $78 \leq \Delta P_L \leq 200 \text{ bar}$

จากการศึกษา [2] พบว่าในสภาวะการทำงานปกติของเครื่องยนต์ ค่าความหนาแน่นของอากาศในห้องเผาไหม้และค่าผลต่างของความดันระหว่างความดันของหยดน้ำมันที่ถูกฉีดผ่านหัวฉีดและความดันของแก๊สภายในห้องเผาไหม้จะมีค่าคงที่ประมาณ 8.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 200 บาร์ ตามลำดับ อีกทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและชนิดของหัวฉีดก็ไม่มีผลต่อค่า SMD เช่นกัน ดังนั้นค่า SMD ที่ประมาณค่าจากสมการที่ (2.17) จึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในการเปรียบเทียบขนาดหยดน้ำมันของเชื้อเพลิงต่างชนิดกันในภาวะต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

C.E. Ejim และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ขนาดละอองของน้ำมันที่ถูกฉีดผ่านหัวฉีดในเครื่องยนต์ดีเซล โดยศึกษากับไบโอดีเซลบริสุทธิ์ 7 ชนิด และไบโอดีเซลที่ผสมร่วมกับน้ำมันดีเซลชนิด D1 และ D2 อีก 17 ชนิด ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าความหนืด ความหนาแน่น และแรงตึงผิวมีผลต่อขนาดละอองน้ำมันเป็นอย่างมาก

Krisnangkura K. และคณะ [3] ได้นำแบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาความหนืดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAMES) ซึ่งมีจำนวนอะตอมคาร์บอนต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างกัน โดยความหนืดที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งวิธีการทำนายความหนืดลักษณะนี้สามารถใช้ได้กับกรดไขมันอิสระ และยังสามารถใช้กับกลุ่มสารที่มีลักษณะคล้ายกันอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองในโครงการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่มีผลต่อขนาดของหยดน้ำมันที่ถูกพ่นเป็นละอองเล็กๆ ผ่านหัวฉีดเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ โดยในการทดลอง จะทำการวัดค่าแรงตึงผิว ความตึงจำเพาะและความหนืดของน้ำมันตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยน้ำมันดีเซล หมุนเร็ว ไร้สารเติมแต่ง ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้ว

การทดลองจะทำการวัดคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันตัวอย่างดังนี้

1. น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ไร้สารเติมแต่ง
2. ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม (จากนี้ไปจะเรียกว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม)
3. ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันใช้แล้ว (จากนี้ไปจะเรียกว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว)
4. ไบโอดีเซลผสมร่วมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนดังนี้
 - ร้อยละ 25 ต่อ 75 โดยปริมาตร
 - ร้อยละ 50 ต่อ 50 โดยปริมาตร
 - ร้อยละ 75 ต่อ 25 โดยปริมาตร

ซึ่งจะได้น้ำมันทั้งหมด 9 ตัวอย่างดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนและชื่อเรียกน้ำมันผสมในงานวิจัย

น้ำมันตัวอย่าง	ชื่อเรียกน้ำมันตัวอย่าง
1. ดีเซล 100%	D1
2. ดีเซล 75% + ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม 25%	P25
3. ดีเซล 50% + ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม 50%	P50
4. ดีเซล 25% + ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม 75%	P75
5. ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม 100%	P100
6. ดีเซล 75% + ไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว 25%	U25
7. ดีเซล 50% + ไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว 50%	U50
8. ดีเซล 25% + ไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว 75%	U75
9. ไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว 100%	U100

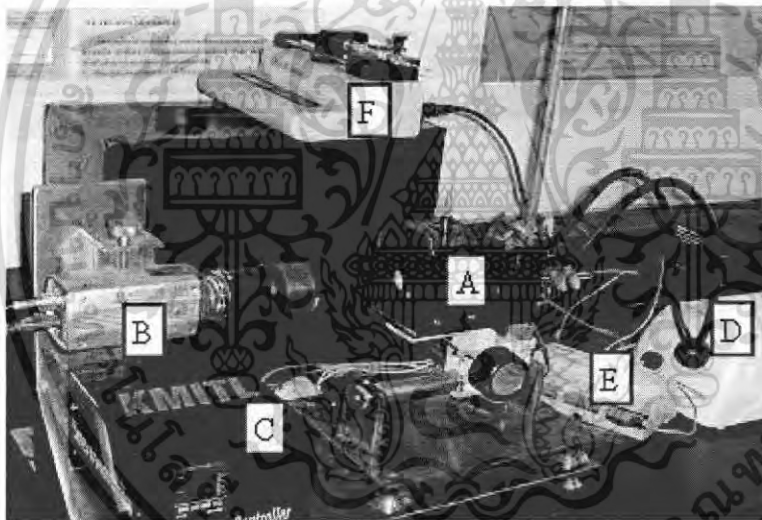
3.1 การวัดค่าแรงตึงผิวของน้ำมันตัวอย่าง

3.1.1 สารที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันตัวอย่างดังตารางที่ 3.1

3.1.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. หลอดบรรจุสารตัวอย่างขนาด 2 มิลลิลิตร
2. สายไฟเบอร์ออปติก
3. เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Thermocouple type K)
4. ท่อแคปปีลารีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร
5. อุปกรณ์ลดกระแสไฟฟ้า (Dimmer)
6. คอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่จำเป็น
7. เครื่องวัดแรงตึงผิวจากภาพหยดของเหลว ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดแรงตึงผิวจากภาพหยดของเหลว

เครื่องวัดแรงตึงผิวจากรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

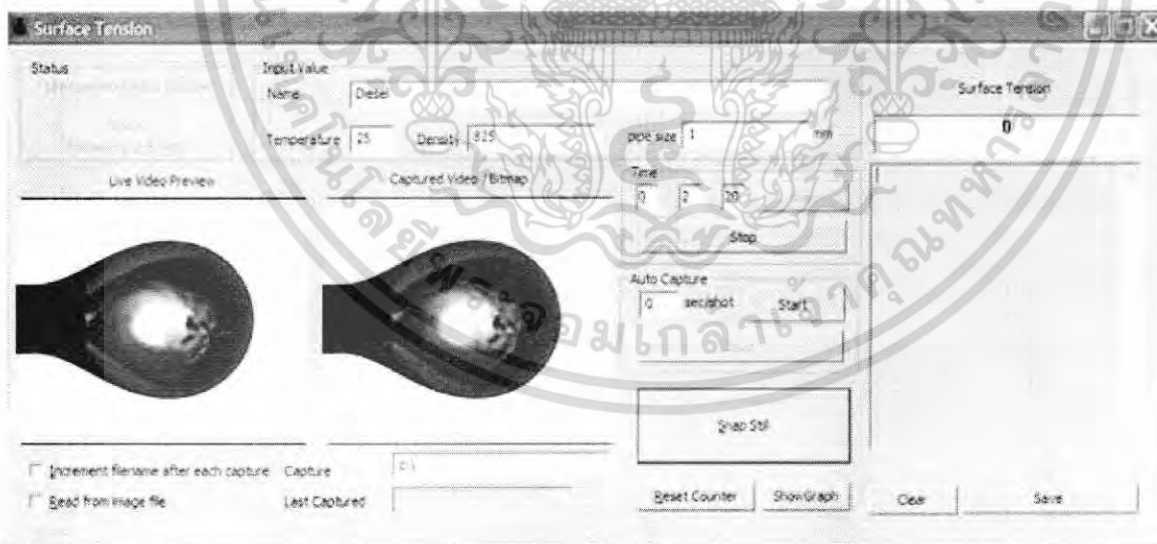
- A** คือ ส่วนให้ความร้อน ส่วนบรรจุท่อแคปปีลารีและมีการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ
- B** คือ กล้องบันทึกภาพกำลังขยายสูง
- C** คือ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Heater)
- D** คือ เครื่องให้แสงสว่าง
- E** คือ เครื่องบันทึกอุณหภูมิ
- F** คือ เครื่องฉีดสารตัวอย่างระดับไมโคร (Micro feeder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องให้ความร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point temperature) ไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส
2. เปิดคอมพิวเตอร์ กล้องวิดีโอ เครื่องบันทึกอุณหภูมิ เครื่องให้แสงสว่างและ โปรแกรมสำหรับบันทึกภาพ Lifeview TVR เลือก record เพื่อบันทึกภาพ
3. ปรับแสงและปรับโฟกัสของภาพจากโปรแกรม Lifeview TVR เพื่อให้ได้ภาพที่คมชัด
4. เปิดโปรแกรมคำนวณค่าแรงตึงผิว (Still cap) พร้อมป้อนชื่อไฟล์ อุณหภูมิ ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อแคปิลลารี ดังรูปที่ 3.2
5. บรรจุน้ำมันตัวอย่างลงในหลอดบรรจุสารตัวอย่าง ต่อปลายหลอดเข้ากับสายไฟเบอร์ออปติกซึ่งต่ออยู่กับท่อแคปิลลารี และนำไปวางบนเครื่องฉีดสารตัวอย่าง
6. ปรับอัตราการไหลของเครื่องฉีดสารเป็น 0.1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง
7. ฉีดสารเป็นเวลา 140 วินาที และรอให้หยดน้ำมันเข้าสู่สมคูล
8. กดปุ่ม start เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำการคำนวณค่าแรงตึงผิว
9. ทำการทดลองกับน้ำมันจนครบทั้ง 9 ตัวอย่าง
10. ทำการทดลองตามข้อ 1-9 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป้าหมายเป็น 50 และ 80 องศา

เซลเซียส



รูปที่ 3.2 โปรแกรมคำนวณค่าแรงตึงผิว (Still cap)

3.2 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันตัวอย่าง

3.2.1 สารที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะแบบไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. กระจกตวง

3.2.3 วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ตั้งอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส และนำกระจกตวงซึ่งบรรจุน้ำมันตัวอย่างใส่ลงไปให้อ่างควบคุมอุณหภูมิ รอจนกระทั่งน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิตั้งที่ โดยตรวจสอบอุณหภูมิโดยอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์อีกครั้งหนึ่ง

2. ค่อยๆ ใส่ไฮโดรมิเตอร์ลงในน้ำมัน จับก้านของไฮโดรมิเตอร์ด้านบนไว้ให้ตั้งตรง แล้วปล่อยให้ลอยออก

3. อ่านและบันทึกค่า โดยจุดที่ใช้อ่านค่าคือส่วนที่ผิวหน้าตัดกับสเกลบนไฮโดรมิเตอร์

4. ทำการทดลองกับน้ำมันจนครบทั้ง 9 ตัวอย่าง

5. ทำการทดลองตามข้อ 1-4 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป้าหมายเป็น 50 และ 80 องศาเซลเซียส

3.3 การวัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง

3.3.1 สารที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันตัวอย่างดังตารางที่ 3.1

3.3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องวัดความหนืดแบบวิสโคมิเตอร์ (Viscometer) รุ่น Cannon – Fenske Routine
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. แท่นเหล็กพร้อมตัวหนีบ
5. ปิเปตพร้อมจุกยาง
6. นาฬิกาจับเวลา

3.3.3 วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ตั้งอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส และนำกระจกตวงซึ่งบรรจุน้ำมันตัวอย่างใส่ลงไปให้อ่างควบคุมอุณหภูมิ รอจนกระทั่งน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิตั้งที่ โดยตรวจสอบอุณหภูมิโดยอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์อีกครั้งหนึ่ง

2. ปิเปตสารตัวอย่างใส่ในวิสโคมิเตอร์

3. เริ่มจับเวลาขณะที่สารตัวอย่างอยู่ในระดับ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปล่อยให้สารไหลลงตามแรงโน้มถ่วงและหยุดจับเวลาขณะสารไหลจนถึงระดับ B
5. ทำการทดลองกับน้ำมันจนครบทั้ง 9 ตัวอย่าง
6. ทำการทดลองตามข้อ 1-4 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป้าหมายเป็น 50 และ 80 องศา

เซลเซียส



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์สำหรับวัดค่าความหนืด

3.4 การวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่าง

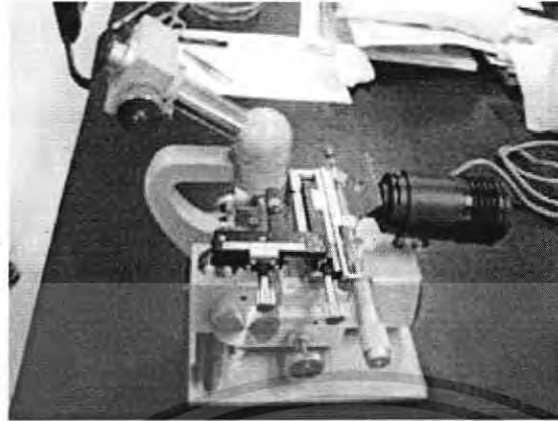
3.3.1 สารที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันตัวอย่างดังตารางที่ 3.1

3.3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. กระจกสไลด์
2. หลอดหยดสาร
3. เครื่อง Contact Angle Meter ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่อง Contact Angle Meter

3.3.3 วิธีการทดลอง

1. นำแผ่นกระจกสไลด์วางบนเครื่อง Contact Angle Meter
2. หยดน้ำมันตัวอย่างลงบนแผ่นกระจกสไลด์
3. ทำการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่างบนแผ่นกระจกสไลด์
4. ทำการทดลองตามข้อ 1-3 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนชนิดของน้ำมันตัวอย่างให้ครบทั้ง 9 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาวิธีวัดค่าแรงดึงผิว โดยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลว ศึกษาผลของอัตราส่วนการผสมและอุณหภูมิที่มีต่อความหนืด แรงดึงผิวและความถ่วงจำเพาะ พร้อมทั้งพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่สัมพันธ์กับอัตราส่วนการผสมและอุณหภูมิ โดยมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมัน

ทำการวัดค่าความถ่วงจำเพาะและความหนืดของน้ำมันตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะแบบไฮโครมิเตอร์ และเครื่องวัดความหนืดแบบวิสโคมิเตอร์ รุ่น Cannon – Fenske Routine ได้ข้อมูลผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลความถ่วงจำเพาะและความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม

อัตราส่วน การผสม	สมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม					
	ความถ่วงจำเพาะ			ความหนืด (cSt)		
P100:D1	25 °C	50 °C	80 °C	25 °C	50 °C	80 °C
0 : 100	0.825	0.810	0.795	4.55	2.90	1.92
25 : 75	0.835	0.820	0.805	5.21	2.97	1.97
50 : 50	0.843	0.827	0.817	6.15	3.36	2.02
75 : 25	0.855	0.840	0.825	6.25	3.52	2.23
100 : 0	0.868	0.850	0.835	6.42	4.03	2.60

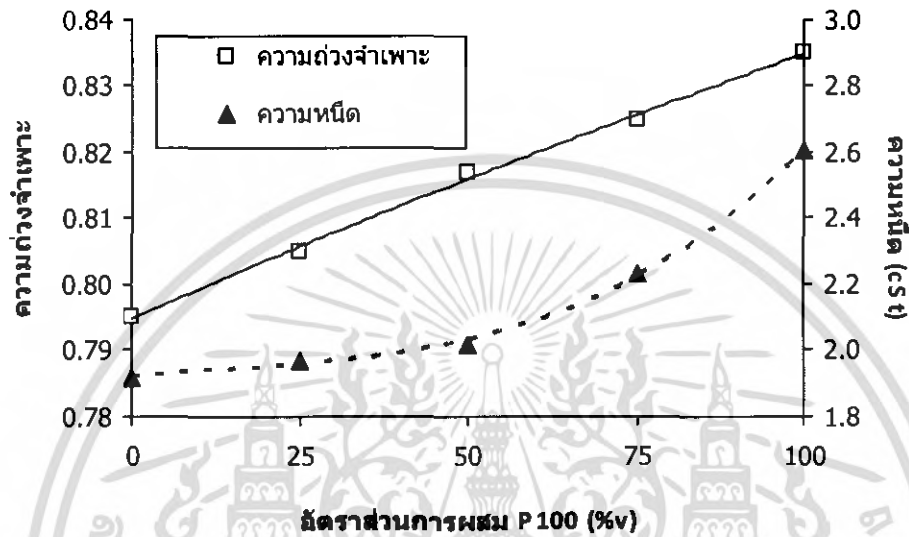
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลความถ่วงจำเพาะและความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว

อัตราส่วน การผสม	สมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว					
	ความถ่วงจำเพาะ			ความหนืด (cSt)		
U100:D1	25 °C	50 °C	80 °C	25 °C	50 °C	80 °C
0 : 100	0.825	0.810	0.795	4.55	2.90	1.92
25 : 75	0.839	0.824	0.809	4.72	2.95	1.94
50 : 50	0.852	0.838	0.823	5.24	3.13	2.07
75 : 25	0.865	0.851	0.836	5.83	3.23	2.26
100 : 0	0.878	0.865	0.850	6.49	3.75	2.47

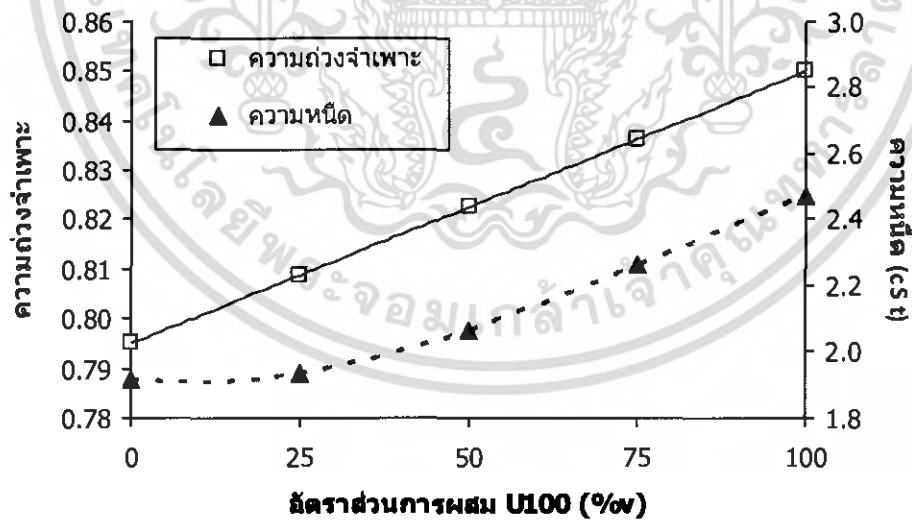
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังหน่วยงานอื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ผลของอัตราส่วนการผสมต่อความถ่วงจำเพาะและความหนืด

ในการทดลองเราสนใจศึกษาค่าความหนาแน่น ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงค่าความถ่วงจำเพาะจึงมีความหมายเช่นเดียวกับความหนาแน่นนั่นเอง จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และ 4.2 พิจารณาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อนำค่าความถ่วงจำเพาะและความหนืดไปหาความสัมพันธ์กับอัตราส่วนการผสมโดยปริมาตร ได้ผลดังรูปที่ 4.1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม



(ข) ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว

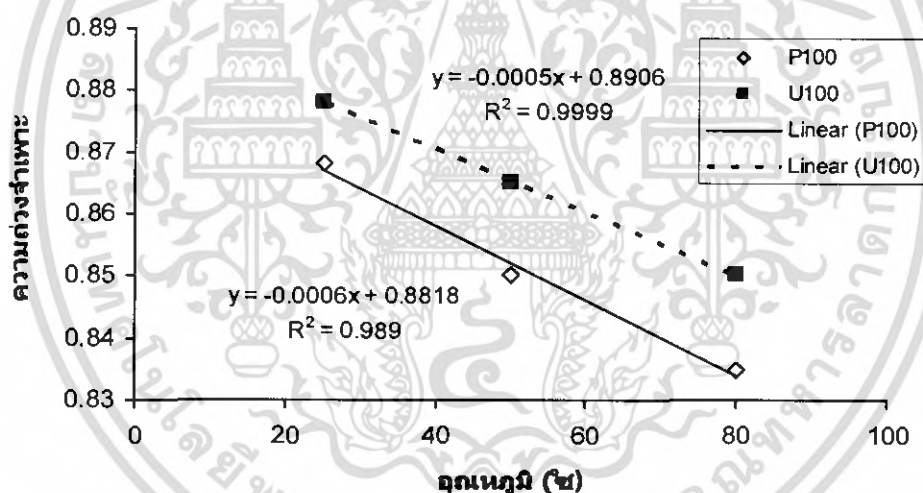
รูปที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนการผสมต่อความถ่วงจำเพาะและความหนืด
ของไบโอดีเซลผสม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

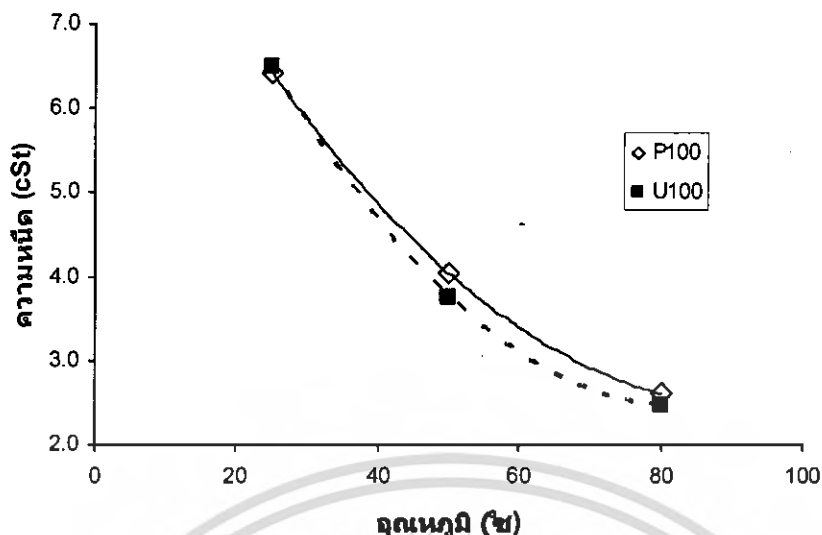
จากรูปที่ 4.1 (ก) และ (ข) พบว่าเมื่ออัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะและความหนืดของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการผสมแบบละลายเข้ากันได้ กล่าวคือ สารทั้ง 2 ชนิด สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี โดยสังเกตจากลักษณะเส้นกราฟจะมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงหรือโค้งอย่างสม่ำเสมอ โดยความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงสม่ำเสมอ ขณะที่ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้ง คือ ที่อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตร ความหนืดจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก และที่อัตราส่วนของไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตรค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงต้องคำนึงถึงอัตราส่วนของไบโอดีเซลที่ใช้ผสมเป็นอย่างมาก

4.1.2 ผลของอุณหภูมิต่อความถ่วงจำเพาะและความหนืด

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะทำการหาความสัมพันธ์ของความถ่วงจำเพาะและความหนืดกับอุณหภูมิ โดยยกตัวอย่างของไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้ว ได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิต่อความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้ว

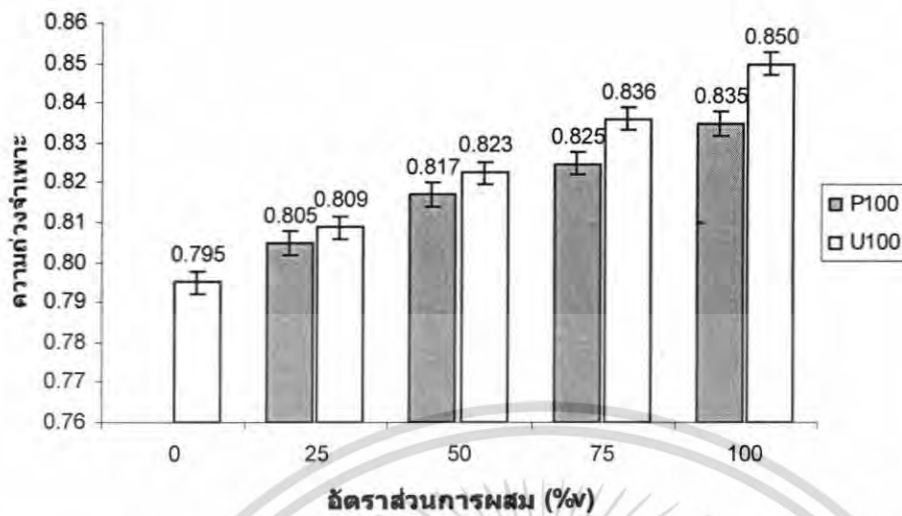


รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้ว

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะและความหนืดของไบโอดีเซลทั้งสองชนิดลดลงอย่างชัดเจนเนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นน้ำมันจะขยายตัวทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะมีค่าลดลง โดยความถ่วงจำเพาะจะลดลงอย่างเป็นเส้นตรงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วจะสูงกว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม และในทำนองเดียวกันกับความหนืดซึ่งเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของสาร เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้โมเลกุลของสารเคลื่อนที่ได้ดีขึ้นส่งผลให้ความหนืดมีค่าลดลง โดยความหนืดของไบโอดีเซลทั้ง 2 ชนิด ลดลงในลักษณะเป็นเส้นโค้งใกล้เคียงกัน และที่อุณหภูมิเดียวกันจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก นอกจากนี้ได้ทำการหาสมการที่ใช้ประมาณค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลทั้งสองชนิดที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในส่วนของ การพัฒนาสมการที่ใช้ทำนายค่าแรงตึงผิวต่อไป

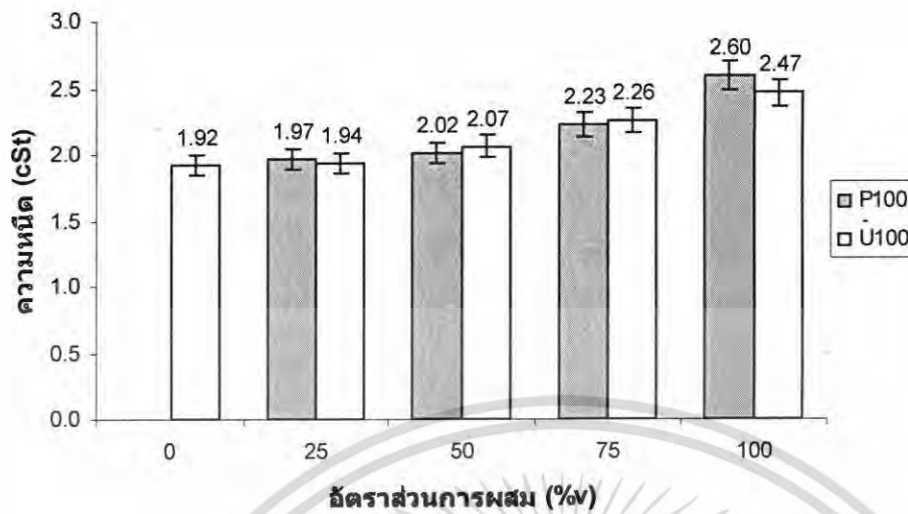
4.1.3 ผลของชนิดน้ำมันต่อความถ่วงจำเพาะและความหนืด

พิจารณาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่น้ำมันถูกฉีดผ่านหัวฉีดภายในเครื่องยนต์ [2] การศึกษาและเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะและความหนืดของน้ำมันจึงใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้น้ำมันให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ได้



รูปที่ 4.4 ผลของชนิดน้ำมันและอัตราส่วนการผสมต่อความถี่จำเพาะที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการผสม ค่าความแตกต่างของความถี่จำเพาะระหว่างน้ำมันต่างชนิดกันจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลมีค่าสูง น้ำมันผสมจะแสดงคุณสมบัติของไบโอดีเซลเด่นชัดมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ว่า ไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วมีค่าความถี่จำเพาะสูงกว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งอธิบายได้ว่าโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันต่างชนิดกันจะมีความแตกต่างกัน โดยไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วจะมีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่กว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เนื่องจากมีองค์ประกอบที่ผ่านการพอลิเมอไรส์เป็นส่วนใหญ่ ส่งผลให้มีค่าความถี่จำเพาะมากกว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ดังนั้น เมื่อนำไบโอดีเซลผสมไปใช้ จึงเป็นแนวทางว่าที่อัตราส่วนการผสมต่ำ ไบโอดีเซลผสมทั้งสองชนิดมีความแตกต่างของความถี่จำเพาะน้อยและมีค่าความถี่จำเพาะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล จึงสามารถนำไบโอดีเซลผสมมาใช้แทนน้ำมันดีเซลได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ที่ใช้ทำไบโอดีเซล



รูปที่ 4.5 ผลของชนิดน้ำมันและอัตราส่วนการผสมต่อความหนืดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่ออัตราส่วนการผสมเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของความหนืดระหว่างไบโอดีเซลต่างชนิดกันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากความหนืดของไบโอดีเซลทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกันและเพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกันเมื่ออัตราส่วนไบโอดีเซลที่ใช้ผสมมีค่าสูงขึ้น

4.2 การศึกษาเกี่ยวกับค่าแรงดึงผิว

4.2.1 การสอบเทียบช่วงการวัดแรงดึงผิวของเครื่องมือวัด (Validation method)

เพื่อเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของผลการวัดค่าจากเครื่องมือที่ใช้ จึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบช่วงการวัดแรงดึงผิวของเครื่องมือ โดยนำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับของเหลวมาตรฐาน 3 ชนิด คือ กลีเซอรอล เอทิลีนไกลคอล และน้ำ โดยทั่วไปการเลือกของเหลวมาตรฐานเพื่อทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด จะนิยมเลือกใช้ของเหลวมาตรฐานที่มีช่วงค่าแรงดึงผิวครอบคลุม ช่วงความสามารถของเครื่องมือวัด และนอกจากนี้ยังต้องพิจารณาช่วงความถ่วงจำเพาะของของเหลวด้วย ซึ่งความถ่วงจำเพาะมีผลต่อการวัดค่าแรงดึงผิว เพราะความถ่วงจำเพาะจะสัมพันธ์กับน้ำหนักของหยดของเหลว ทำให้มีผลต่อลักษณะรูปร่าง (Profile) ของหยดของเหลว ซึ่งมีผลทำให้ได้ค่าแรงดึงผิวมีค่าแตกต่างกัน ผลการวัดค่าสามารถนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

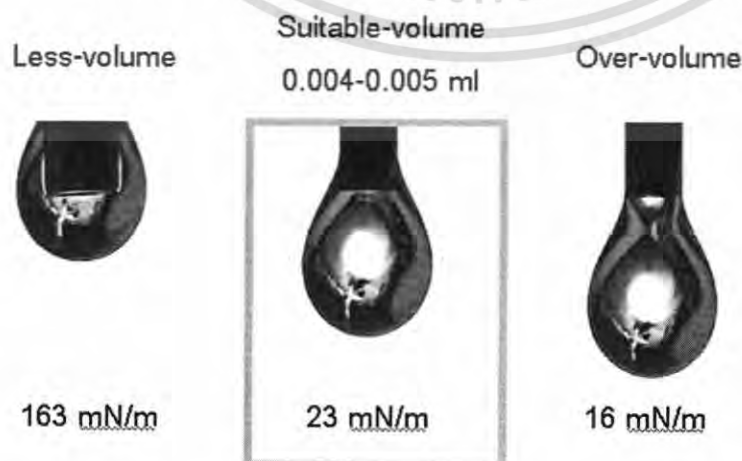
ตารางที่ 4.3 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดแรงตึงผิวกับของเหลวมาตรฐาน [4]

ของเหลว มาตรฐาน	ความหนาแน่น ที่ 25 °C (kg/m ³)	แรงตึงผิว (mN/m)		เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อน (% error)
		Marie C. M. [8]	ผลการทดลอง	
กลีเซอรอล	1126.10	64.0	63.1	1.4
เอทิลีนไกลคอล	1096.78	48.0	47.1	1.9
น้ำ	998.20	72.8	71.3	2.1

จากผลการทดลอง พบว่าค่าแรงตึงผิวมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (% error) น้อยมากคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 1 - 2 เท่านั้น ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Marie C. M. [8] จึงสรุปได้ว่า เครื่องมือวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลว สามารถวัดค่าแรงตึงผิวของของเหลวได้

4.2.2 ผลของปริมาตรหยดน้ำมันที่มีต่อค่าแรงตึงผิว

ในการวัดค่าแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลวมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาคือ ขนาดของ หยดน้ำมันหรือปริมาตรนั่นเองซึ่งจะส่งผลต่อสมมูลของแรงที่กระทำต่อหยดน้ำมัน ดังที่ได้กล่าว แล้วในบทที่ 2 โดยปริมาตรหยดที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้คือ 4.0 -5.0 ไมโครลิตร ซึ่งจะให้ ค่าแรงตึงผิวในช่วง 19 – 25 มิลลินิวตันต่อเมตร ในขณะที่ปริมาตรหยดน้ำมันไม่เหมาะสมค่าแรง ตึงผิวที่วัดได้จะมีค่าไม่ถูกต้อง กล่าวคือ ถ้าปริมาตรหยดน้ำมันน้อยไปจะส่งผลให้ค่าแรงตึงผิวที่วัด ได้มีค่าเกินจริงและในทางตรงข้าม ถ้าปริมาตรหยดน้ำมันมากไปจะส่งผลให้ค่าแรงตึงผิวที่วัดได้มี ค่าน้อยกว่าความเป็นจริง เนื่องจากผลของแรงทั้ง 3 แรงที่กระทำต่อหยดของเหลวมีค่าเปลี่ยนแปลง นั่นเอง โดยปริมาตรหยดน้ำมันจะสัมพันธ์กับค่าแรงตึงผิว ดังรูปที่ 4.6

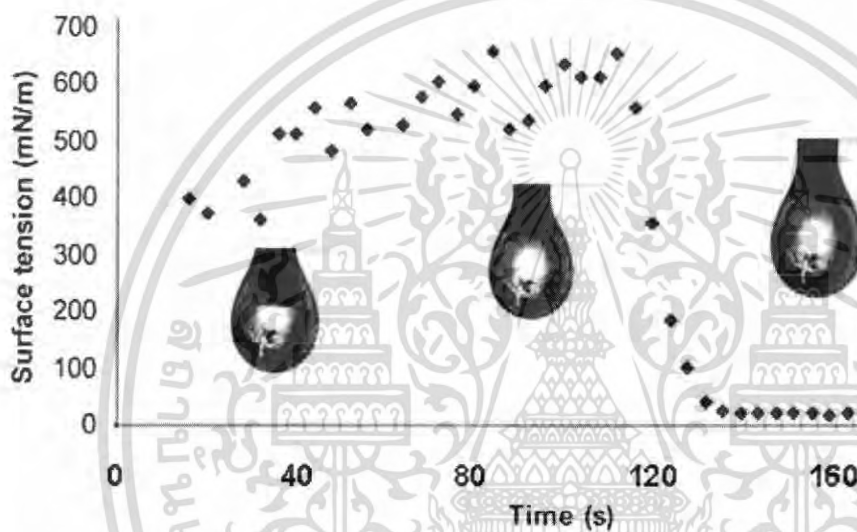


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานไปสำหรับงานใช้ในงานที่อาจารย์สอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.6 ผลของปริมาตรหยดน้ำมันที่มีต่อค่าแรงตึงผิว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการศึกษาระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของหยดน้ำมัน

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของหยดน้ำมัน โดยจะสัมพันธ์กับ ปริมาตรหยดน้ำมันดังหัวข้อที่กล่าวก่อนหน้านี้ กล่าวคือ การทดลองจะใช้เครื่องฉีดสารตัวอย่าง ระดับไมโคร (Micro feeder) โดยต้องกำหนดอัตราการไหลของสารตัวอย่างในหน่วยมิลลิเมตรต่อ ชั่วโมง ซึ่งในการทดลองได้กำหนดอัตราการไหลเป็น 0.1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง พบว่าเมื่อทำการฉีด สารเป็นระยะเวลาประมาณ 140 วินาที หยดน้ำมันจะมีรูปร่างสมดุล เมื่อคำนวณหาปริมาตรหยด พบว่ามีค่าเท่ากับ 4 ไมโครลิตร ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของหยดน้ำมัน

จากรูปที่ 4.7 พบว่า ในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นการฉีดสารค่าแรงตึงผิวจะมีค่าสูงเกินจริงและมี แนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปค่าแรงตึงผิวจะมีค่าลดลงและเริ่มคงที่อยู่ที่ 21 มิลลินิวตันต่อเมตร เนื่องจากช่วงเวลาเริ่มต้นฉีดสารหยดน้ำมันจะมีลักษณะไม่สมดุล เมื่อเวลาผ่านไป ปริมาตรหยด น้ำมันเพิ่มขึ้นทำให้ค่าแรงตึงผิวเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จากนั้นที่เวลาประมาณ 140 วินาที หยด น้ำมันจะมีรูปร่างสมดุล จึงทำการหยุดฉีดสารส่งผลให้ค่าแรงตึงผิวที่วัดได้มีค่าคงที่

4.2.4 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวโดยใช้วิธีการถ่ายภาพหยดของเหลว

ได้ทำการวัดค่าแรงตึงผิวของน้ำมันตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 80 องศาเซลเซียส ได้ ข้อมูลผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

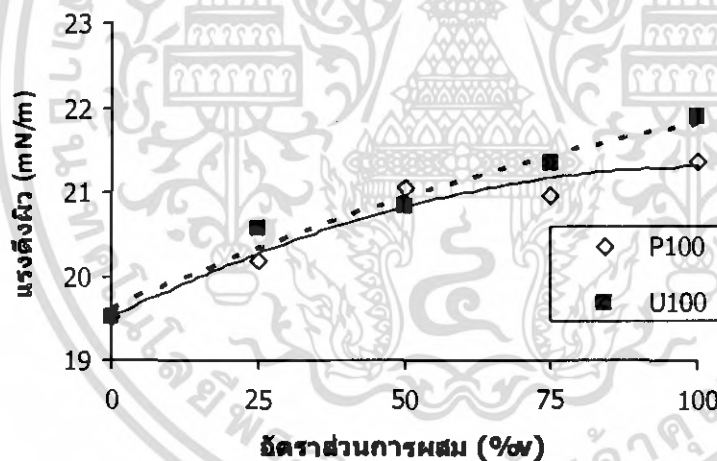
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลค่าแรงดึงผิวของน้ำมันตัวอย่าง

อัตราส่วน การผสม	ค่าแรงดึงผิวของน้ำมัน (mN/m)					
	ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม			ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว		
B100:D1	25% ^๑	50% ^๑	80% ^๑	25% ^๒	50% ^๒	80% ^๒
0 : 100	20.35	19.79	19.51	20.35	19.79	19.51
25 : 75	21.47	21.18	20.18	21.62	20.80	20.56
50 : 50	23.15	21.59	21.04	23.19	21.94	20.83
75 : 25	23.21	22.47	20.96	23.39	22.40	21.33
100 : 0	24.40	22.89	21.37	25.01	23.40	21.89

ก. ผลของอัตราส่วนการผสมต่อค่าแรงดึงผิว

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 พิจารณาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อนำค่าแรงดึงผิวไปหาความสัมพันธ์กับอัตราส่วนการผสม โดยปริมาตร ได้ผลดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลของอัตราส่วนการผสมต่อค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

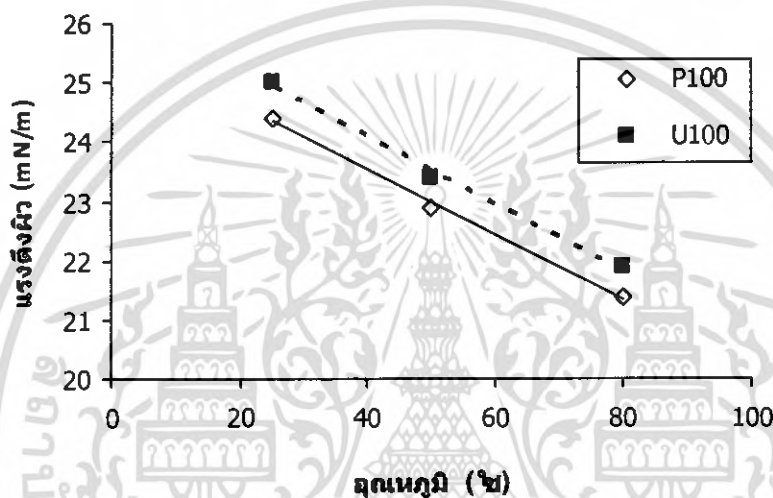
จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซล ค่าแรงดึงผิวของน้ำมันตัวอย่างจะเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกัน แต่มีจุดสังเกตคือ ที่อัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลน้อยกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตร ค่าแรงดึงผิวของน้ำมันทั้งสองชนิด จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลสูงกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตร ค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันทั้งสองชนิดจะมีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลมีค่าสูง น้ำมันผสมจะแสดงคุณสมบัติของไบโอดีเซลเด่นชัดมากขึ้น

สอดคล้องกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1.3 อันเป็นผลเนื่องมาจากค่าความตึงผิวที่แตกต่างกัน ไม่ควรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นเอง ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ไบโอดีเซลได้ว่า ที่อัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลน้อยกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตร สามารถนำไบโอดีเซลไปใช้ได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ข. ผลของอุณหภูมิต่อค่าแรงดึงผิว

ในส่วนนี้จะทำการหาความสัมพันธ์ของค่าแรงดึงผิวกับอุณหภูมิ โดยยกตัวอย่าง คือ ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันไข่แล้ว เมื่อนำผลการทดลองในตารางที่ 4.4 มาหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิต่อค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันไข่แล้ว

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลทั้งสองชนิดลดลงอย่างชัดเจนและมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลของอุณหภูมิต่อค่าความถ่วงจำเพาะดังที่ได้กล่าวก่อนหน้านี้ เนื่องจากความถ่วงจำเพาะจะมีผลต่อค่าแรงดึงผิวด้วย และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 จะพบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกับรูปที่ 4.9 มาก กล่าวคือเป็นฟังก์ชันลดกับอุณหภูมิและลดลงค่อนข้างเป็นเส้นตรง และที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่แล้วจะมีค่าสูงกว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นการยืนยันข้อสรุปได้เป็นอย่างดีว่าความถ่วงจำเพาะและแรงดึงผิวมีความสัมพันธ์กัน

4.2.5 ผลการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่าง

เพื่อยืนยันผลความถูกต้องของการวัดค่าแรงดึงผิวโดยวิธีถ่ายภาพหยดของเหลว ได้ทำการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำค่ามุมสัมผัสมาคำนวณหาค่าแรงดึงผิวของน้ำมันตัวอย่างต่อไป โดยจะเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่างกับของเหลว 3 ชนิด ได้แก่ เอทิลีนไกลคอล คลิเซอรอล และน้ำ ซึ่งในการทดลองจะหยดน้ำมันลงบนแผ่นกระจกสไลด์ แล้ววัดค่ามุมสัมผัสของน้ำมันด้วยเครื่อง Contact angle meter ได้ค่ามุมสัมผัสดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2329-1000

ตารางที่ 4.5 ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำมันตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง

อัตราส่วนการผสม	ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำมันที่อุณหภูมิ 25 °C (องศา)	
	ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันไข่แล้ว
B100 : D1		
0 : 100	16.7 ± 0.8	16.7 ± 0.8
25 : 75	17.5 ± 0.4	9.3 ± 1.2
50 : 50	14.3 ± 0.6	13.4 ± 0.7
75 : 25	14.9 ± 0.9	14.8 ± 0.7
100 : 0	10.5 ± 1.3	18.2 ± 1.1

ผลการวัดค่ามูมสัมพัทธ์จากตารางที่ 4.4 พบว่า ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำมันตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าค่ามูมสัมพัทธ์ของสารที่จะใช้เปรียบเทียบมาก จึงไม่สามารถคำนวณค่าแรงตึงผิวจากข้อมูลในตารางที่ 4.4 ได้ เหตุผลที่ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำมันตัวอย่างมีค่าน้อยมากนั้นเพราะแผ่นกระจกสไลด์ที่นำมาใช้เป็นพื้นผิวในการวัดค่ามูมสัมพัทธ์ไม่เหมาะสมกับน้ำมันตัวอย่าง ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนชนิดของแผ่นที่จะนำมาใช้เป็นพื้นผิวในการวัดค่ามูมสัมพัทธ์ใหม่ จึงจะสามารถคำนวณค่าแรงตึงผิวจากค่ามูมสัมพัทธ์ได้

4.3 การประมาณค่าแรงตึงผิวและขนาดหยดน้ำมัน

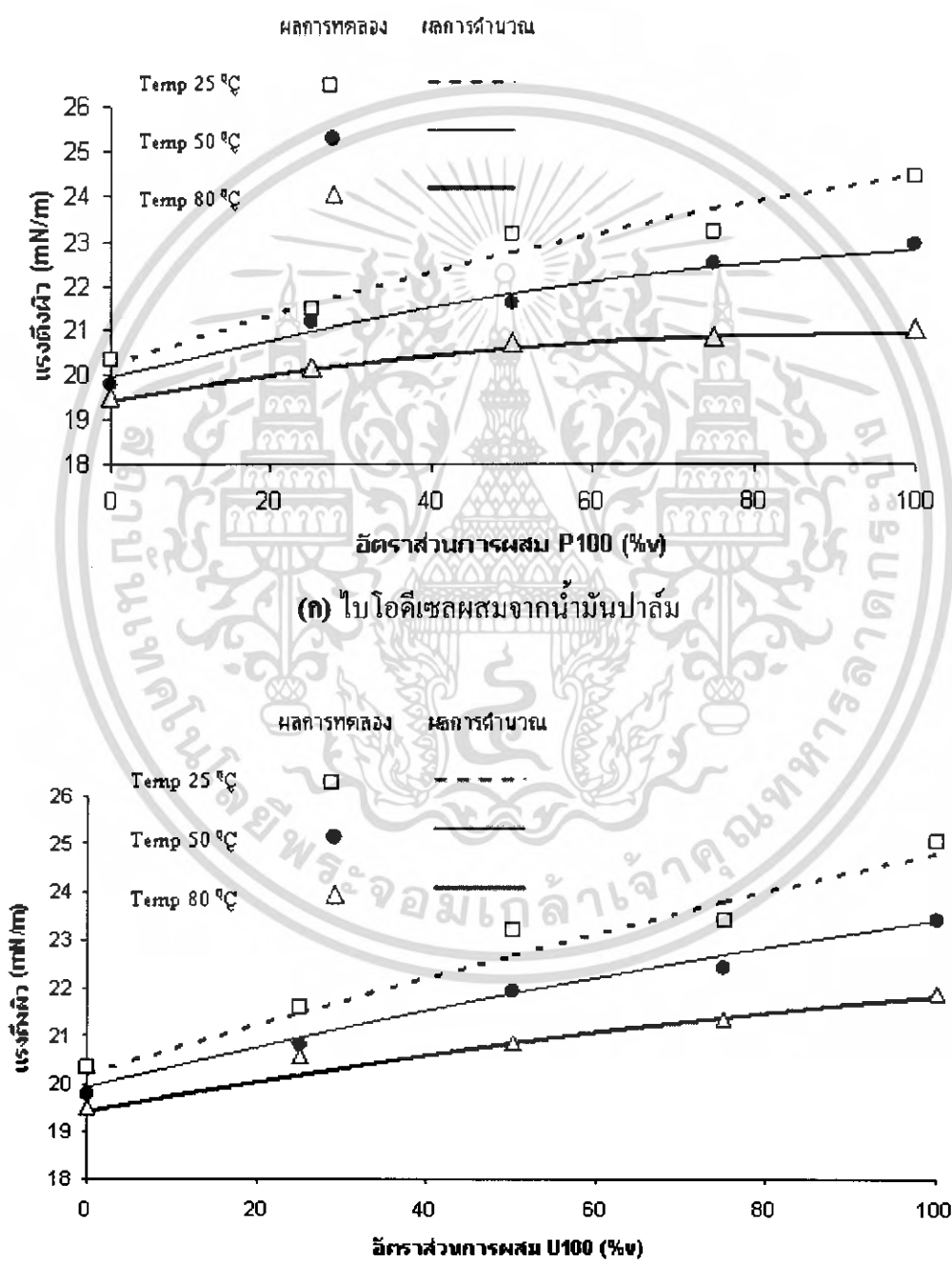
4.3.1 ผลการคำนวณค่าแรงตึงผิวโดยใช้สมการกฎการผสมแบบควอดราติก

ในการประมาณค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสมในโครงการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้สมการกฎการผสมแบบควอดราติก (Quadratic mixing rule) ในการทำนายค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสมดังสมการที่ (2.15) เมื่อแรงตึงผิวเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิและอัตราส่วนการผสม โดยมีค่าเท่ากับแรงตึงผิวของสารตัวที่หนึ่ง (γ_1) และตัวที่สอง (γ_2) ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิด้วย และต้องพิจารณาพารามิเตอร์ปรับแก้ k_{12} (Interaction parameter : γ_{12}) ด้วย ซึ่งหาได้จากการทดลอง โดยจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

สำหรับการหาค่าแรงตึงผิวของน้ำมันดีเซล (γ_1) ในสมการกฎการผสมแบบควอดราติกสามารถหาได้จากสมการที่ (2.12) แต่เนื่องจากค่าแรงตึงผิวของดีเซลที่คำนวณได้มีค่าไม่ตรงกับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดแรงตึงผิวโดยวิธีถ่ายภาพหยดของเหลว ดังนั้นจึงได้เพิ่มตัวแปรเข้าไปคูณกับสมการที่ (2.12) เพื่อปรับแก้ค่าแรงตึงผิวของดีเซลที่คำนวณได้ให้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดโดยสมมติตัวแปรที่นำไปคูณคือ α ดังนั้นค่าแรงตึงผิวของน้ำมันดีเซล (γ_1) ที่ปรากฏในสมการที่ (2.15) จึงหาได้จากการนำค่า α ไปคูณกับ สมการที่ (2.12) โดย α หาได้จากการทดลอง ซึ่งจะกล่าวอย่างละเอียดในภาคผนวก จ. และในส่วนของ การหาค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (γ_2) ในสมการกฎการผสมแบบควอดราติก นั้น สามารถหาได้จากสมการที่ (2.13) ซึ่งเมื่อทราบค่าการคำนวณค่าไม่ทราบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาราซอร์ [Ps] ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับสารหนึ่งๆ และความหนาแน่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ ก็สามารถคำนวณหาแรงตึงผิวของไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (γ_2) ที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิได้ โดยค่าพาราซอร์ [Ps] สามารถหาได้จากการทดลองดังรายละเอียดในภาคผนวก จ. เช่นกัน

เมื่อนำค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้วที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าแรงตึงผิวที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ได้ผลดังรูปที่ 4.10 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงตึงผิวที่วัดได้จากการทดลองและผลการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 (ก) และ (ข) พบว่า ผลการประมาณค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่ได้จากสมการกฎการผสมแบบควอคราติกที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลจากการทดลอง ดังข้อมูลในตารางที่ 4.6 จึงสรุปได้ว่าสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำนายค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิและอัตราส่วนการผสมได้

ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (%AAD) ของผลต่างระหว่างค่าแรงดึงผิวที่ได้จากการวัดโดยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลวและคำนวณจากสมการที่พัฒนาขึ้น

อุณหภูมิ (°C)	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (%AAD)	
	ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว
25	1.03	1.18
50	0.71	0.66
80	0.37	0.56

4.3.2 ค่าพารามิเตอร์ในสมการคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

จากการนำข้อมูลผลการทดลองมาทำ Fitting curve ระหว่างค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่ได้จากการทดลองและสมการกฎการผสมควอคราติก ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์มา 3 ค่า ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ (k_{12}) ค่าพาราซอร์ [Ps] จากผลการทดลอง และค่าแฟกเตอร์แก้ไขในส่วนของดีเซล (α) ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของไบโอดีเซลที่ใช้ผสมดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก. ค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ (k_{12})

จากผลการ Fitting curve ระหว่างค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่ได้จากการทดลองและสมการกฎการผสมควอคราติก พบว่า ค่า k_{12} มีแนวโน้มคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ แต่ขึ้นกับชนิดของไบโอดีเซลที่นำมาผสม โดยทำการหาค่า k_{12} จากค่าเฉลี่ยของ 3 อุณหภูมิที่ทำการทดลอง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

ข. ค่าพาราซอร์ [Ps] จากผลการทดลอง

ตามทฤษฎีกล่าวว่าค่าพาราซอร์เป็นค่าคงที่ขึ้นกับชนิดของสาร ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิหรือสถานะแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการ Fitting curve ระหว่างค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่ได้จากการทดลองและสมการกฎการผสมควอคราติก ซึ่งพบว่าค่าพาราซอร์มีแนวโน้มคงที่ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน แต่จะขึ้นกับชนิดของไบโอดีเซลที่นำมาผสมเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับค่า k_{12} ดังที่กล่าวข้างต้น โดยทำการหาค่าพาราซอร์จากค่าเฉลี่ยของ 3 อุณหภูมิที่ทำการทดลอง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

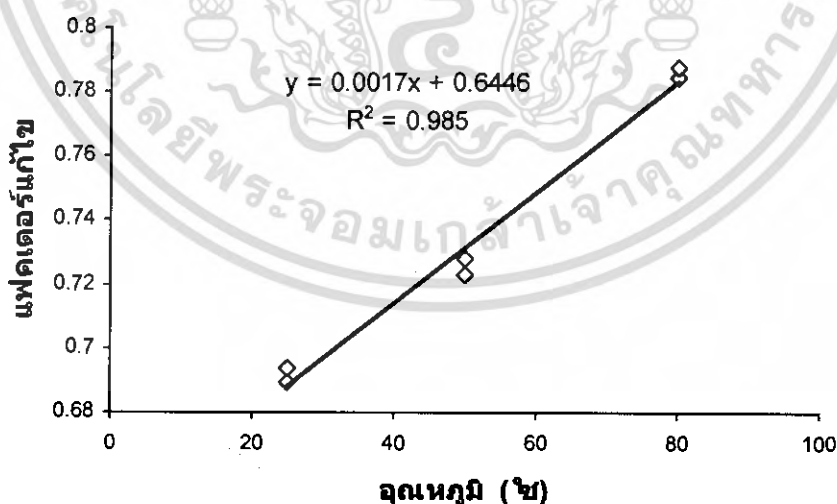
ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ (k_{12}) และค่าพาราซอร์ [Ps] จากผลการทดลอง

ชนิดของไบโอดีเซล	ค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ (k_{12})	ค่าพาราซอร์ [Ps] ($\text{cm}^3 / \text{s}^{1/2} \text{g}^{3/4}$)
น้ำมันปาล์ม	-0.042	2.56
น้ำมันใช้แล้ว	-0.022	2.54

เพื่อเป็นการยืนยันว่าค่าพาราซอร์จากการทดลองของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดังข้อมูลในตารางที่ 4.7 มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ จะทำการคำนวณค่าพาราซอร์จากน้ำมันปาล์มอ้างอิง [2] มาเปรียบเทียบกับ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ฉ. ซึ่งได้ค่าพาราซอร์จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 2.73 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองคือ 2.56 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าพาราซอร์ที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้อง แต่ในส่วนของไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว เนื่องจากไม่ทราบองค์ประกอบที่แน่นอน จึงทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าพาราซอร์ได้

ค. ค่าแฟคเตอร์แก้ไขในส่วนของน้ำมันดีเซล (α)

จากผลการ Fitting curve ระหว่างค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่ได้จากการทดลองและสมการกฏการผสมควอดราติก พบว่า ค่า α มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และไม่สัมพันธ์กับชนิดของไบโอดีเซลที่นำมาผสม เนื่องจาก ค่า α เป็นค่าที่ใช้ปรับแก้ในส่วนของน้ำมันดีเซลบริสุทธิ์ ซึ่งเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ได้ผลดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิต่อค่าแฟคเตอร์แก้ไขในส่วนของน้ำมันดีเซล (α)

จากรูปที่ 4.11 พบว่า ค่า α สัมพันธ์กับอุณหภูมิในลักษณะเป็นฟังก์ชันเส้นตรง เนื่องจากค่า α เป็นค่าที่ใช้ปรับแก้ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันดีเซลที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.12) ให้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด โดยค่าแรงตึงผิวของน้ำมันดีเซลที่ได้จากการวัดนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ต่างจากค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.12) ซึ่งเป็นผลจากความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดีเซลมีค่าต่ำและเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ส่งผลให้ค่าแรงตึงผิวซึ่งมีความสัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไม่มากนัก เป็นผลให้ค่า α เป็นฟังก์ชันเพิ่มกับอุณหภูมิ เพื่อปรับแก้ค่าจากสมการที่ (2.12) ให้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งค่า α ที่ได้จะนำไปใช้ในสมการคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประมาณค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลที่สัมพันธ์กับอัตราส่วนการผสมและอุณหภูมิต่อไป

4.3.3 การประมาณค่าและเปรียบเทียบขนาดหยดน้ำมัน

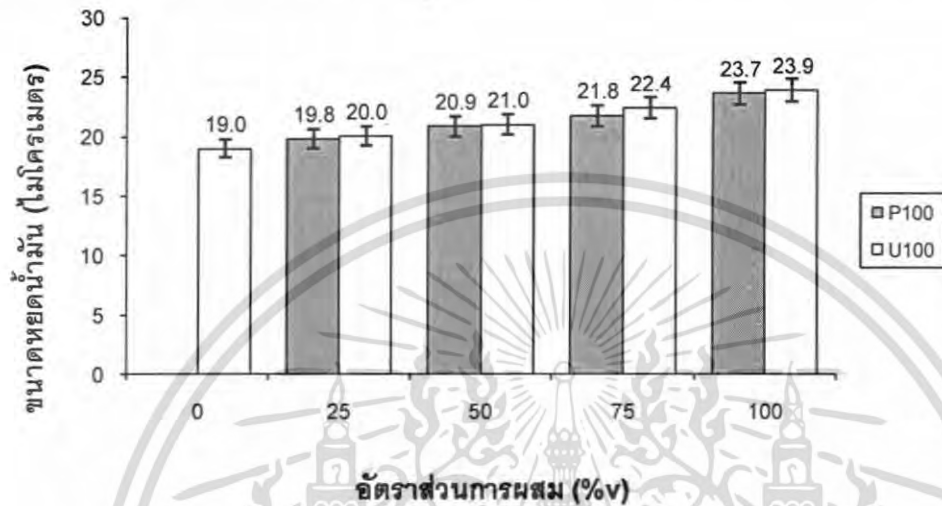
การคำนวณหาขนาดหยดน้ำมันที่จะถูกฉีดผ่านหัวฉีดในเครื่องยนต์ดีเซลสามารถคำนวณได้จากค่าความหนาแน่น ความหนืดและแรงตึงผิวของน้ำมัน เมื่อนิยามให้หยดน้ำมันมีลักษณะเป็นทรงกลมและอัตราส่วนระหว่างปริมาตรคือพื้นที่หน้าตัดของหยดน้ำมันแต่ละหยดเท่ากันหมด โดยจะสามารถคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของละอองน้ำมัน (Sauter mean diameter : SMD) ได้ดังสมการที่ (2.17) ซึ่งพบว่าในสภาวะการทำงานปกติของเครื่องยนต์ ค่าความหนาแน่นของอากาศในห้องเผาไหม้และค่าผลต่างของความดันระหว่างความดันของหยดน้ำมันที่ถูกฉีดผ่านหัวฉีดและความดันของแก๊สภายในห้องเผาไหม้จะมีค่าคงที่ประมาณ 8.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 200 บาร์ ตามลำดับ อีกทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและชนิดของหัวฉีดก็ไม่มีผลต่อค่า SMD ซึ่งเมื่อคำนวณค่า SMD จากสมการที่ (2.17) ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของละอองน้ำมันที่คำนวณจากสมการที่ (2.17)

อัตราส่วน การผสม	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของละอองน้ำมัน (ไมโครเมตร)					
	ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม			ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว		
B100:D1	25 °ซ	50 °ซ	80 °ซ	25 °ซ	50 °ซ	80 °ซ
0 : 100	28.0	22.8	19.0	28.0	22.8	19.0
25 : 75	31.0	24.4	19.8	30.1	24.1	20.0
50 : 50	34.9	26.1	20.9	33.4	25.5	21.0
75 : 25	35.8	27.7	21.8	35.4	26.4	22.4
100 : 0	37.7	29.8	23.7	39.2	29.9	23.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาขนาดหยดน้ำมันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่น้ำมันถูกฉีดผ่านหัวฉีดภายในเครื่องยนต์ การศึกษาและเปรียบเทียบขนาดหยดน้ำมันซึ่งสัมพันธ์กับความหนืด ความหนาแน่น และแรงตึงผิวของน้ำมัน จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเป็นแนวทางในการเลือกใช้น้ำมัน ได้ผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ผลของชนิดน้ำมันและอัตราส่วนการผสมต่อขนาดหยดของน้ำมันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการผสม ค่าความแตกต่างระหว่างขนาดหยดของน้ำมันต่างชนิดกันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อย และเมื่อพิจารณาไบโอดีเซลผสมที่อัตราส่วนร้อยละ 25 โดยปริมาตร จะมีขนาดหยดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก เป็นแนวทางในการเลือกใช้ไบโอดีเซลผสม กล่าวคือ ไบโอดีเซลผสมที่อัตราส่วนต่ำๆ จะมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับดีเซล ทำให้ค่าขนาดหยดใกล้เคียงกัน จึงเป็นการอธิบายได้อย่างดีว่าการนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงปัจจุบันที่นิยมนำไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่ำๆ เพราะต้องการให้ไบโอดีเซลผสมมีสมบัติใกล้เคียงกับดีเซล เวลามาไปใช้กับเครื่องยนต์จะได้ไม่เกิดปัญหา

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการวัดค่าแรงดึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลว การศึกษาผลของอัตราส่วนการผสมและอุณหภูมิต่อค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสม และการประมาณค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 การวัดค่าแรงดึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลว

พบว่าเครื่องมือวัดค่าแรงดึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลว สามารถวัดค่าแรงดึงผิวของดีเซล ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้ว รวมทั้งไบโอดีเซลผสมได้ โดยมีอัตราการป้อนสารที่เหมาะสม คือ 0.1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการให้หยดน้ำมันเข้าสู่สมดุลประมาณ 140 - 160 วินาที ทำให้ได้ปริมาตรหยดน้ำมันที่เหมาะสมคือ 4 - 5 ไมโครลิตร โดยค่าแรงดึงผิวที่วัดได้อยู่ในช่วง 19.5 - 25.0 มิลลินิวตันต่อเมตร

5.2 ผลการวัดค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสม

จากผลการวัดค่าแรงดึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดของเหลว พบว่าน้ำมันดีเซลมีค่าแรงดึงผิวน้อยกว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้วเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน คือ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีค่าแรงดึงผิวเท่ากับ 19.51, 21.37 และ 21.89 มิลลินิวตันต่อเมตร ตามลำดับ แสดงว่าชนิดของน้ำมันมีผลต่อค่าแรงดึงผิวของสารด้วย เนื่องจากลักษณะ โครงสร้าง โมเลกุลที่แตกต่างกัน

เมื่ออัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าแรงดึงผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาไบโอดีเซลบริสุทธิ์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าแรงดึงผิวมีแนวโน้มลดลง

การวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำมันตัวอย่างโดยใช้กระจกสไลด์เป็นพื้นผิวในการวัดค่ามุมสัมผัส พบว่าค่ามุมสัมผัสที่วัดได้มีค่าน้อยมาก คือ อยู่ในช่วง 9.3 - 17.5 องศา

5.3 สมการที่พัฒนาขึ้นเพื่อทำนายค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสม

จากการประยุกต์ใช้สมการกฎการผสมแบบควอดราติกในการทำนายค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสม พบว่าสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำนายค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิและอัตราส่วนการผสมได้ โดยมีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (%AAD) อยู่ในช่วง 0.37 - 1.18 ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสมการที่พัฒนาขึ้นจะมีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 3 ค่า ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ (k_{12}) ค่าพาราชอร์ [Ps] จากผลการทดลอง และค่าแฟกเตอร์แก้ไขในส่วนของคิเซล (α) โดยค่า k_{12} และ ค่าพาราชอร์ เป็นค่าคงที่ ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ ไบโอดีเซลผสมจากปาล์มและน้ำมันใช้แล้วมีค่า k_{12} เท่ากับ -0.042 และ -0.022 ตามลำดับ มีค่าพาราชอร์เท่ากับ 2.56 และ 2.54 ตามลำดับ ส่วนค่า α จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยมีความสัมพันธ์คือ $\alpha = 0.0017 \times \text{อุณหภูมิ (}^{\circ}\text{ซ)}$ + 0.6446

5.4 การประมาณค่าและเปรียบเทียบขนาดหยดของไบโอดีเซลผสม

พบว่าความหนืด ความตึงผิว และแรงตึงผิวมีผลต่อขนาดของหยดน้ำมัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น หยดน้ำมันจะมีขนาดเล็กลง เนื่องจากค่าความหนืด ความตึงผิว และแรงตึงผิวของน้ำมันมีค่าลดลงนั่นเอง และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าที่อัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลต่ำๆ เช่นที่ร้อยละ 25 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลผสมจะมีขนาดหยดใกล้เคียงกับน้ำมันคิเซล โดยมีขนาดหยดต่างกันประมาณ 1 ไมโครเมตร ดังนั้นในการนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงนิยมนำมาผสมกับน้ำมันคิเซลในอัตราส่วนต่ำๆ ก่อน เพื่อให้ไบโอดีเซลผสมมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันคิเซล

5.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

5.5.1 ปรับปรุงอุปกรณ์ในส่วนเครื่องวัดแรงตึงผิวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การออกแบบเพื่อลดการรบกวนของความร้อนของส่วนบรรจุตัวอย่าง เป็นต้น

5.5.2 เปลี่ยนวัสดุที่ใช้เป็นพื้นผิวในการวัดค่ามุมสัมผัสแทนกระจกสไลด์ เช่น แผ่นฟิล์ม EVA เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Robert C. Reid, John M. Prausnitz, Bruce E. Poling. The Properties of Gases and Liquids. 4th ed. McGraw-Hill Book Company. Singapore.
- [2] C.E. Ejim, B.A. Fleck, A. Amirfazli. Analytical study for atomization of biodiesels and their blends in a typical injector: Surface tension and viscosity effects. Fuel 2007;86:1534–1544.
- [3] Krisnangkura K, Yimsuwan T, Parinata R. An empirical approach in predicting biodiesel viscosity at various temperatures. Fuel 2006;85(1):107–13.
- [4] นิกร เกิดทองกลาง พงศ์ประกาศ ปิยมโนชา ธีรพล อุดมชัยพานิช และสุรัตน์ อารีรัตน์. “การประมาณค่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ผสม” วิศวกรรมลาดกระบัง. 24(1): 1-6.
- [5] ปราโมทย์ ไชยเวช. 2548. ปีโตรเลียมเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] “ไบโอดีเซล”. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). [Online]. Available: www.ipst.ac.th/chemistry/articles11/biodiesel.pdf
- [7] “ไบโอดีเซล”. ผศ.ดร.อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. [Online]. Available: <http://www.eduzones.com/knowledge-2-5-33002.html>
- [8] Marie C. M., Joel H. and Benilde J.V., “On the Surface Free Energy of PVC/EVA Polymer Blends: Comparison of Different Calculation Methods.”, Journal of Colloid and Interface Science, Vol.208, 1998. pp. 319-328.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

ผลการวัดความถ่วงจำเพาะและวิธีคำนวณค่าความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์มที่
อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม P100 : D1	ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0 : 100	0.825	0.824	0.825	0.825
25 : 75	0.835	0.835	0.834	0.835
50 : 50	0.842	0.843	0.843	0.843
75 : 25	0.855	0.855	0.855	0.855
100 : 0	0.867	0.868	0.868	0.868

ตารางที่ ก.2 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์มที่
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม P100 : D1	ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0 : 100	0.810	0.810	0.810	0.810
25 : 75	0.820	0.820	0.820	0.820
50 : 50	0.827	0.826	0.827	0.827
75 : 25	0.840	0.840	0.827	0.840
100 : 0	0.850	0.850	0.850	0.850

ตารางที่ ก.3 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์มที่
อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม P100 : D1	ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0 : 100	0.795	0.796	0.795	0.795
25 : 75	0.804	0.805	0.805	0.805
50 : 50	0.816	0.817	0.817	0.817
75 : 25	0.825	0.825	0.825	0.825
100 : 0	0.835	0.835	0.835	0.835

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้วที่

อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม U100 : D1	ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0 : 100	0.825	0.824	0.825	0.825
25 : 75	0.839	0.838	0.839	0.839
50 : 50	0.852	0.853	0.852	0.852
75 : 25	0.865	0.865	0.865	0.865
100 : 0	0.878	0.878	0.877	0.878

ตารางที่ ก.5 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้วที่

อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม U100 : D1	ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0 : 100	0.810	0.810	0.810	0.810
25 : 75	0.821	0.821	0.820	0.821
50 : 50	0.833	0.834	0.833	0.833
75 : 25	0.843	0.844	0.844	0.844
100 : 0	0.855	0.855	0.855	0.855

ตารางที่ ก.6 ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้วที่

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม U100 : D1	ผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0 : 100	0.795	0.796	0.795	0.795
25 : 75	0.810	0.809	0.809	0.809
50 : 50	0.823	0.823	0.822	0.823
75 : 25	0.837	0.836	0.836	0.836
100 : 0	0.850	0.850	0.850	0.850

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณค่าความหนาแน่นจากค่าความถ่วงจำเพาะ

จากตารางที่ ก.6 อัตราส่วนการผสม U100 : D1 เป็น 100 : 0

ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย = 0.850

สามารถแปลงเป็นความหนาแน่น โดยคูณด้วยความหนาแน่นของน้ำดังนี้

ความหนาแน่นของน้ำมัน = $0.850 \times 1000 = 850$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้อุปกรณ์วัดความหนืดแบบวิสโคมิเตอร์ จะได้ผลการวัดออกมาเป็นเวลาซึ่งสามารถแปลงเป็นค่าความหนืดได้โดยคูณด้วยค่าคงที่เฉพาะ (คงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ) ของวิสโคมิเตอร์ที่ใช้จากการทดลองได้ผลการวัดความหนืดดังนี้

ตารางที่ ข.1 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์มที่ 25 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม P100 : D1	ผลการจับเวลา (s)				ความหนืด (cSt)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0 : 100	280	275	280	278	4.55
25 : 75	323	320	312	318	5.21
50 : 50	378	375	374	376	6.15
75 : 25	380	383	383	382	6.25
100 : 0	394	394	389	392	6.42

ตารางที่ ข.2 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์มที่ 50 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม P100 : D1	ผลการจับเวลา (s)				ความหนืด (cSt)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0 : 100	218	218	219	218	2.90
25 : 75	224	225	224	224	2.97
50 : 50	253	256	251	253	3.36
75 : 25	264	267	264	265	3.52
100 : 0	303	307	302	304	4.03

ตารางที่ ข.3 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์มที่ 80 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม P100 : D1	ผลการจับเวลา (s)				ความหนืด (cSt)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0 : 100	118	119	116	118	1.92
25 : 75	119	124	120	121	1.97
50 : 50	128	122	123	124	2.02
75 : 25	137	138	137	137	2.23
100 : 0	158	162	161	160	2.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้วที่ 25 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม U100 : D1	ผลการจับเวลา (s)				ความหนืด (cSt)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0 : 100	280	275	280	278	4.55
25 : 75	289	288	287	288	4.72
50 : 50	319	322	320	320	5.24
75 : 25	357	356	356	356	5.83
100 : 0	401	393	395	396	6.49

ตารางที่ ข.5 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้วที่ 50 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม U100 : D1	ผลการจับเวลา (s)				ความหนืด (cSt)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0 : 100	218	218	219	218	2.90
25 : 75	182	182	180	181	2.95
50 : 50	191	192	192	192	3.13
75 : 25	198	199	198	198	3.23
100 : 0	235	224	231	230	3.75

ตารางที่ ข.6 ผลการวัดความหนืดของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้วที่ 80 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนการผสม U100 : D1	ผลการจับเวลา (s)				ความหนืด (cSt)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0 : 100	118	119	116	118	1.92
25 : 75	120	117	119	119	1.94
50 : 50	126	126	128	127	2.07
75 : 25	140	139	139	139	2.26
100 : 0	151	154	152	152	2.47

เครื่องวัดความหนืดแบบวิสโคมิเตอร์แต่ละเครื่องจะมีค่าคงที่เฉพาะต่างกัน โดยวิสโคมิเตอร์ที่ใช้มีค่าคงที่เฉพาะที่อุณหภูมิ 40 และ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิมาตรฐานในการวัดความหนืด แต่ในการทดลองนี้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 80 องศาเซลเซียส จึงทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดความหนืดที่อุณหภูมิดังกล่าวด้วย สำหรับค่าคงที่เฉพาะที่อุณหภูมิดังกล่าวหาโดยการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ซึ่งได้ผลดังตารางที่ ข.7

ตารางที่ ข.7 ค่าคงที่เฉพาะที่อุณหภูมิการทดลอง

อุณหภูมิ (°C)	ค่าคงที่เฉพาะ (cSt/s)
25	0.01638
50	0.01631
80	0.01627

ตัวอย่างการแปลงเวลาเป็นความหนืด

จากตารางที่ ข.6 และอัตราส่วนการผสม U100 : D1 เป็น 100 : 0 จับเวลาเฉลี่ยได้ 152 วินาที

ค่าคงที่เฉพาะของวิสโคมิเตอร์ที่อุณหภูมิ 80°C = 0.01627 เซนติสโตกต่อวินาที

ดังนั้นความหนืดของน้ำมันคือ $152 \times 0.01627 = 2.47$ เซนติสโตก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมจากสมการลาปลาซ-ยัง

ในการคำนวณค่าแรงดึงผิวจากรูปหยดน้ำเริ่มต้นจากการวัดค่าพารามิเตอร์รูปร่างต่างของหยดโดยในที่นี้จะยกตัวอย่างการหาค่าแรงดึงผิวของสารตัวอย่างคือน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



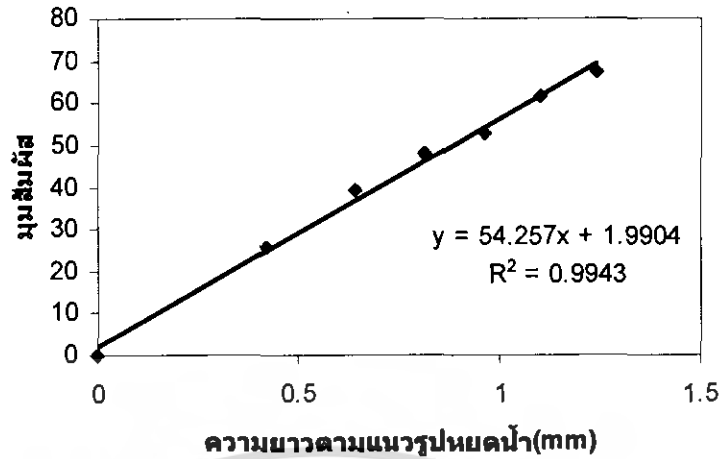
รูปที่ ค.1 รูปหยดน้ำมันดีเซลที่ 25 องศาเซลเซียส

จากรูปหยดน้ำที่ได้วัดค่าพารามิเตอร์รูปร่างได้ดังนี้

ตารางที่ ค.1 พารามิเตอร์รูปร่างที่วัดได้จากภาพหยดน้ำ

S	Angle	x	z
0	0	0	0
0.4222	25.7	0.4181	0.0852
0.6414	39.2	0.6049	0.1908
0.8120	47.9	0.7348	0.3004
0.9622	52.7	0.8404	0.4060
1.1002	61.7	0.9175	0.5237
1.2383	67.6	0.9744	0.6455

จากค่าที่วัดได้นำมาไปทำการคำนวณ โดยใช้วิธีถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาค่าความชันของกราฟและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จุดตัดแกน y ของกราฟระหว่างมุมสัมผัสและความยาวตามแนวรูปหยดน้ำ (S) ไม่สามารถมีได้ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 กราฟระหว่างมุมสัมผัสและความยาวตามแนวรูปหยดน้ำ

จากกราฟจะได้ค่าความชันกราฟและค่าจุดตัดแกน y ซึ่งกำหนดให้เป็นค่า c1 และ c2 ตามลำดับ จากสมการของกราฟจะได้

$$\frac{d\theta}{dS} = 54.257$$

และจากสมการลาปลาซ-ยังที่เงื่อนไขขอบเขตจะได้

$$\frac{d\theta}{dS} = \frac{1}{B} - \frac{z}{a}$$

แทนค่าข้อมูลที่จุดที่ใกล้กับจุดยอดของหยดมากที่สุดในที่นี้คือ $z = 0.0852$ mm จะได้

$$54.257 = \frac{1}{B} - \frac{0.0852}{a}$$

หาค่า a จาก

$$\frac{1}{a} = \frac{B \cdot x}{\sin \theta}$$

แทนค่า $x = 0.4181$ mm และ $\sin \theta = 0.4336$ จะได้

$$\frac{1}{a} = 0.9641B$$

นำค่าที่ได้ไปแทนค่าจะได้

$$54.257 = \frac{1}{B} - 0.0821B$$

คูณ B ทั้งสมการแล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$0.0821B^2 + 54.257B - 1 = 0$$

หรือ

$$B^2 + 660B - 12.18 = 0$$

หาค่า B จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-660 + \sqrt{660^2 - 4(1)(12.18)}}{2(1)}$$

$$B = 0.018$$

จากสมการจะหาค่า a ได้คือ

$$\frac{1}{a} = 0.9641 \times 0.018$$

$$a = 57.62 \text{ mm}$$

จะสามารถหาค่าแรงตึงผิวได้จาก

$$a = \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta \rho g}}$$

$$(57.62 \times 10^{-3})^2 = \frac{\gamma}{761 \cdot 9.81}$$

$$\gamma = 24.78 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

ดังนั้นจะได้ค่าแรงตึงผิวของสารตัวอย่างคือ 24.78 มิลลินิวตัน/เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ค่าแรงดึงผิวของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง [4]

ชนิดของของเหลว	γ_L (mN/m)	γ_{st}^d (mN/m)	γ_{st}^m (mN/m)
น้ำ	72.8	21.8	51.0
เอทิลีนไกลคอล	48.0	29.0	19.0
กลีเซอรอล	64.0	34.0	30.0

ตารางที่ ง.2 ค่ามุมสัมผัสของไบโอดีเซลผสมระหว่างไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล

ทดสอบครั้งที่	ค่ามุมสัมผัสของไบโอดีเซลผสม (P100 : D1)				
	0 : 100	25 : 75	50 : 50	75 : 25	100 : 0
1	15.0	17.0	14.0	15.0	10.5
2	16.0	17.5	14.5	13.5	10.5
3	17.0	18.0	14.0	15.0	9.0
4	17.0	18.0	14.5	16.5	9.0
5	17.0	17.5	14.5	15.0	11.5
6	17.0	17.5	13.0	14.5	13.0
7	17.5	17.5	14.5	14.0	10.5
8	17.0	17.0	15.0	15.5	10.0
ค่าเฉลี่ย	16.7	17.5	14.3	14.9	10.5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.8	0.4	0.6	0.9	1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของไบโอดีเซลผสมระหว่างไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วกับน้ำมันดีเซล

ทดสอบครั้งที่	ค่ามุมสัมพัทธ์ของไบโอดีเซลผสม (U100 : D1)				
	0 : 100	25 : 75	50 : 50	75 : 25	100 : 0
1	15.0	8.5	14.0	15.5	16.5
2	16.0	8.0	13.5	13.5	18.0
3	17.0	8.0	12.5	15.0	18.0
4	17.0	10.0	12.0	15.5	19.5
5	17.0	9.5	13.5	15.0	20.0
6	17.0	8.5	14.0	14.0	18.0
7	17.5	11.0	14.0	14.5	18.0
8	17.0	10.5	13.5	15.0	17.5
ค่าเฉลี่ย	16.7	9.3	13.4	14.8	18.2
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.8	1.2	0.7	0.7	1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ.

**ขั้นตอนการพัฒนาสมการควอดราติกและตัวอย่าง
คำสั่งการคำนวณบนโปรแกรม Visual Basic for application**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับขั้นตอนการพัฒนาสมการถดถอยแบบควอดราติกที่จะใช้ในการประมาณค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสมนั้น จะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. ทำการหาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า ที่เกี่ยวข้องกับสมการควอดราติก โดยทำการ Fitting curve กับค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่ได้จากการทดลอง ซึ่งในการทำ Fitting curve จะพิจารณาที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 80 องศาเซลเซียส โดยมีไบโอดีเซลผสมที่ศึกษา 2 ชนิด คือ จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้ว โดยพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่ามีผลดังตารางที่ จ.1

ตารางที่ จ.1 ข้อมูล ค่า k_{12} ค่าพาราซอร์ และค่า α จากการ Fitting curve ในขั้นตอนที่ 1

อุณหภูมิ (°C)	ค่าพารามิเตอร์ ปรับแก้ (k_{12})		ค่าพาราซอร์ [Ps] ($\text{cm}^3/\text{s}^{1/2} \text{g}^{3/4}$)		ค่าแฟคเตอร์แก้ไขในส่วน ของน้ำมันดีเซล (α)	
	Biodiesel (P)	Biodiesel (U)	Biodiesel (P)	Biodiesel (U)	Biodiesel (P)	Biodiesel (U)
25	-0.04	-0.02	2.56	2.54	0.69	0.69
50	-0.04	-0.02	2.57	2.54	0.73	0.72
80	-0.04	-0.02	2.57	2.54	0.78	0.79

หมายเหตุ Biodiesel (P) คือ ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

Biodiesel (U) คือ ไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว

2. จากข้อมูลในตารางที่ จ. พบว่า ค่า k_{12} และค่าพาราซอร์มีแนวโน้มคงที่ ส่วนค่า α มีแนวโน้มเป็นฟังก์ชันเพิ่มกับอุณหภูมิ ดังนั้นจึงนำค่า k_{12} และค่าพาราซอร์ มาหาค่าเฉลี่ย โดยพบว่าไบโอดีเซลผสมจากปาล์มและน้ำมันใช้แล้วมีค่า k_{12} เท่ากับ -0.042 และ -0.022 ตามลำดับ มีค่าพาราซอร์เท่ากับ 2.56 และ 2.54 ตามลำดับ จากนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยของค่า k_{12} และค่าพาราซอร์ไปทำการ Fitting curve อีกครั้ง เพื่อหาค่า α ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิต่อไป

3. จากการ Fitting curve ในขั้นตอนที่ 2 จะได้ค่า α ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยมีความสัมพันธ์ คือ $\alpha = 0.0017 \times \text{อุณหภูมิ} (\text{°C}) + 0.6446$

4. นำค่า k_{12} และค่าพาราซอร์ที่ได้จากค่าเฉลี่ยในขั้นตอนที่ 2 และค่า α ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 3 มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (%AAD) ของผลต่างระหว่างค่าแรงตึงผิวที่ได้จากการวัดและคำนวณจากสมการที่พัฒนาขึ้น ได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (%AAD) น้อยมาก จึงสรุปได้ว่าสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำนายค่าแรงตึงผิวที่เป็นฟังก์ชันกันอุณหภูมิและอัตราส่วนการผสมได้

ตัวอย่างคำสั่งการคำนวณบนโปรแกรม Visual Basic for application

สำหรับตัวอย่างด้านล่างจะเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมการกฏการผสมแบบควอดราติก (Quadratic mixing rule) ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสม 3 ค่า ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ (k_{12}) ค่าพาราซอร์ [Ps] จากผลการทดลอง และค่าแฟลคเตอร์แก้ไขในส่วนของดีเซล (α) โดยมีรายละเอียดโปรแกรมดังนี้

```
Dim N9, M9, IJ
```

```
Dim Q9(5), X9(5), D9(5), O9(5), A9(5, 6), C9(5, 6), E9(100), R9(5), P9(5)
```

```
Dim G9(100), B9(100, 5), Z9(100), T9(10), Y9(5), S9(5), X(100)
```

```
Dim RT(100), V1(100), V2(100), gamma1(100), x12_cal(100), x12_exp(100), w1(100), w2(100)
```

```
Dim term1(100), term2(100), term3(100), term4(100), term5(100), Sum(100), Err(100)
```

```
Sub cal()
```

```
Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")
```

```
'Initial adjustable parameter
```

```
P9(1) = dataArea.Cells(4, 6).Value
```

```
P9(2) = dataArea.Cells(7, 6).Value
```

```
P9(3) = dataArea.Cells(10, 6).Value
```

```
'Check data numbers!
```

```
For i = 1 To 20
```

```
    If dataArea.Cells(16 + i, 2).Value = "" Then
```

```
        N9 = i - 1
```

```
        Exit For
```

```
    Else
```

```
    End If
```

```
Next i
```

```
'Input experimental data
```

```
For i = 1 To N9
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x12_exp(i) = dataArea.Cells(16 + i, 3)
Next i
M9 = 3
Marquardt
End
End Sub
Sub Marquardt()

Z9(1) = 2: Z9(2) = 0.2: V9 = 0.00001: T9(1) = 0: T9(2) = 0: Z9(4) = 0.0000001
Z9(3) = 0.00000005: F9 = 1.5: Y9(2) = M9 + 1

R9(1) = 1: R9(2) = 1
R9(3) = 1
For i = 1 To N9
    E9(i) = 0
Next i
Func

S9(1) = 0: T9(2) = T9(2) + 1: T9(4) = 0
For K9 = 1 To N9
    S9(1) = S9(1) + E9(K9) ^ 2
Next K9
For I9 = 1 To M9
    T9(4) = T9(4) + Abs(R9(I9))
Next I9
If T9(4) = 0 Then
    GoTo A2
End If
M1 = 1
Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")
dataArea.Cells(M1 + 1, 17) = S9(1)

```

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
dataArea.Cells(M1 + 1, 19) = T9(2)
```

```
dataArea.Cells(M1 + 1, 20) = P9(1)
```

```
dataArea.Cells(M1 + 1, 21) = P9(2)
```

A3:

'-----Calculation of Jacobian Matrix-----'

```
T9(1) = T9(1) + 1
```

```
Z9(1) = 2
```

```
S9(2) = S9(1)
```

```
For J9 = 1 To M9
```

```
    Q9(J9) = P9(J9)
```

```
Next J9
```

```
For K9 = 1 To N9
```

```
    G9(K9) = E9(K9)
```

```
Next K9
```

```
For J9 = 1 To M9
```

```
    If R9(J9) <> 0 Then
```

```
        Y9(1) = (Abs(P9(J9)) + Z9(4)) * Z9(4)
```

```
        P9(J9) = P9(J9) + Y9(1)
```

```
    Func
```

```
        For K9 = 1 To N9
```

```
            B9(K9, J9) = (E9(K9) - G9(K9)) / Y9(1)
```

```
        Next K9
```

```
        P9(J9) = Q9(J9)
```

```
    End If
```

```
Next J9
```

'-----Changing scale of matrix-----'

```
For I9 = 1 To M9
```

```
    X9(I9) = 0: O9(I9) = 1
```

```
    If R9(I9) <> 0 Then
```

```
        For K9 = 1 To N9
```

```
            X9(I9) = X9(I9) + B9(K9, I9) * G9(K9)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยในชั้นเรียนที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Next K9
For J9 = I9 To M9
  A9(I9, J9) = 0
  If R9(J9) <> 0 Then
    For K9 = 1 To N9
      A9(I9, J9) = A9(I9, J9) + B9(K9, I9) * B9(K9, J9)
    Next K9
  End If
  A9(J9, I9) = A9(I9, J9)
Next J9
O9(I9) = Sqr(A9(I9, I9))
X9(I9) = X9(I9) / O9(I9)
GoTo A1
End If
A9(I9, I9) = 1
For J9 = I9 + 1 To M9
  A9(I9, J9) = 0
  A9(J9, I9) = 0
Next J9

A1:
Next I9
For I9 = 1 To M9
  For J9 = I9 To M9
    A9(I9, J9) = A9(I9, J9) / (O9(I9) * O9(J9))
    A9(J9, I9) = A9(I9, J9)
  Next J9
Next I9

Z9(5) = 0

```

A4:

```
For I9 = 1 To M9
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

For J9 = 1 To M9
    C9(I9, J9) = A9(I9, J9)
Next J9
C9(I9, Y9(2)) = -X9(I9)
C9(I9, I9) = C9(I9, I9) + V9
Next I9
'-----Gauss Jordan-----
For I9 = 1 To M9
    H9 = I9 + 1
    For J9 = H9 To Y9(2)
        C9(I9, J9) = C9(I9, J9) / C9(I9, I9)
    Next J9
    For J9 = 1 To M9
        If I9 <> J9 Then
            For K9 = H9 To Y9(2)
                C9(J9, K9) = C9(J9, K9) - C9(I9, K9) * C9(J9, I9)
            Next K9
        End If
    Next J9
Next I9
'-----
For I9 = 1 To M9
    D9(I9) = C9(I9, Y9(2)) / O9(I9)
    P9(I9) = Q9(I9) + D9(I9)
Next I9
Func
T9(2) = T9(2) + 1
S9(1) = 0
Z9(5) = Z9(5) + 1
For J9 = 1 To N9
    S9(1) = S9(1) + E9(J9) ^ 2
Next J9

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

dataArea.Cells(M1 + 2, 17) = S9(1)

dataArea.Cells(M1 + 2, 18) = T9(1)

dataArea.Cells(M1 + 2, 19) = T9(2)

dataArea.Cells(M1 + 1, 20) = P9(1)

dataArea.Cells(M1 + 1, 21) = P9(2)

If S9(1) < S9(2) Then

-----Judgement of convergence-----

T9(3) = 0

For J9 = 1 To M9

If Abs(D9(J9)) / (Abs(P9(J9)) + Z9(4)) > Z9(3) Then

T9(3) = T9(3) + 1

End If

Next J9

If T9(3) = 0 Then

If N9 - T9(4) > 0 Then

S9(3) = Sqr(S9(1) / (N9 - T9(4)))

A2:

End If

GoTo A5

End If

GoTo A6

End If

-----Increase the value of lampda-----

Z9(1) = Z9(1) * F9

V9 = V9 * Z9(1)

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

dataArea.Cells(M1 + 1, 21) = V9

If V9 > 1000 Then

For I9 = 1 To M9

P9(I9) = Q9(I9)

```

Next I9
S9(1) = S9(2)
GoTo A2
End If
M1 = M1 + 1
GoTo A4

```

A6:

'-----Decrease the value of lampda-----'

```

M1 = M1
If Z9(5) = 1 Then
  V9 = V9 * Z9(2)
GoTo A3
End If
GoTo A3

```

A5:

End Sub

Sub Func()

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

IJ = 1

Do While IJ <= N9

A7:

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

' Data input

Tm = dataArea.Cells(5, 3).Value

Sg = dataArea.Cells(2, 3).Value

Tb = dataArea.Cells(3, 3).Value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'Calculation Surface tension as a function of Temp for pure component

$$Ps = P9(3)$$

$$Fac = P9(2)$$

$$Tc = 9.5233 * (\text{Exp}(-9.314 * (10 \wedge -4) * Tb - 0.544442 * Sg + 6.4791 * (10 \wedge -4) * Tb * Sg)) * (Sg \wedge 0.53691) * (Tb \wedge 0.81067)$$

$$\text{Gamma}_1 = (Ps * (-0.0006 * (Tm) + 0.8818)) \wedge 4$$

$$\text{Gamma}_2 = Fac * ((673.7 * Sg * ((1 - ((Tm) + 273.15) / Tc) \wedge 1.232)) / (1.8 * Tb) \wedge (1 / 3))$$

'Input adjustable parameter for quadratic mixing rule

$$K12 = P9(1)$$

'Calculation mole fraction

$$w2(IJ) = 1 - w1(IJ)$$

$$x12_cal(IJ) = (w1(IJ)) \wedge 2 * \text{Gamma}_1$$

$$x12_cal(IJ) = x12_cal(IJ) + (w2(IJ)) \wedge 2 * \text{Gamma}_2$$

$$x12_cal(IJ) = x12_cal(IJ) + 2 * (w1(IJ) * w2(IJ)) * (\text{Gamma}_1 * \text{Gamma}_2) \wedge 0.5 * (1 - K12)$$

'Print out resulting values

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

dataArea.Cells(IJ + 16, 8).Value = x12_cal(IJ)

dataArea.Cells(5, 6).Value = K12

dataArea.Cells(8, 6).Value = Fac

dataArea.Cells(11, 6).Value = Ps

IJ = IJ + 1

Loop

Sum(0) = 0

For i = 1 To N9

$$E9(i) = x12_exp(i) - x12_cal(i)$$

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

dataArea.Cells(i + 16, 9) = E9(i)

$$\text{Err}(i) = E9(i) / x12_exp(i)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Err(i) = Abs(Err(i))$

$Sum(i) = Sum(i - 1) + Err(i)$

Next i

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

$Add = (100 / N9) * Sum(N9)$

dataArea.Cells(13, 6).Value = Add

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.1 ปริมาณขององค์ประกอบ ความหนาแน่น มวลโมเลกุลและพารามิเตอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม [2]

Biodiesel	Mass fraction	Density (g/cm ³)	MW	[P] (cm ³ g ^{1/4} /s ^{1/2} mol)
Caprylic acid methyl ester	0.001	0.824	158.24	414.8
Capric acid methyl ester	0.001	0.823	186.29	494.8
Lauric acid methyl ester	0.009	0.822	214.35	574.8
Myristic acid methyl ester	0.013	0.821	242.40	654.8
Palmitic acid methyl ester	0.439	0.820	270.46	739.0
Stearic acid methyl ester	0.049	0.821	298.51	819.6
Oleic acid methyl ester	0.390	0.838	296.49	807.7
Linoleic acid methyl ester	0.095	0.845	294.48	798.2
Linolenic acid methyl ester	0.003	0.860	292.46	783.9

จากข้อมูลในตาราง ๑.1 ถูกลำเอียงใช้คำนวณหา [P] ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มแล้วนำมาเปรียบเทียบกับ [Ps] ซึ่งคำนวณได้จากการทดลอง โดยถ้า [P] และ [Ps] มีค่าใกล้เคียงกันก็แสดงว่า [Ps] ที่ได้นั้นมีค่าถูกต้อง โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{จากการทดลองได้ } [Ps] = 2.56 \text{ cm}^3/\text{s}^{1/2} \text{ g}^{3/4}$$

- หา [P] ของไบโอดีเซลจาก $[P] = \sum ([P_i]x_i)$

$$[P] = 772.36 \text{ cm}^3 \text{ g}^{1/4}/\text{s}^{1/2} \text{ mol}$$

- แปลงหน่วยของ [P] ให้เป็นหน่วยเดียวกับ [Ps] โดยใช้มวลโมเลกุลเฉลี่ยดังนี้

$$\frac{(\text{cm}^3 \text{ g}^{1/4}/\text{s}^{1/2} \text{ mol})}{(\text{g/mol})} = \text{cm}^3/\text{s}^{1/2} \text{ g}^{3/4}$$

$$[P] = 772.36/283.28 = 2.73 \text{ cm}^3/\text{s}^{1/2} \text{ g}^{3/4}$$

จะเห็นว่าค่า [P] และ [Ps] มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าค่า [Ps] ที่ได้จากการทดลองมีค่าถูกต้องน่าเชื่อถือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณค่าแรงตึงผิวโดยใช้สมการควอดราติกที่พัฒนาขึ้น

ทำการคำนวณค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์มที่อัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลร้อยละ 25 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

คำนวณค่าแรงตึงผิวของดีเซลจากสมการที่ (2.12) โดยแทนค่าสมการดังนี้

$$T_b = 545.35 \text{ เกลวิน}$$

$$T_c = 731.14 \text{ เกลวิน}$$

$$SG = 0.828$$

ได้ค่า $\gamma = 24.90$ มิลลินิวตันต่อเมตร

จากนั้นนำค่า γ ที่คำนวณได้ไปคูณกับแฟกเตอร์แก้ไข α ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ค่าแรงตึงผิวของดีเซล (γ_1) ที่จะใช้ในสมการควอดราติกที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่าดังนี้

$$\gamma_1 = 24.90 \times \{ (0.0017 \times 80) + 0.6446 \}$$

$$\gamma_1 = 19.44 \text{ มิลลินิวตันต่อเมตร}$$

คำนวณค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม (γ_2) จากสมการที่ (2.13) โดยแทนค่าความหนาแน่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.3 และค่าพาราซอร์ที่หาได้จากการทดลองในตารางที่ 4.7 ได้ค่าดังนี้

$$\gamma_2 = [\{ (-0.0006 \times 80) + 0.8818 \} \times 2.56]^4$$

$$\gamma_2 = 20.76 \text{ มิลลินิวตันต่อเมตร}$$

นำไปคำนวณหาค่าแรงตึงผิวของไบโอดีเซลผสมต่อในสมการควอดราติก ดังสมการที่ (2.15) โดยแทนค่า k_{12} จากตารางที่ 4.7 ได้ค่าดังนี้

$$\begin{aligned} Y_{\text{mix}} &= \{ (0.75^2) \times 19.44 \} + \{ (0.25^2) \times 20.76 \} \\ &\quad + \{ [(19.44 \times 20.76)^{0.5}] \times 2 \times 0.75 \times 0.25 \times (1 + 0.042) \} \\ &= 20.12 \text{ มิลลินิวตันต่อเมตร} \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลค่าแรงดึงผิวของไบโอดีเซลผสมที่คำนวณจากสมการควอดรติกที่พัฒนาขึ้น

อัตราส่วน การผสม	ค่าแรงดึงผิวของน้ำมัน (mN/m)					
	ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันปาล์ม			ไบโอดีเซลผสมจากน้ำมันใช้แล้ว		
B100:D1	25 °ซ	50 °ซ	80 °ซ	25 °ซ	50 °ซ	80 °ซ
0 : 100	20.2	20.0	19.4	20.2	20.0	19.4
25 : 75	21.6	21.0	20.1	21.5	21.0	20.2
50 : 50	22.7	21.8	20.6	22.7	21.9	20.8
75 : 25	23.7	22.4	20.9	23.8	22.7	21.4
100 : 0	24.4	22.8	20.9	24.8	23.4	21.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗.1 ข้อมูลการคำนวณ SMD ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

อุณหภูมิ (°C)	อัตราส่วนการผสม P100 : D1	viscosity *10 ⁶ (m ² /s)	แรงตึงผิว (N/m)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	SMD (μm)
25	0 : 100	4.55	0.0204	825	28.04
	25 : 75	5.21	0.0215	835	30.99
	50 : 50	6.15	0.0229	843	34.93
	75 : 25	6.25	0.0232	855	35.80
	100 : 0	6.42	0.0242	868	37.71
50	0 : 100	2.90	0.0198	810	22.77
	25 : 75	2.97	0.0212	820	24.41
	50 : 50	3.36	0.0216	827	26.10
	75 : 25	3.52	0.0225	840	27.68
	100 : 0	4.03	0.0229	850	29.84
80	0 : 100	1.92	0.0195	795	18.97
	25 : 75	1.97	0.0202	805	19.82
	50 : 50	2.02	0.0210	817	20.86
	75 : 25	2.23	0.0210	825	21.77
	100 : 0	2.60	0.0214	835	23.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗.2 ข้อมูลการคำนวณ SMD ของไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว

อุณหภูมิ (°C)	อัตราส่วนการผสม P100 : D1	viscosity *10 ⁶ (m ² /s)	แรงตึงผิว (N/m)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	SMD (μm)
25	0 : 100	4.55	0.0204	825	28.04
	25 : 75	4.72	0.0216	839	30.10
	50 : 50	5.24	0.0232	852	33.38
	75 : 25	5.83	0.0234	865	35.40
	100 : 0	6.49	0.0250	878	39.17
50	0 : 100	2.90	0.0198	810	22.77
	25 : 75	2.95	0.0208	824	24.09
	50 : 50	3.13	0.0214	838	25.49
	75 : 25	3.23	0.0218	851	26.44
	100 : 0	3.75	0.0234	865	29.87
80	0 : 100	1.92	0.0195	795	18.97
	25 : 75	1.94	0.0206	809	20.04
	50 : 50	2.07	0.0208	823	21.00
	75 : 25	2.26	0.0213	836	22.40
	100 : 0	2.47	0.0219	850	23.91

ตัวอย่างการคำนวณ SMD

ตัวอย่างน้ำมัน U100 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ตาราง ๗.2) สามารถคำนวณ SMD ได้จากสมการที่ 2.17

$$SMD = 6156 v_m^{0.385} \gamma_m^{0.737} \rho_m^{0.737} \rho_A^{0.06} \Delta P_L^{-0.54}$$

โดยแทนค่าดังนี้

$$\begin{aligned} SMD &= 6156 (2.47 \times 10^{-6})^{0.385} (0.0219)^{0.737} (850)^{0.737} (8.2)^{0.06} (200)^{-0.54} \\ &= 23.91 \text{ ไมโครเมตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้