

การศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาค้ามสเตียริน



นายจิรพนธ์ แดงขำ
นายพีระพงศ์ เนียรภาค

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 45684
วัน, เดือน, ปี..... 13 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF BIODIESEL SYNTHESIS FROM STEARIN PALM OIL



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


2001

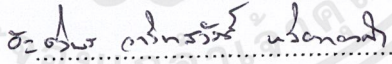
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาบัตรเรื่อง การศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาลิ้นสดเตยริน
โดย นายจิรพันธ์ แดงขำ
นายพีระพงศ์ เนียรภาค
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ประกอบ กิจไชยา

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร


..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)


..... กรรมการ
(ผศ.ดร.อัญชลิพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)


..... กรรมการ
(ดร.โจโกะ เทเรซ่า อีโต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง
โดย

การศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาล์มสเตียร์น
นายจิรพนธ์ แดงขำ
นายพีระพงศ์ เนียรภาค

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษานาฏภาวะเบื้องต้นในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับไขปลาล์มสเตียร์นเพื่อให้มีผลได้สูง โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไขปลาล์มสเตียร์นกับเมทานอล และอุณหภูมิพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อผลได้ก็คือปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างไขปลาล์มสเตียร์นกับเมทานอล ส่วนอุณหภูมิมีผลน้อย และสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษานี้ คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไขปลาล์มสเตียร์น อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไขปลาล์มสเตียร์นกับเมทานอลเท่ากับ 1 ต่อ 6 ที่อุณหภูมิ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส

Report Title A Study of Biodiesel Synthesis from Stearin Palm Oil
By Mr. Jirapon Dangkham
 Mr. Peerapong Nierapark
Advisor Asst.Prof.Dr.Prakob Kitchaiya
Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering,
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This research presents a study of the elementary conditions of the biodiesel synthesis carried out through the transesterification of stearin palm oil with methanol in the presence of sodium hydroxide as an alkaline catalyst. The parameters were; 1) amount of sodium hydroxide used, 2) oil-to-methanol molar ratio, and 3) temperature. It was found that amount of sodium hydroxide used and oil-to-methanol molar ratio had an important effect on the transesterification. Temperature had no significant effect. The good condition for biodiesel synthesis from palm stearin in this study was 0.5% sodium hydroxide by weight of oil, 1:6 oil-to-methanol molar ratio and 50 to 60°C.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย
คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

บริษัท ล้ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่อนุเคราะห์ใจปาล์มสเตียร์

คุณวิไล โพธิสุข คุณสุภาพ ศิลปคัมภีรภาพ คุณคึกฤทธิ์ สุขวัฒน์ และเจ้าหน้าที่
ส่วนควบคุมคุณภาพ แผนกวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซ คลังน้ำมันพระโขนง
บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่กรุณาให้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง และ
ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ

คุณพิสันต์ พลโพธิ์ และคุณธีระโชติ ศรีธีระ โรจน์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วย
เหลือในการสร้างถังปฏิบัติการ และซ่อมแซมอุปกรณ์การทดลอง

คุณจักรพงษ์ ไชยบุรี คุณชัชวีร์ ไทยสุชาติ และนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำต่างๆ

ดร.จินดา เจริญพรพานิษฐ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คุณพิสุทธิ์ เลิศสงคราม
คุณรณรงค์ ปรมาริภูด และคุณณพงษ์ สุทพิสิทธิ์ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาทดสอบ
น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไบโอดีเซลสเตียร์กับเครื่องยนต์ดีเซล

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษา ถ้ามี
สิ่งผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

จิรพันธ์ แดงขำ

พีระพงษ์ เนียรภาค

31 มีนาคม 2545

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 ปาล์มน้ำมัน	3
2.2 น้ำมันดีเซล	9
2.3 น้ำมันดีเซลชีวภาพ	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.5 การวางแผนการทดลอง.....	21
บทที่ 3 การทดลอง	23
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	23
3.2 สารเคมี.....	23
3.3 อุปกรณ์.....	23
3.4 วิธีการทดลอง.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	29
4.1 ผลการทดลอง.....	29
4.2 การวิเคราะห์ผล	30
4.3 การสร้างสมการถดถอย.....	31
4.4 การแปลความหมาย.....	31
4.5 การวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	34
5.1 สรุปผลการทดลอง	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง.....	37
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก สมบัติของ ไโซปาล์มสเตียร์น	40
ภาคผนวก ข การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ	41
ภาคผนวก ค ผลการทดลองการหาปริมาณผลิตภัณฑ์.....	43
ภาคผนวก ง สมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจาก ไโซปาล์มสเตียร์นจากการทดลอง	52
ภาคผนวก จ ข้อมูลการทดสอบน้ำมันดีเซลชีวภาพจาก ไโซปาล์มสเตียร์น ด้วยเครื่องยนต์เทียบกับน้ำมันดีเซล.....	54

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว	11
ตารางที่ 2.2 คุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า	12
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพของประเทศเยอรมันและประเทศสหรัฐอเมริกา	16
ตารางที่ 2.4 สมบัติน้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล	18
ตารางที่ 3.1 การจับกลุ่มการทดลอง	25
ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของค่าความหนืดกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันดีเซลชีวภาพจาก น้ำมันถั่วเหลือง	27
ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของหมายเลขการทดลองต่างๆ	29
ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่สภาวะต่างๆ	30
ตารางที่ 4.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลอง	30
ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	31
ตารางที่ ก.1 สมบัติของไขปลากลุ่มสเตียร์นที่ใช้ทำการทดลอง	40
ตารางที่ ก.2 สมบัติของไขปลากลุ่มสเตียร์น	40
ตารางที่ ข.1 ช่วงของปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาตรของเอทานอล และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้	41
ตารางที่ ค.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ 44	
ตารางที่ ค.2 เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืด จากหมายเลขทดลองที่ 1	47
ตารางที่ ค.3 เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืด จากหมายเลขทดลองที่ 2	47
ตารางที่ ค.4 เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืด จากหมายเลขทดลองที่ 3	48
ตารางที่ ค.5 เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืด จากหมายเลขทดลองที่ 4	48
ตารางที่ ค.6 เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืด จากหมายเลขทดลองที่ 5	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค.7 เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืด จากหมายเลขทดลองที่ 6.....	49
ตารางที่ ค.8 เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืด จากหมายเลขทดลองที่ 7.....	49
ตารางที่ ค.9 เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืด จากหมายเลขทดลองที่ 8.....	49
ตารางที่ ง.1 เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาลิ้นสดเคียวรินจากการทดลอง เทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป.....	52
ตารางที่ ง.2 เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาลิ้นสดเคียวรินจากการทดลอง กับมาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพของต่างประเทศ.....	53
ตารางที่ จ.1 ลักษณะเฉพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	54

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์ม.....	6
รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์.....	8
รูปที่ 2.3 ปริมาณควันไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพ เทียบกับน้ำมันดีเซล	19
รูปที่ 2.4 การเพิ่มค่าของกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ	20
รูปที่ 3.1 ชุดปฏิบัติการทดลอง	24
รูปที่ 4.1 ผลกระทบของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	32
รูปที่ 4.2 ผลกระทบของอัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อเมทานอล.....	33
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิ	33
รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์น้ำมันดีเซลชีวภาพกับความหนืด	51
รูปที่ จ.1 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่วัดจากไอเสียจากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพ เทียบกับน้ำมันดีเซล	55
รูปที่ จ.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดจากไอเสียจากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล	55
รูปที่ จ.3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดจากไอเสียจากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล	56
รูปที่ จ.4 ค่าถังที่วัดได้จากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	56
รูปที่ จ.5 แรงบิดที่วัดได้จากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	57
รูปที่ จ.6 อุณหภูมิไอเสียที่วัดได้จากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพ เทียบกับน้ำมันดีเซล.....	57
รูปที่ จ.7 อัตราการใช้ น้ำมันของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพ เทียบกับน้ำมันดีเซล	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา [1]

โลกใช้น้ำมันดิบในอัตราที่เพิ่มขึ้นโดยตลอด จากวันละ 63.21 ล้านบาร์เรล ในปี พ.ศ.2531 เป็น 71.53 ล้านบาร์เรลต่อวัน ในปี พ.ศ.2541 หากอัตราการใช้น้ำมันของโลกไม่เปลี่ยนแปลง ด้วยปริมาณสำรองที่เหลืออยู่ คาดว่าในอีก 40 ปีข้างหน้าน้ำมันจะหมดไปจากโลก แต่ข้อเท็จจริงที่ผ่าน มาปริมาณสำรองของน้ำมันเพิ่มขึ้นโดยตลอด จาก 0.65 ล้านล้านบาร์เรล เมื่อสิ้นปี พ.ศ.2521 เป็น 0.92 ล้านล้านบาร์เรล เมื่อสิ้นปี พ.ศ.2531 และเป็น 1.05 ล้านล้านบาร์เรล เมื่อสิ้นปี พ.ศ.2541 ถึงแม้ว่าน้ำมันดิบจะเป็นทรัพยากรพลังงานชนิดใช้แล้วสิ้นเปลือง แต่คาดว่าในรอบ ศตวรรษนี้ น้ำมันยังคงจะมีใช้อยู่ตลอดไป แต่จะค่อยๆ ลดบทบาทลง เพราะมีการใช้พลังงานที่เป็น ทางเลือกอื่น (Alternative Energy) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy)

นอกจากพลังงาน ไฟฟ้าซึ่งกำลังมีบทบาทต่อการขับเคลื่อนยานยนต์ในอนาคตแล้ว เชื้อเพลิงชีวภาพก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะยืดอายุการใช้น้ำมันของโลกให้ยาวนานออกไป การใช้น้ำมันพืชหรือน้ำมันดีเซลชีวภาพแทนน้ำมันดีเซล ก็คือหนึ่งในการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่อาจจะเป็น ที่นิยมใช้กันในอนาคต

การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลไม่ใช่ของใหม่ ดร.รูคอล์ฟ ดีเซล ชาวเยอรมันซึ่งเป็นผู้คิดค้นเครื่องยนต์ดีเซลได้สำเร็จในปี พ.ศ. 2425 ในตอนนั้นเขาได้ใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบเครื่องยนต์ของเขาจนประสบความสำเร็จ และเป็น ต้นแบบของเครื่องยนต์ดีเซลจนถึงปัจจุบัน แต่เนื่องจากน้ำมันจากปิโตรเลียมมีราคาถูกและหาได้ ง่าย น้ำมันพืชจึงไม่เป็นที่ยอมรับเพราะมีราคาแพงกว่าน้ำมันปิโตรเลียม และการใช้น้ำมันพืชยัง ประสบปัญหาเรื่องความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำ จนปัจจุบันทั่วโลกประสบปัญหาด้านราคาน้ำมัน ปิโตรเลียมที่สูงขึ้น นับตั้งแต่วิกฤตน้ำมันในปี พ.ศ.2516 เป็นต้นมา จึงเป็นสาเหตุให้มีการศึกษา แหล่งเชื้อเพลิงอื่นๆ

การเปลี่ยนแปลงน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นสิ่งที่มิ สักยภาพสูงในการที่จะทำ เพราะน้ำมันพืชเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีขอบเขต สามารถผลิตขึ้นมา ใหม่ได้ในเวลาไม่นานนัก อีกทั้งมีความปลอดภัยมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานจาก ไฮโดรเจน พลังงานนิวเคลียร์ หรือถ่านหินที่เพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในบรรยากาศของโลก น้ำมันดีเซลชีวภาพซึ่งได้จากการนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ได้รับการยอมรับว่ามี

คุณภาพเท่าเทียมและดีกว่าในอีกหลายด้านเมื่อใช้น้ำมันดีเซล หรือผสมเป็นหัวเชื้อทั้งในยุโรปและอเมริกา อีกทั้งการใช้ผลผลิตทางการเกษตรมาทำน้ำมันดีเซลชีวภาพ จะช่วยผลักดันให้ผลิตผลการเกษตรมีแหล่งตลาดขนาดใหญ่ภายในประเทศ ซึ่งจะส่งผลให้มีการกระตุ้นการผลิตภาคเกษตรกรรมแนวใหม่ เป็นตลาดซึ่งสามารถสร้างให้มีเสถียรภาพ และประเมินขนาดของตลาดและการวางแผนที่ชัดเจนได้ โดยไม่จำเป็นต้องเอาภาคเกษตรกรรมไปผูกพันกับตลาดต่างประเทศ อีกทั้งเป็นการสร้างรากฐานของยุทธศาสตร์ความมั่นคงด้านพลังงานทดแทนของชาติที่สำคัญยิ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญานិพนธ์

1. ผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากไขปาล์มสเตียร์น
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา
3. ศึกษาสมบัติน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากการทดลอง

1.3 ขอบเขตของปฏิญานิพนธ์

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วน โดย โมลของ ไขปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอล และอุณหภูมิ
2. หาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
3. นำน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้ไปทดสอบสมบัติ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปาล์มน้ำมัน [2]

ปาล์มน้ำมันมีถิ่นกำเนิดบริเวณตะวันตกของแอฟริกา ระหว่างเส้นรุ้งที่ 10-12 องศาเหนือ และได้ คำนึงในภาษาอังกฤษจึงเรียกปาล์มน้ำมันว่า African Oil Palm ชาวยุโรปรู้จักน้ำมันเป็นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2009-2013 โดยนักสำรวจชาวโปรตุเกสซึ่งในขณะนั้นรู้จักเพียงว่า ชาวแอฟริกันใช้น้ำมันในการปรุงอาหารและทำเครื่องสำอาง หลังจากนั้นประมาณ 450 ปี จึงได้มีการนำน้ำมันปาล์มไปขายในยุโรป ต่อมาในศตวรรษที่ 17 ชาวโปรตุเกสได้นำน้ำมันปาล์มไปยังประเทศบราซิล เพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับชาวแอฟริกันที่ทำงานอยู่ตามไร่อ้อย ต่อมาได้มีการนำเข้าสู่ทวีปเอเชียครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2379 โดยนำมาปลูกที่สวนพฤกษชาติสิงคโปร์ ชาวฮอลันดาได้นำน้ำมันปาล์มไปปลูกในประเทศอินโดนีเซียเป็นครั้งแรกที่บอร์เนียวเมื่อ พ.ศ.2391 และได้ปลูกเป็นสวนปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นพืชเศรษฐกิจเมื่อ พ.ศ.2460 ที่เกาะสุมาตรา

ในประเทศไทย พระยาประดิพัทธ์ภูบาล ได้นำปาล์มน้ำมันมาปลูกเพื่อเป็นไม้ประดับเมื่อ พ.ศ.2460 ซึ่งปัจจุบันก็ยังอยู่ที่ศูนย์วิจัยการยาง จังหวัดสงขลา และสถานีทดลองพืชสวนพลู จังหวัดจันทบุรี สำหรับการปลูกเพื่อเป็นการค้า นั้น หม่อมเจ้าอมรสมานลักษณ์ ได้ปลูกเป็นครั้งแรกประมาณ 1,900 ต้น ในช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา แต่ปัจจุบันได้เลิกล้มไปแล้ว ใน พ.ศ.2503 ได้สร้างสวนสาธิตที่นิคมสร้างตนเองควนกาหลง จังหวัดสตูล ปาล์มน้ำมันได้รับการส่งเสริมให้ปลูกเป็นการค้าจริงจึงเมื่อ พ.ศ.2511 โดยในขณะนั้นมีโครงการปลูกปาล์มน้ำมัน 2 โครงการคือ โครงการพัฒนาตนเองภาคใต้ จังหวัดสตูล เนื้อที่ปลูก 20,000 ไร่ และโครงการของบริษัทอุตสาหกรรมน้ำมันและสวนปาล์มน้ำมัน จังหวัดกระบี่ เนื้อที่ปลูก 20,000 ไร่ เช่นกัน ภายหลังจากที่ได้รับความสำเร็จทั้งสองโครงการจึงมีบริษัทปลูกปาล์มน้ำมันเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูลปาล์ม เช่นเดียวกับ มะพร้าว จาก อินทผลัม และตาล โตนด ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชยืนต้นที่อยู่ในตระกูลปาล์ม แต่มีความแตกต่างจากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอย่างเห็นได้ชัด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis Jacq*

โดยเฉลี่ยแล้วผลปาล์มน้ำมันสดจะมีน้ำมันอยู่ร้อยละ 15-20 โดยขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพดินฟ้าอากาศ การบำรุงรักษา และกรรมวิธีในการสกัด น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) ที่สกัดได้จากผลสดจะยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากยังมีสิ่งเจือปนในน้ำมัน เช่น เศษผง กาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลิ่น กรด เป็นต้น จึงต้องนำไปผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Palm Oil) ก่อนที่จะใช้บริโภคหรือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้

2.1.1 ความสำคัญของปาล์มน้ำมันต่อระบบเศรษฐกิจ [1]

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงชนิดหนึ่ง ซึ่งนอกจากช่วยให้เกษตรกรมีรายได้จากการปลูกปาล์มน้ำมันแล้ว ยังให้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง กล่าวคือเมื่อนำผลปาล์มสดมาแปรรูปเป็นน้ำมัน ส่วนหนึ่งใช้เป็นน้ำมันพืชสำหรับบริโภค อีกส่วนหนึ่งใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ใช้เป็นเครื่องอุปโภคและบริโภคในชีวิตประจำวัน เช่น อุตสาหกรรมทำสบู่ เนยเทียม ไขมันแข็ง ส่วนผสมของผงซักฟอก เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมการผลิตอาหารชนิดต่างๆ อุตสาหกรรมฉาบเคลือบและโลหะต่างๆ และน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น

น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นสินค้าชนิดหนึ่งที่รัฐบาลประกาศให้มีการควบคุมการนำเข้าจากต่างประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ.2525 เป็นต้นมา ก่อนจะปรับเปลี่ยนนโยบายการนำเข้าให้เป็นไปโดยเสรีภายใต้ความตกลงสินค้าเกษตรขององค์การการค้าโลก (WTO) ในปี พ.ศ.2538 แต่ยังคงมีการตั้งกำแพงภาษีไว้ในอัตราก่อนข้างสูง คือร้อยละ 152.6 ของมูลค่านำเข้า (ยกเว้นไว้ในส่วนที่เป็นการนำเข้าภายใต้โควตาภาษี จำนวน 4,700 ตัน ที่เสียภาษีในอัตราร้อยละ 10 ของมูลค่านำเข้า) ทั้งนี้เพื่อปกป้องอุตสาหกรรมภายในประเทศ เนื่องจากประสิทธิภาพในการผลิตของไทยไม่สามารถสู้กับคู่แข่ง เช่น ประเทศมาเลเซีย และประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งมีต้นทุนการผลิตต่ำและผลผลิตต่อไร่สูงกว่า

สำหรับการส่งออกให้เป็นไปได้โดยเสรีและไม่เสียภาษีส่งออก ซึ่งธุรกิจการนำเข้าและส่งออกส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของน้ำมันปาล์มดิบ เนื่องจากคุณลักษณะเฉพาะตัวของผลปาล์มน้ำมันสด ซึ่งเมื่อตัดผลปาล์มน้ำมันสดแล้วจะต้องผ่านกระบวนการสกัดทันทีภายใน 24 ชั่วโมง เพราะเมื่อผลปาล์มถูกทำให้เกิดแผลหรือถูกตัดออกจากต้น ปริมาณกลีเซอไรด์จะลดลงจากการกระทำของเอนไซม์ไลเปส โดยจะเปลี่ยนกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล การเกิดกรดไขมันอิสระสูงในผลปาล์มซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ดีเพราะเมื่อนำไปสกัดน้ำมันจะได้น้ำมันที่มีคุณภาพต่ำ ส่วนการส่งออกในรูปของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากต้นทุนการผลิตของไทยสูงกว่าประเทศคู่แข่ง

2.1.2 การแปรรูปปาล์มน้ำมัน [2]

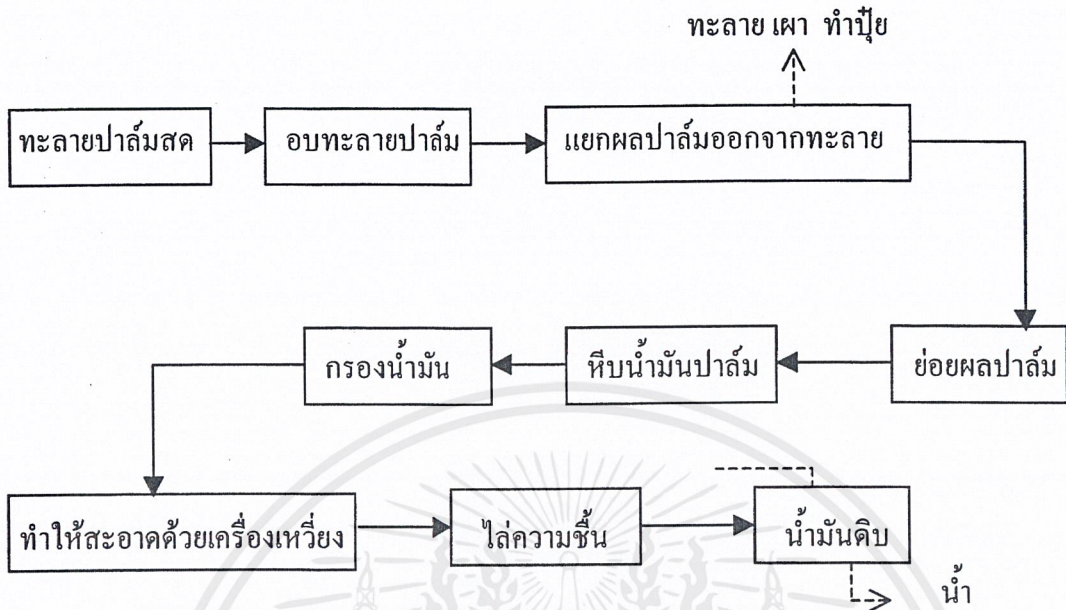
การแปรรูปปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลปาล์มน้ำมันนั้น เป็นกระบวนการอุตสาหกรรมต่อเนื่องซึ่งประกอบด้วยกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ

1. การแปรรูปขั้นต้น ได้แก่ การสกัดหรือหีบเอาน้ำมันออกจากเปลือกผลปาล์มซึ่งเรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil-CPO)
2. การแปรรูปขั้นที่สอง เป็นการนำเอาน้ำมันปาล์มมาทำการกลั่นให้บริสุทธิ์ โดยแยกเอาสิ่งเจือปนต่างๆ ออกจากน้ำมันดิบเพื่อนำไปใช้ในการอุปโภคบริโภคต่อไป
3. การแปรรูปขั้นสุดท้าย เป็นการนำเอาส่วนต่างๆ ที่ได้จากการแปรรูปในขั้นที่สองไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ กัน

2.1.3 การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ [3]

ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จะเริ่มด้วยการอบทะเลลายปาล์มสดเพื่อที่จะหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซิสที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มและทำให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มและฉ่ำหลุดจากทะเลลายได้ง่าย ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำทะเลลายปาล์มสดมาอบด้วยไอน้ำ หลังจากนั้นทะเลลายปาล์มที่อบแล้วจะถูกนำไปป้อนเข้าเครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะเลลาย โดยทะเลลายปาล์มเปล่าหลังจากการแยกจะถูกลำเลียงไปเข้าเตาเผาทะเลลายเพื่อทำเป็นปุ๋ยต่อไป ส่วนผลปาล์มก็จะถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์มซึ่งมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกข้างในมีใบพัดควนผลปาล์มให้เส้นใยฉีกย่อยออกจากเมล็ดและเซลล์น้ำมันแตกตัวออกมาเพื่อง่ายต่อการหีบน้ำมัน จากนั้นก็จะถูกป้อนเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัดซึ่งส่วนมากเป็นเกลียวอัดคู่ซึ่งทำงานโดยอัตโนมัติ น้ำมันที่สกัดได้จะส่งไปเข้าถังกรองซึ่งจะแยกน้ำมันออกจากน้ำกับเศษเส้นใยและสิ่งสกปรกอื่น ๆ แล้วก็นำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำมันให้ใสสะอาดขึ้น จากนั้นก็นำไปไล่ความชื้นให้ได้มาตรฐาน แล้วก็นำไปเก็บในถังน้ำมันขนาดใหญ่เพื่อเตรียมส่งจำหน่ายโรงงานกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์ต่อไป

กระบวนการผลิตแบบนี้มีข้อดี คือ เครื่องจักรมีประสิทธิภาพการหีบน้ำมันสูงและสามารถผลิตน้ำมันที่มีคุณภาพค่อนข้างได้มาตรฐาน และเนื่องจากกำลังผลิตสูงจึงผลิตน้ำมันได้เป็นปริมาณมากพอที่จะส่งให้โรงงานกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์ แต่ปัญหาของกระบวนการผลิตประเภทนี้ คือ จะมีน้ำเสียออกจากกระบวนการผลิตด้วย การสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยกระบวนการนี้แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์ม

2.1.4 การกลั่นน้ำมันปาล์ม [2-3]

การกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์นั้นเป็นการนำน้ำมันปาล์มดิบมาจัดเอาสิ่งเจือปนต่างๆออกไป จนกระทั่งน้ำมันมีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานที่กำหนด สำหรับสารเจือปนในน้ำมันดิบมีดังนี้

1. ประเภทไม่ละลายในน้ำมันและไขมัน (Fat Insoluble Particles) ได้แก่ พวกเนื้อเยื่อต่างๆ รวมทั้งฝุ่นและความชื้นที่ปะปนมา ซึ่งสามารถกำจัดออกได้โดย

ก. ทิ้งไว้ให้แยกชั้น (Setting) พวกสิ่งเจือปนซึ่งมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าจะตกตะกอนแยกออกได้

ข. กรอง (Filter) การกรองสามารถแยกสิ่งที่เจือปนที่มีขนาดใหญ่ออกได้ใช้เวลาสั้น

ค. การปั่น (Centrifuge) โดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะจะสามารถแยกสิ่งเจือปนออกได้อย่างรวดเร็ว

2. ประเภทที่ละลายในน้ำมันและไขมัน (Fat Soluble Substances) แบ่งเป็น

ก. สิ่งเจือปนที่แขวนลอย (Colloidal Suspension) สิ่งเจือปนพวกนี้จะปนแขวนลอยอยู่ในน้ำมันไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น พวกสารฟอสเฟต สารคาร์โบไฮเดรต สารโปรตีน การกำจัดนั้นต้องพยายามทำให้สารแขวนลอยนี้เกิดการรวมตัวกันตกตะกอน (Coagulation) ซึ่งอาจทำได้หลายวิธีด้วยกันคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทำให้ร้อนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 240-280 องศาเซลเซียส
- ใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อนเข้าไปรวมกับน้ำมัน เพื่อที่จะเปลี่ยนรูปของสิ่งเจือปนจากลักษณะแอนไฮดริตเป็นไฮเดรตฟอรัม ซึ่งจะมีลักษณะเป็นก้อนเหนียว (Gelatin) มีความถ่วงจำเพาะสูงมาก สามารถแยกออกจากน้ำมันโดยการหมุนเหวี่ยง

- การเติมสารเคมีบางอย่างลงไปทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการตกตะกอน

ข. สิ่งเจือปนที่ละลายในไขมัน (Fat Soluble Compounds) ได้แก่กรดไขมันอิสระ สารประกอบเนื่องจากปฏิกิริยา (Oxidation and Decomposition Products) สารประกอบไขมัน (Monoglyceride, Diglyceride Wax, Stearine) ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ที่อากาศเย็น สีธรรมชาติ (Chlorophyll, Xanthophyll, Carotene) และสารไม่พึงประสงค์ (Gossypol, Cyclopropinoid)

สำหรับกระบวนการกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ กระบวนการทางเคมี (Chemical Refine) กับกระบวนการทางกายภาพ (Physical Refine) ซึ่งแต่ละกระบวนการมีขั้นตอนดังนี้

1. กระบวนการทางเคมี

เป็นกระบวนการที่กลั่นน้ำมันให้บริสุทธิ์โดยใช้สารเคมีเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจึงค่อนข้างสูง และยังมี การสูญเสียน้ำมันในระหว่างการผลิตมาก กระบวนการผลิตเริ่มด้วยการกำจัดสารเจือปนจำพวกฟอสโฟไลปิดหรือฟอสฟาไทด์ออกไปก่อนด้วยกรดฟอสฟอริก ต่อจากนั้นก็ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ เรียกว่า กระบวนการทำให้เป็นกลาง โดยใช้สารละลายโซดาไฟ ซึ่งจะทำปฏิกิริยาได้เป็นไขมัน ซึ่งจะเป็นสารแขวนลอยและละลายในน้ำได้ เมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง ก็จะได้น้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นน้ำมันจะถูกนำไปไล่ความชื้นออกแล้วนำไปฟอกสีด้วยดินฟอกสีที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เมื่อฟอกสีแล้วก็นำไปกรองเอาดินฟอกออกด้วยเครื่องกรอง ต่อจากนั้นก็ผ่านเข้ากระบวนการกำจัดกลิ่น (Deodorization) ซึ่งเป็นการพ่นไอน้ำเข้าไปภายใต้สุญญากาศ เพื่อแยกเอากรดที่หลงเหลืออยู่พร้อมทั้งแอลดีไฮด์และคีโตน ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ น้ำมันหืนออกไป

2. กระบวนการทางกายภาพ

เป็นกระบวนการต่อเนื่องซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ คือ

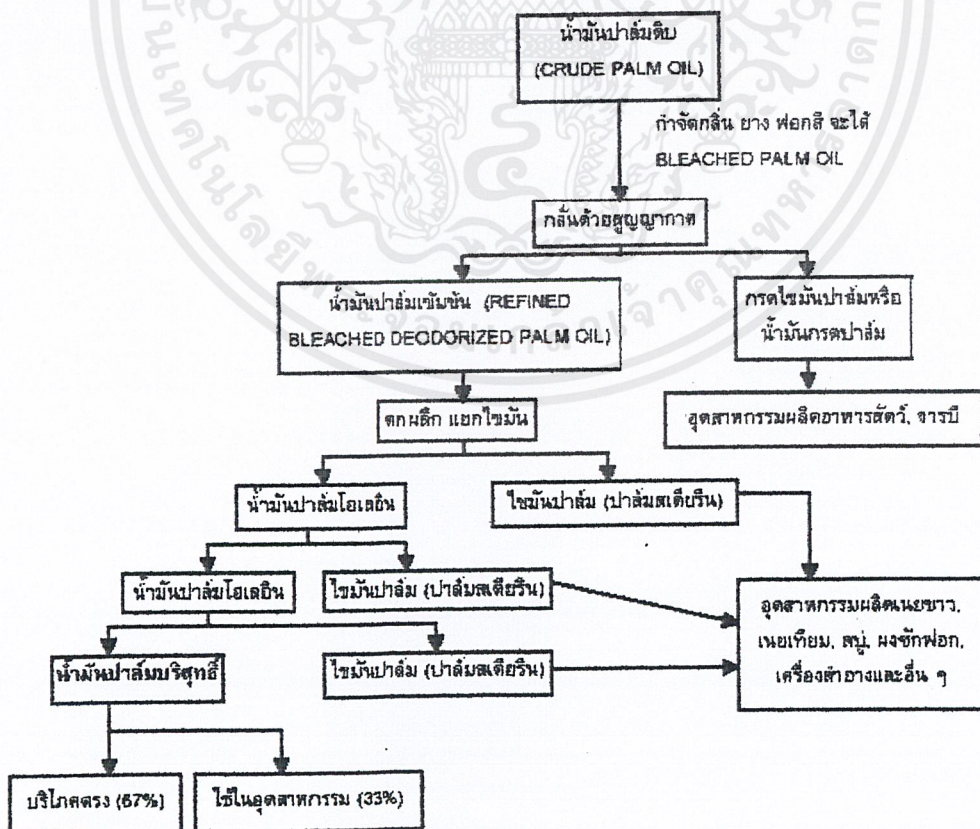
ก. การกำจัดสิ่งเจือปนจำพวกฟอสฟาไทด์และ โปรตีนด้วยกรดฟอสฟอริก

เช่นเดียวกับสารเจือปนจะรวมตัวกันเป็นก้อน

ข. ทำการฟอกสีน้ำมันด้วยดินฟอก จากนั้นก็ผ่านเข้าเครื่องกรองเพื่อแยกเอาดินฟอก ตลอดจนตะกอนของฟอสฟา ไทด์และ โปรตีนออกจากน้ำมัน

ค. การกำจัดครดพร้อมๆกับการกำจัดกลิ่นเพื่อแยกเอากรดไขมันอิสระและ สารออกซิเคชั่น เม็คลี แอลดีไฮด์ และคีโตนออกจากน้ำมัน โดยพ่นไอน้ำที่อุณหภูมิ 240-260 องศาเซลเซียส ภายใต้สูญญากาศที่ 1-4 มิลลิเมตรของปรอท เป็นเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง

กระบวนการทางกายภาพมีข้อดีหลายประการ คือ ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจะต่ำกว่า กระบวนการทางเคมี เพราะใช้สารเคมีน้อย และไม่สูญเสียน้ำมันมาก กระบวนการแบบนี้สามารถแยกเอากรดไขมันอิสระที่ความบริสุทธิ์สูงถึง 95% ออกมาได้ ซึ่งจะนำไปแยกส่วนทำผลิตภัณฑ์ได้มากมายหลายชนิด ประการสุดท้ายจะไม่มีน้ำเสียที่เกิดจากการล้างไขมัน สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มได้แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำมันดีเซล [4]

น้ำมันดีเซลคือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มพาราฟินซึ่งเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันที่ระเหยช้าโดยมีจุดเดือดอยู่ในช่วง 150 ถึง 360 องศาเซลเซียส สามารถจุดระเบิดได้เองด้วยการอัด ในปัจจุบันน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์หมุนเร็ว หรือที่เป็นที่รู้จักกันในชื่อต่างๆ เช่น Automotive Diesel Oil (ADO), Gas oil หรือน้ำมันโซล่า น้ำมันดีเซลชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูงกว่า 1,000 รอบต่อนาที เช่น รถกระบะ รถบรรทุก และรถโดยสาร เป็นต้น
2. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์หมุนช้า หรืออาจมีชื่อเรียกที่ต่างกันไป เช่น Industrial Diesel Oil (IDO) หรือน้ำมันซีดี เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบปานกลางหรือรอบต่ำ เช่น เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือเดินทะเล และการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.1 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล [4]

1. ค่าความหนืด เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความต้านทานในตัวต่อการไหลของน้ำมัน คือน้ำมันที่มีความหนืดน้อยจะไหลได้ง่าย แต่น้ำมันที่มีความหนืดมากกว่าจะไหลได้ยากกว่า ความหนืดมีผลต่อระบบการฉีดน้ำมันและยังมีส่วนในการหล่อลื่นปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงอีกด้วย โดยน้ำมันที่มีความหนืดมากเกินไปจะทำให้ละอองน้ำมันที่ฉีดออกไปไม่กระจายเท่าที่ควร แต่หากน้ำมันมีความหนืดน้อยเกินไปก็จะไม่เพียงพอสำหรับการหล่อลื่น
2. ค่าซีเทน เป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพในการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง กล่าวคือเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการจุดระเบิดและการลุกติดไฟได้เร็ว ยิ่งค่าซีเทนมีค่าสูงเท่าใดก็ยิ่งจะมีช่วงเวลาความล่าช้าในการจุดระเบิดสั้นลงและทำให้มีปริมาณของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการจุดระเบิดมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนที่สูงกว่าจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันที่น้อยกว่า และทำให้ควบคุมการเผาไหม้ได้ดีกว่า นอกจากนั้นยังเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์เนื่องจากมีช่วงเวลาความล่าช้าในการจุดระเบิดสั้นทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมในห้องเผาไหม้จะลดลงก่อนถึงการลุกติดไฟ และยังลดปริมาณการปล่อยไฮโดรคาร์บอนและก๊าซจำพวกไนโตรเจนออกไซด์ได้อีกด้วย นอร์มัลเฮกซะเดกเคน (ซีเทน) ซึ่งสามารถติดไฟได้ง่ายได้ถูกกำหนดให้มีค่าซีเทนเป็น 100 และให้เฮปตะเมทิลโนเนนที่ติดไฟยากมีค่าซีเทนเป็น 15 ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนสูงก็จะมีประสิทธิภาพในการต้านทานการน็อกของเครื่องยนต์ที่มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ดัชนีซีเทน เป็นค่าประมาณสำหรับค่าซีเทน เนื่องจากการหาค่าซีเทนต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลพิเศษ โดยเฉพาะในการเปรียบเทียบคุณภาพในการจุดระเบิดกับเชื้อเพลิงมาตรฐาน ซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายสูงและสิ้นเปลืองเวลา จึงได้มีการประมาณค่าซีเทนด้วยดัชนีซีเทนซึ่งสามารถคำนวณได้จากการวัดค่าความถ่วงเอพีไอและอุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซนต์

4. จุดวาบไฟ เป็นอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงที่ได้รับความร้อนซึ่งจะเกิดส่วนผสมของไอน้ำมันและอากาศที่ติดไฟได้เหนือผิวหน้าของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อน้ำมันเป็นตัวล่อ จุดวาบไฟมีความสำคัญในการขนส่งและการสำรองเชื้อเพลิงในแง่ของอันตรายจากอัคคีภัย นอกจากนี้ น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำยังก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเนื่องจากการจะมีการระเหยเมื่อไปเกาะอยู่ตามผนังกระบอกสูบ

5. อุณหภูมิการกลั่น เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการระเหยของน้ำมัน มีผลต่อเครื่องยนต์ดังนี้

5.1 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 10 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร แสดงถึงความยากง่ายในการติดเครื่องยนต์ ยิ่งมีค่ามากเครื่องยนต์จะยิ่งติดยาก

5.2 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 50 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร เป็นจุดที่จะทำให้การอุ่นเครื่องยนต์ทำได้เร็ว การกระจายไอน้ำมันไปยังกระบอกสูบต่างๆ เป็นไปอย่างสม่ำเสมอและปรับส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศได้ถูกต้องตลอดเวลา ทำให้แรงเครื่องยนต์ดี เครื่องยนต์มีพลังงานสูง

5.3 อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 90 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ต้องมีการกำหนดค่าสูงสุดไว้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานให้ได้พลังงานสูงสุดและประหยัดเชื้อเพลิง

5.4 อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุดและส่วนที่เหลือจากการกลั่น มีการกำหนดค่าสูงสุดไว้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันที่ไม่เผาไหม้เกิดการผสมกับน้ำมันเครื่องมากเกินไป

6. ปริมาณกำมะถัน ในน้ำมันดีเซลนั้นอยู่ในรูปต่างๆ เช่น เมอร์แคปแทน ซัลไฟด์ และไดซัลไฟด์ เป็นต้น กำมะถันเมื่อผ่านห้องเผาไหม้แล้วจะเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้นจะกลายเป็นกรดกำมะถันก่อให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

จะเห็นได้ว่าสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซลมีหลายประการ และเพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของน้ำมันดีเซลให้เป็นผลดีกับเครื่องยนต์และกับสิ่งแวดล้อมตลอดจนให้สามารถใช้เครื่องยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ทางรัฐบาลไทยโดยกระทรวงพาณิชย์จึงได้กำหนดมาตรฐานของน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 คุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว

ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
1. ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6, °ซ	ไม่ต่ำกว่า 0.81 และ ไม่สูงกว่า 0.87	ASTM D 1298
2.1 จำนวนซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 47	ASTM D 613
2.2 คีซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 47	ASTM D 976
3. ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ, เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และ ไม่สูงกว่า 4.1	ASTM D 445
4. จุดไหลเท, °ซ	ไม่สูงกว่า 10	ASTM D 97
5. ธาตุกำมะถัน, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D 2622 หรือวิธีอื่นที่เทียบเท่า
6. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง, หมายเลข	ไม่สูงกว่า 1	ASTM D 130
7. ภาคว่าน, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D 189
8. น้ำและตะกอน, ร้อยละ โดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D 2709
9. เถ้า, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.01	ASTM D 482
10. จุดวาบไฟ, °ซ	ไม่ต่ำกว่า 52	ASTM D 93
11. การกลั่น อุณหภูมิของส่วนที่กลั่น ได้โดยปริมาตร ในอัตราร้อยละเก้าสิบ, °ซ	ไม่สูงกว่า 357	ASTM D 86
12. สี	ไม่สูงกว่า 4.0	ASTM D 1500
13. มีสารเติมแต่ง ซึ่งมีสมบัติในการทำความสะอาดหัวฉีด	-	-
14. สมบัติในการหล่อลื่น ทดสอบโดยวิธี เอช เอฟ อาร์อาร์, ไมโครเมตร	ไม่สูงกว่า 460	CEC F- 06-A-96

ที่มา ประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2541)

เรื่อง กำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า

ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
1. ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6, °ซ	ไม่สูงกว่า 0.92	ASTM D 1298
2.1 จำนวนซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 45	ASTM D 976
2.2 คีซีเทน		ASTM D 613
3. ความหนืดคิเนมาติก, เซนติสโตกส์ ณ อุณหภูมิ 40 °ซ หรือ ณ อุณหภูมิ 50 °ซ	ไม่สูงกว่า 8.0 สูงกว่า 6.0	ASTM D 445 ASTM D 445
4. จุดไหลเท, °ซ	ไม่สูงกว่า 16	ASTM D 97
5. ชาติกัมมะถัน, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 1.5	ASTM D 129 หรือวิธีอื่นที่ เทียบเท่า
6. น้ำและตะกอน, ร้อยละ โดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า 0.3	ASTM D 2709
7. เถ้า, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.02	ASTM D 482
8. จุดวาบไฟ ทดสอบโดยวิธีของ เพ็นสกี-มาร์เต็นส์ โคลสเทสเตอร์, °ซ	ไม่ต่ำกว่า 52	ASTM D 93
9. สีมาตรฐาน เอเอสทีเอ็ม	ไม่ต่ำกว่า 4.5 และ ไม่สูงกว่า 7.5	ASTM D 1500

ที่มา ประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2523)

เรื่อง กำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า

2.3 น้ำมันดีเซลชีวภาพ [5-6]

น้ำมันดีเซลชีวภาพ คือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากสิ่งมีชีวิตจำพวกพืชและสัตว์ และได้นำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันจากสิ่งมีชีวิตนี้ได้ถูกจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งซึ่งจะเป็นผลดีในระยะยาวในการนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณจำกัด

2.3.1 ชนิดของการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ

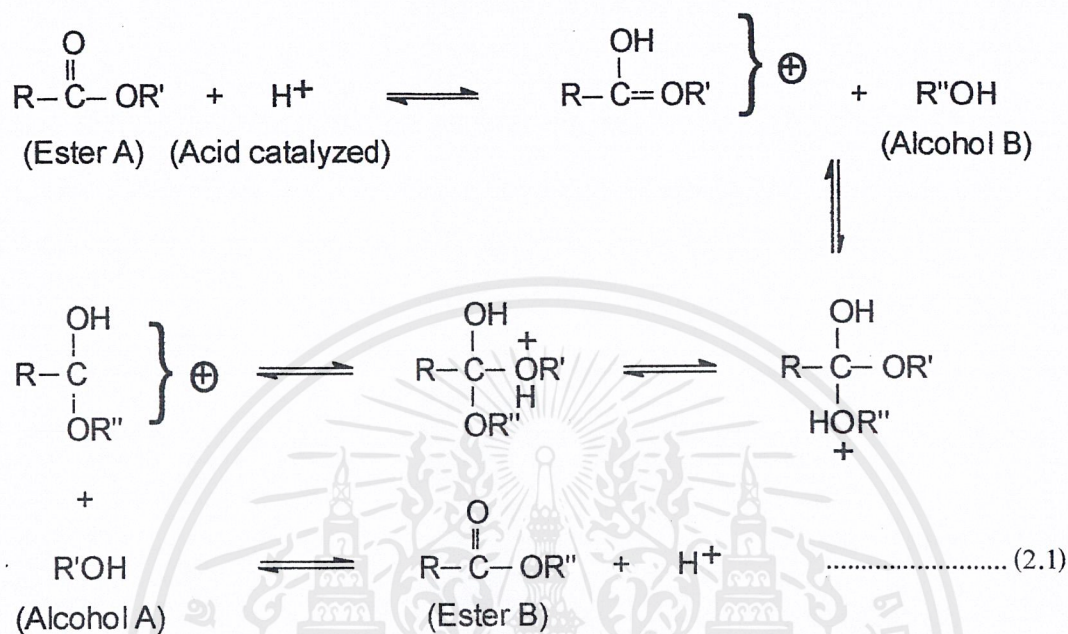
1. การนำน้ำมันสิ่งมีชีวิตจากพืชและ/หรือสัตว์มาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง เช่น น้ำมันมะพร้าวคิบ น้ำมันปาล์มคิบ ตลอดจนน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วก็ตาม เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง
2. การนำน้ำมันพืชมาผสมกับน้ำมันดีเซล โดยสามารถทำได้ในอัตราส่วนต่างๆ กันออกไป เช่น ใช้อัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันพืชเป็น 80:20 เป็นต้น
3. การทำไมโครอิมัลชัน ไมโครอิมัลชันเป็นกระบวนการที่ทำให้ของเหลวเกิดการกระจายตัวที่สมดุล ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการแก้ปัญหาความหนืดของน้ำมันพืช ทั้งยังช่วยให้การเผาไหม้ดีขึ้นอีกด้วย เช่น การผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ เป็นต้น
4. การทำการแตกสลายด้วยความร้อน เป็นการนำน้ำมันพืชมาให้ความร้อนในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน เพื่อให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ทำให้ความหนืดของน้ำมันพืชลดลง
5. การทำน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน เป็นการนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น เอสเทอร์ และกลีเซอรอล โดยแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้เป็นเมทานอล หรือเอทานอล ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้นั้นอาจเป็น เมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ ตามแต่แอลกอฮอล์ที่เลือกใช้ โดยการผลิตวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมแพร่หลายมากที่สุดเนื่องจากมีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซลมากที่สุด

2.3.2 น้ำมันดีเซลชีวภาพจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

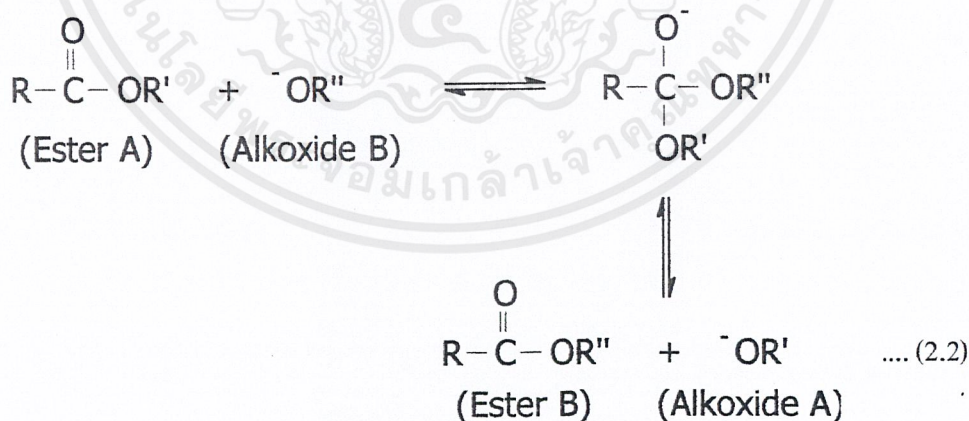
ก. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน [7-8]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนเอสเทอร์ใดๆที่เป็นสารตั้งต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นเอสเทอร์อีกตัวหนึ่ง โดยปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ สามารถทำได้โดยนำเอสเทอร์มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ในสภาวะที่ถูกเร่งด้วยกรดหรือด่าง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นเอสเทอร์กับแอลกอฮอล์ซึ่งทั้งสองตัวเป็นสารคนละตัวกับสารตั้งต้น ปฏิกิริยานี้มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

1. กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

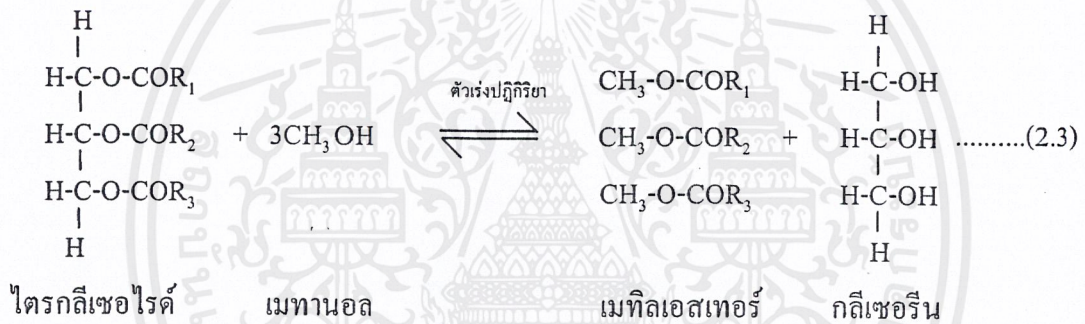


2. กลไกการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ข. น้ำมันดีเซลชีวภาพจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [9]

น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนี้ เกิดจากการนำน้ำมันจากสิ่งมีชีวิตจำพวกพืชและสัตว์ซึ่งอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ซึ่งมักจะเป็นเมทิลแอลกอฮอล์หรือเอทิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากมีโมเลกุลขนาดเล็กจึงง่ายในการเข้าทำปฏิกิริยามากกว่าแอลกอฮอล์ตัวอื่น ๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่า นอกจากนี้ยังเป็นสารที่หาได้ง่ายอีกด้วย น้ำมันดีเซลชีวภาพจากปฏิกิริยานี้มักใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วยอัลคิลเอสเทอร์และกลีเซอริน โดยอัลคิลเอสเทอร์นี้อาจอยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์หรือ เอทิลเอสเทอร์ ตามแต่แอลกอฮอล์ที่ใช้



2.3.3 ข้อดีและข้อด้อยของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

ก. ข้อดีของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

1. สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใดหรือทำแต่เพียงน้อย
2. สามารถเก็บไว้ได้ในที่สำหรับเก็บดีเซลที่มีอยู่แล้ว
3. สามารถใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลหรือใช้เพียงแต่น้ำมันดีเซลชีวภาพเพียงอย่างเดียวก็ได้
4. ช่วยรักษาอายุการใช้งานของเครื่องยนต์เพราะหล่อลื่นมากกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล ในขณะที่การบริโภคเชื้อเพลิง การจุดติดไฟได้เอง กำลังงาน และแรงขับเคลื่อน ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

5. ปลอดภัยในการขนส่งและการจัดเก็บเนื่องจากไม่เป็นพิษและสามารถย่อยสลายตัวเองได้ นอกจากนี้ยังมีจุดวาบไฟที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลอีกด้วย

6. มีปริมาณของการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นมลพิษน้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

ข. ข้อดีของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

1. ในช่วงเริ่มต้นของการใช้อาจต้องตรวจสอบและเปลี่ยนไส้กรองในเครื่องยนต์บ่อยๆ เนื่องจากน้ำมันดีเซลชีวภาพมีสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดี จึงสามารถละลายสิ่งสกปรกจากถังเก็บหรือระบบท่อทางเดินน้ำมัน ซึ่งอาจอุดตันไส้กรองได้

2. ในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำอาจมีความจำเป็นต้องเติมสารช่วยลดจุดไหลเท

3. มีปริมาณของการปล่อยก๊าซพวงไนโตรเจนออกไซด์มากกว่าน้ำมันดีเซล

2.3.4 คุณภาพและมาตรฐาน

ในปัจจุบันมีการนำน้ำมันดีเซลชีวภาพมาใช้กันอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ จึงมีการพัฒนามาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพให้มีคุณภาพสูงเทียบเท่าน้ำมันดีเซลและเป็นที่ยอมรับกันในระดับผู้ผลิตรถยนต์และเครื่องยนต์ บรรดาประเทศผู้ผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพชั้นนำจึงมีการกำหนดมาตรฐานการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพขึ้น เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดมาตรฐาน ASTM ประเทศเยอรมันกำหนดมาตรฐาน DIN E 51606 ประเทศอิตาลีกำหนดมาตรฐาน CUNA NC 635-01 เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพของประเทศเยอรมันและประเทศสหรัฐอเมริกา

สมบัติ	DIN 51606	US ASTM
1. จุดวาบไฟ, °ซ	ไม่น้อยกว่า 100	ไม่น้อยกว่า 100
2. น้ำและตะกอน, ร้อยละโดยปริมาตร	-	ไม่มากเกินไป 0.050
3. กากถ่าน, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่มากเกินไป 0.30	ไม่มากเกินไป 0.05
4. เถ้า, ร้อยละโดยน้ำหนัก	-	ไม่มากเกินไป 0.020
5. ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ, เซนติสโตกส์	3.5 – 5.0	1.9 – 6.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพของประเทศเยอรมันและประเทศสหรัฐอเมริกา (ต่อ)

สมบัติ	DIN 51606	US ASTM
6. ชาติกำมะถัน, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ไม่มากเกินไป 0.01	ไม่มากเกินไป 0.05
7. คีซีเทินหรือจำนวนคีซีเทิน	ไม่น้อยกว่า 49	ไม่น้อยกว่า 40
8. จุดหมอก, °ซ	-	3
9. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง, หมายเลข	ไม่มากเกินไป 1	ไม่มากเกินไป 3
10. Total Acid Number, มิลลิกรัม KOH /กรัม	ไม่มากเกินไป 0.50	ไม่มากเกินไป 0.80
11. Free Glycerin, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ไม่มากเกินไป 0.02	ไม่มากเกินไป 0.02
12. ปริมาณกลีเซอรินทั้งหมด, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ไม่มากเกินไป 0.25	ไม่มากเกินไป 0.24

ที่มา <http://www.biodiesel.com>

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1984 B.Freedman และคณะ [7] ทำการทดลองผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ที่ได้จากเมล็ดถั่วลิสง ถั่วเหลือง และเมล็ดดอกทานตะวัน เพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อผลได้ (Yield) โดยศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืช ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและความบริสุทธิ์ของน้ำมันพืช เมื่อใช้เบส (โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมเมทอกไซด์) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่านี้ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันอย่างน้อย 6 ต่อ 1 พบว่าค่าการเปลี่ยน (Conversion) ไปเป็น เมทิลเอสเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และบิวทิลเอสเทอร์จะสมบูรณ์เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และเมื่อทำปฏิกิริยาที่ 32 องศาเซลเซียส น้ำมันพืชถูกทำปฏิกิริยาไป 99% ในเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าใช้เวลานานกว่าการใช้เบส แต่เมื่อใช้น้ำมันพืชดิบในการทำปฏิกิริยาพบว่าปริมาณของเอสเทอร์ที่ได้ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากมียางและวัสดุอื่นๆปะปนมากับน้ำมันพืชดิบ

ในปี ค.ศ. 1988 M. Mittelbach และ P. Trithart [10] ได้นำน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ในขั้นแรกมีการตรวจสอบสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพ พบว่ามีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล มีค่าซีเทินมากกว่า แต่มีปริมาณซัลเฟอร์ปนอยู่น้อยกว่า ดังตารางที่ 2.4

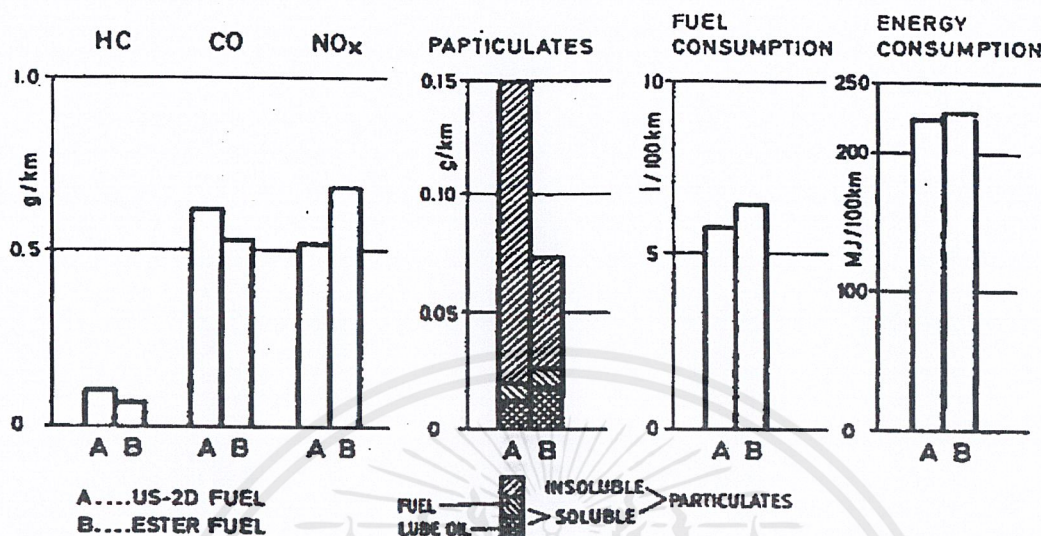
ตารางที่ 2.4 สมบัติน้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล

สมบัติ	US-2D	เมทิลเอสเทอร์ จากน้ำมันพืช ใช้แล้ว
ความหนาแน่นที่ 15 ° ซ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	0.849	0.888
จุดเดือดเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	189	307 (1%)
10 เพอร์เซ็นต์	220	319
20 เพอร์เซ็นต์	234	328
50 เพอร์เซ็นต์	263	333
70 เพอร์เซ็นต์	286	335
80 เพอร์เซ็นต์	299	337
90 เพอร์เซ็นต์	317	340
จุดเดือดสุดท้าย (° ซ)	349	342 (95%)
ปริมาณอะโรมาติก (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	31.5	-
ส่วนประกอบ (เปอร์เซ็นต์โดยมวล)		
คาร์บอน	86.0	77.4
ไฮโดรเจน	13.4	12.0
ออกซิเจน	0.0	11.2
ซัลเฟอร์	0.3	0.03
ดัชนีซีเทน	46.1	44.6
ค่าซีเทน	46.2	50.8
สัดส่วนไฮโดรคาร์บอน	1.81	3.62
ค่าแคลอรีฟิสิกส์	42.30	37.50

ที่มา M. Mittelbach, JAOCS, Vol.65, July 1998

เมื่อทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption) ของน้ำมันดีเซลชีวภาพสูงกว่าน้ำมันดีเซล และในควันไอเสียจะมีก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มากกว่า แต่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



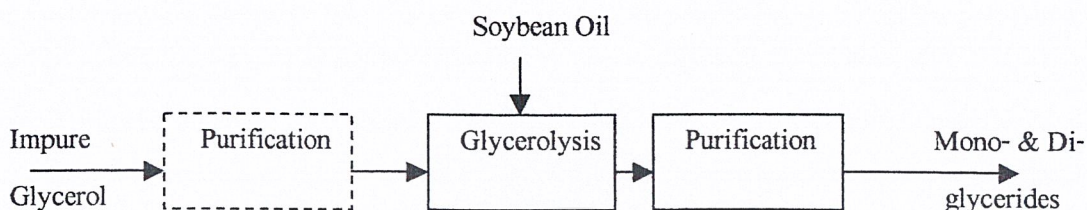
รูปที่ 2.3 ปริมาณควันไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล [10]

ในปี 1991 Roger A. Korus และคณะ [9] ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทิลเอสเทอร์ของวินเทอร์เรพ เพื่อใช้แทนน้ำมันดีเซล ได้เลือกสภาวะที่เหมาะสมจากปัจจัยต่าง ๆ คือ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา อัตราการกวน ปริมาณน้ำในแอลกอฮอล์ และปริมาณแอลกอฮอล์ ได้สภาวะที่เหมาะสมที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงโดยต้นทุนต่ำดังนี้ ใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ให้มากเกินพอ 50% ตามเลขดุลสมการเคมี การใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องใช้ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ให้มากเกินพอ 100% ตามเลขดุลสมการเคมีที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ถ้าสารที่ผสมกันเป็นเฟสเดียวกันความเร็วในการป้อนกวนก็ไม่มีผลต่อค่าการเปลี่ยน (Conversion)

ในปี 1996 P. Moniyappa และคณะ [11] ได้ทำการทดลองผลิตน้ำมันชีวภาพจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ รวมทั้งได้เสนอแนวความคิดในการนำกลับมาใช้ใหม่ของผลิตภัณฑ์ร่วมประกอบด้วยกลีเซอรอล 75% ที่เหลือเป็นเอสเทอร์ แอลกอฮอล์ และสิ่งเจือปนอื่นๆ จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยนำผลิตภัณฑ์ร่วมมากลั่นเพื่อแยกเอากลิเซอรอลออก โดยจะเปลี่ยนกลีเซอรอลที่ได้คืนมานี้ให้เป็นโมโนและไดกลีเซอไรด์ โดยเติมไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันถั่วเหลืองลงไป (กระบวนการ Glycerolysis) ประโยชน์ของโมโนและไดกลีเซอไรด์ คือ โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ใช้เป็นสารปรับปรุงในกระบวนการผลิตอัลคินเรซิน ผงซักฟอก และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารลดแรงตึงผิวต่างๆ นอกจากนี้โมโนกลีเซอไรด์ยังเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง สีย้อม ยางสังเคราะห์ เส้นใยสังเคราะห์ สิ่งทอ เป็นต้น กระบวนการเพิ่มค่าของกลีเซอรินแสดงดัง รูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเพิ่มค่าของกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ [11]

ในปี 2000 S. Saka และ D. Kusdiana [12] ได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตน้ำมันชีวภาพโดยใช้เมทานอลสถานะเหนือวิกฤต (Supercritical Methanol) โดยใช้อุณหภูมิ 350 และ 450 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 45-65 เมกะปาสคาล จากผลการวิจัยพบว่าได้ผลผลิตสูงกว่าการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันแบบเดิม และใช้เวลาสั้นกว่ามาก แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาในด้านต้นทุน และความปลอดภัยในการผลิต

ประเทศไทยมีงานวิจัยในเรื่องการใช้น้ำมันพืช รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล ตั้งแต่ปี พ.ศ.2524 เป็นต้นมา โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) [13] โดยมีแนวคิดที่ต้องการทดลองกับน้ำมันชนิดที่สามารถบีบแยกน้ำมันออกจากเมล็ดพืชได้ง่าย โดยใช้แรงคน ซึ่งทำให้พึ่งพาตนเองได้ หากมีวิกฤตขาดแคลนน้ำมันขึ้น

จากรายงานการวิจัย โดยการใช้ น้ำมันถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ยี่ห้อ ขนาด 7 แรงม้า โดยไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใด ผลการทดลองพบว่า น้ำมันถั่วลิสงทั้งชนิดดิบและรีไฟน์ มีความหนืดสูง การคิดเครื่องยนต์เป็นไปได้ยาก มีปัญหาในการเดินเครื่องที่รอบต่ำๆ เครื่องเดินสะดุด การสั่นดาปเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ และไม่ต่อเนื่อง ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระยะสั้น (Short Term Engine Performance Test) พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสงทั้งชนิดดิบและรีไฟน์เป็นเชื้อเพลิง ให้กำลังใกล้เคียงกับที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังการทดสอบเดินเครื่องยนต์แล้ว ได้ตรวจสอบสภาพชิ้นส่วนของเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสงมีเขม่าจับที่ลูกสูบและวาล์วมากกว่าที่ใช้น้ำมันดีเซล และมีตะกรันขาวตกอยู่ในถังน้ำมันบรรจุเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลต่อลูกสูบและหัวฉีด หากหลุดติดไปกับน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปัญหาเรื่องความหนืดสูง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้ทดลองเดินเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วลิสงในน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าด โดยให้ความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะสั้น พบว่า ใช้งานได้ดี ติดเครื่องได้ง่าย เกิดการสั่นคาบไปได้อย่างต่อเนื่อง และไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดที่รอบต่ำเหมือนการใช้น้ำมันถั่วลิสงล้วนๆ

นอกจากนั้นสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยได้ทดลองนำ เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม มาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลด้วย เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ทดลองนี้ได้วิจัยขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำมันปาล์มคิบทำปฏิกิริยากับเมทานอล มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มที่ได้ มีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ในการทดลองกับเครื่องยนต์พบว่า เครื่องยนต์ให้กำลังเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซลทุกประการ อย่างไรก็ตามไม่มีรายงานการทดลอง และผลที่มีต่อเครื่องยนต์เมื่อใช้ในระยะยาว

2.5 การวางแผนการทดลอง [14]

สำหรับการทดลองในกรณีนี้ เนื่องจากมีปัจจัยที่จะศึกษามากกว่า 1 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีอยู่หลายระดับ (ทริทเมนต์) ที่จะต้องดำเนินการทดลองกันค้ำพร้อมๆ กันไป ทำให้ต้องจัดการทดลองแบบแฟกทอเรียล กล่าวคือ เป็นการจัดทริทเมนต์ตั้งแต่ 2 ปัจจัยหรือมากกว่าที่ระดับต่างๆ ให้แก่หน่วยทดลองพร้อมกัน เรียกผลการจัดทริทเมนต์เหล่านี้ว่า Treatment Combination เช่นการทดลองที่มี 2 ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ เรียกว่า การทดลองแบบแฟกทอเรียลขนาด 2×2 หรือ 2^2 ดังนั้น ทริทเมนต์ ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองก็จะมีอยู่ทั้งหมด 4 Treatment Combination

นิยมเขียนสัญลักษณ์ของปัจจัยด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่เช่น A, B, C เป็นต้น ส่วนระดับของปัจจัยจะใช้ตัวอักษรเขียนเล็ก พร้อมทั้งมีหมายเลขแสดงถึงระดับต่างๆ จากน้อยไปหามาก หรือจากต่ำไปสูง เช่น a_1, a_2, b_1, b_2 เป็นต้น

แสดงวิธีการเขียน Treatment Combination ในการทดลองแบบแฟกทอเรียลขนาด 2×2 ได้ดังนี้

		A						
		รูปเต็ม			รูปย่อ			
B	ระดับ	a_1	a_2	แบบที่ 1		แบบที่ 2		
		b_1	a_1b_1	a_2b_1	(1)	a	00	10
		b_2	a_1b_2	a_2b_2	b	ab	01	11

อิทธิพลหลัก (Main Effects) และอิทธิพลร่วม (Interaction)

การวัดการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งที่แต่ละระดับของปัจจัยหนึ่ง นั้น เป็นการวัดอิทธิพลของปัจจัย ปกติจะวัดค่าอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยของอิทธิพลของปัจจัยหนึ่ง ที่ระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง เรียกว่า อิทธิพลหลักของปัจจัย นอกจากนี้หากความแตกต่างของผลตอบสนองระหว่างของแฟกเตอร์หนึ่ง วัดที่ระดับของอีกแฟกเตอร์หนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากับความแตกต่างระหว่างระดับของแฟกเตอร์นั้นวัดที่ระดับของอีกแฟกเตอร์หนึ่ง ความแตกต่างของผลตอบสนองดังกล่าวนี้เรียกว่า การเกิดอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย

ตัวแบบเชิงเส้นทางคณิตศาสตร์ของการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มี 3 ปัจจัย เขียนได้เป็น

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (2.4)$$

โดยที่ μ เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล

$\alpha_i, \beta_j, \gamma_k$ เป็นอิทธิพลหลัก

$(\alpha\beta)_{ij}, (\alpha\gamma)_{ik}, (\beta\gamma)_{jk}$ เป็นอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ เป็นอิทธิพลร่วมของ 3 ปัจจัย

ε_{ijkl} เป็นความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูล
2. ศึกษาสมบัติของวัตถุคิบ
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม โดยปัจจัยที่

ศึกษาคือ

- ปริมาณของ โซเดียมไฮดรอกไซด์
- อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮปาล์มสเตียรินกับเมทานอล
- อุณหภูมิ

4. ศึกษาสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้

3.2 สารเคมี

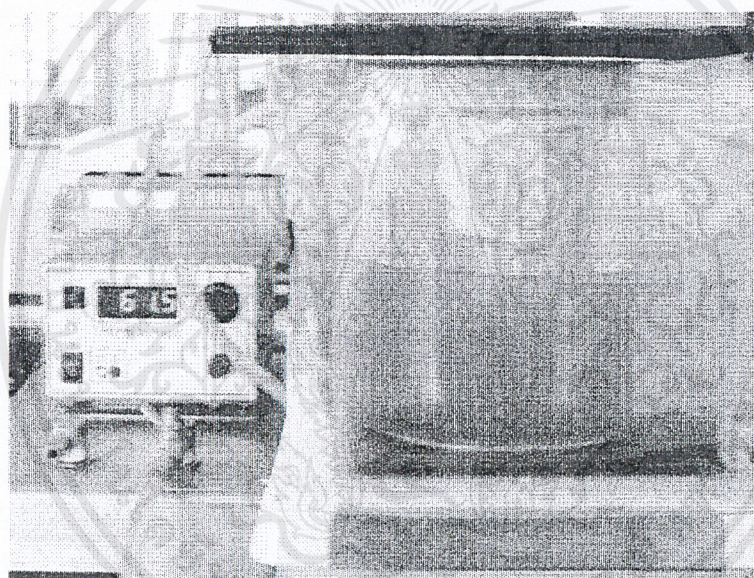
1. ไฮปาล์มสเตียริน
2. เอทานอล 95 % (C_2H_5OH)
3. เมทานอล (CH_3OH) เกรดทางการค้า
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เกรด Analytical Reagent
5. ฟีนอล์ฟทาลีน (1 % ในเอทานอล 95 %)
6. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เกรด Analytical Reagent
7. น้ำกลั่น

3.3 อุปกรณ์

1. บิวเรต (Burette)
2. กรวยแยก (Separating Funnel)
3. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
4. ปิเปต (Pipette)
5. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า (Analytical Balance)
6. บีกเกอร์ (Beaker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)
8. ขวดรูปหม้อ (Erlenmeyer Flask)
9. กระจกตวง (Cylinder)
10. กรวยกรอง (Funnel)
11. เครื่องทดสอบความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)
12. เครื่องวัดความหนืด (Glass Capillary Kinematic Viscometer)
13. เครื่อง Gas Chromatography
14. ชุดปฏิบัติการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดปฏิบัติการทดลอง

3.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

- 1) ปริมาณกรดไขมันอิสระ (A.O.C.S. Official Method Ca 5a-40)
- 2) ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
- 3) ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH Meter

ตอนที่ 2 การจัดกลุ่มการทดลอง

ทำการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยการแปรผันค่าตัวแปรที่ต้องการศึกษาทั้ง 3 ปัจจัยอันได้แก่

- 1) ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1 และ 0.5% โดยน้ำหนักของไบปาล์มสเตียร์น)
- 2) อัตราส่วน โดยโมลของไบปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอล (1:3 และ 1:6)
- 3) อุณหภูมิ (50 และ 60 องศาเซลเซียส)

เพื่อหาสถานะของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่เหมาะสม จัดการทดลองรูปแบบ 2³ แฟกทอเรียล ได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การจัดกลุ่มการทดลอง

ตัวแปร	ระดับ	
	สูง (+1)	ต่ำ (-1)
1. ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (% โดยน้ำหนักไบปาล์มสเตียร์น)	0.5	0.1
2. สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอล (โดยโมล)	1:6	1:3
3. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60	50

ตัวแปร	หมายเลขการทดลอง							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1
2	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
3	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1

ตอนที่ 3 การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ

- 1) ทำการแบ่งเมทานอลเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ใช้ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ส่วนที่ 2 ผสมกับ ไบปาล์มสเตียร์นก่อนในขั้นแรก ให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 ใช้ในการล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อาจติดอยู่ตามกรวยแก้วก่อนลงถึง
ปฏิกิริยา ให้ลงในถังปฏิกิริยาจนหมด

2) ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลส่วนที่ 1

3) นำโซปาล์มสเตียรีนตามปริมาณที่กำหนดและเมทานอลส่วนที่ 1 มาทำการกวนผสมใน
ถังปฏิกิริยา โดยกวนผสมด้วยความเร็วรอบ 1,567 รอบต่อนาที และทำการให้ความร้อนจนถึง
อุณหภูมิที่ต้องการ

4) นำสารละลายในข้อ 2 ใส่ลงในถังปฏิกิริยา และล้างกรวยแก้วด้วยเมทานอลส่วนที่ 3 ให้
ลงในถังปฏิกิริยาจนหมด เริ่มจับเวลา

5) ทำการสูมน้ำมันตัวอย่างที่เวลา 30 นาที ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

6) ทำการหยุดปฏิกิริยาตัวอย่างน้ำมันที่สูมได้ในข้อ 5 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
ความเข้มข้นประมาณ 0.25 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

7) ทำซ้ำข้อ 5 และข้อ 6 โดยเปลี่ยนเวลาสูมตัวอย่างน้ำมันเป็นที่ 60, 90 และ 120 นาที

ตอนที่ 4 การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ

1) นำสารตัวอย่างที่ได้จากตอนที่ 3 มาทำการแยกชั้นของเหลวด้านล่างออกด้วยกรวยแยก
โดยชั้นของเหลวด้านบนคือชั้นของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

2) นำชั้นของเหลวด้านบนจากข้อ 1 มาทำการล้างด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 80 ° ซ และ
ทำการกวนผสมกันเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

3) ถ้วยของเหลวจากข้อ 2 ลงกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น แล้วแยกชั้นของเหลวด้านล่าง
ออก

4) ล้างชั้นของเหลวด้านบนด้วยน้ำอุ่นอีก 2-3 ครั้ง

ตอนที่ 5 การระเหยน้ำ

นำชั้นน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากขั้นตอนการล้างมาทำการระเหยน้ำออก โดยนำ
เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตอนที่ 6 การหาปริมาณผลิตภัณฑ์

ในการทดลองครั้งนี้ได้หาเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ

วิธีที่ 1 หาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตจากค่าความหนืด

ทำการหาค่าความหนืดของน้ำมันที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส
แล้วนำมาเปรียบเทียบกับตารางที่ 3.2 ก็จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิต

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของค่าความหนืดกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันดีเซลชีวภาพจาก
น้ำมันถั่วเหลือง [15]

ความหนืด (mPa/s)	น้ำมันดีเซลชีวภาพ (wt%)	ความหนืด (mPa/s)	น้ำมันดีเซลชีวภาพ (wt%)
3.658	98.24	4.270	91.32
3.690	98.19	4.403	91.14
3.733	97.74	4.424	88.72
3.713	97.95	4.708	86.04
3.722	97.85	5.044	77.89
3.721	97.86	6.221	79.25
3.720	97.87	6.008	73.95
3.877	96.27	6.883	67.98
3.821	96.83	8.029	67.59
3.953	95.51	9.023	63.44
4.119	93.52	11.947	52.54
4.162	92.52	13.827	46.86

วิธีที่ 2 หาร้อยละของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography โดยมี

รายละเอียดดังนี้

เครื่อง Gas Chromatography

คอลัมน์ที่ใช้

SE30

2 เมตร x 0.32 ไมโครเมตร

ก๊าซพา

ก๊าซฮีเลียม 70 psi

ก๊าซไฮโดรเจน 70 psi

อากาศ 70 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detector	FID ที่ 350 องศาเซลเซียส
Injection Port	350 องศาเซลเซียส
Split Ratio	50:1
อัตราการไหลในคอลัมน์	17.67 เซนติเมตร / วินาที
Back Pressure	7.5 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร

ตอนที่ 7 การทดสอบสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลำมสเตียริน

- 1) ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน ASTM
- 2) ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยการใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะแสดงเฉพาะผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ที่สำคัญที่นำไปสู่ข้อสรุปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองเท่านั้นสำหรับผลการทดลองทั้งหมดจะแสดงอยู่ในภาคผนวก

4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยมีตัวแปรที่ต้องศึกษา 3 ตัวแปรด้วยกัน โดยจัดกลุ่มการทดลองดังตารางที่ 3.1 ทำซ้ำ 2 ครั้ง ได้ผลการทดลองเป็นเปอร์เซ็นต์ผลผลิตดังนี้

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของหมายเลขการทดลองต่างๆ

หมายเลขการทดลอง	เปอร์เซ็นต์ผลผลิต		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1	48.8	45.7	47.2
2	91.9	91.7	91.8
3	84.0	76.5	80.2
4	81.0	76.1	78.6
5	50.2	49.4	49.8
6	81.9	79.3	80.6
7	87.6	89.8	88.7
8	96.2	88.5	92.3

จากข้อมูลข้างต้น เขียน Treatment Combination ในการทดลองแบบแฟกทอเรียลขนาด 2^3 ได้ผังข้อมูลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่สภาวะต่างๆ

ปริมาณ โซเดียม ไฮดรอกไซด์ (wt% ของ โซปาล์มสเตียรีน)		อัตราส่วนโดยโมลของ โซปาล์มสเตียรีนต่อเมทานอล			
		1:3		1:6	
		อุณหภูมิ		อุณหภูมิ	
		50 °ซ	60 °ซ	50 °ซ	60 °ซ
0.1	1	50.5	48.8	81.1	81.9
	2	49.4	45.7	76.1	79.3
0.5	1	84.0	87.6	91.9	96.2
	2	76.5	89.8	91.7	88.5

4.2 การวิเคราะห์ผล

ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS ช่วยคำนวณได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลอง

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Significant
Corrected Model	4476.134	7	639.448	63.108	0.000
Intercept	92813.146	1	92813.146	9159.861	0.000
CATALYST	2341.834	1	2341.834	231.119	0.000**
RATIO	1500.207	1	1500.207	148.058	0.000**
TEMP.	17.999	1	17.999	1.776	0.219
CAT * RATIO	551.663	1	551.663	54.444	0.000**
CAT * TEMP	22.586	1	22.586	2.229	0.174
RATIO * TEMP	2.814	1	2.814	0.278	0.612
CAT * RATIO * TEMP	39.031	1	39.031	3.852	0.085
Error	81.061	8	10.133		
Total	97370.340	16			
Corrected Total	4557.194	15			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมสเตียเรตต่อเมทานอล และอิทธิพลร่วมของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์กับอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมสเตียเรตต่อเมทานอล มีนัยสำคัญ ในขณะที่ปัจจัยอื่นๆ นั้นไม่พบนัยสำคัญ

4.3 การสร้างสมการถดถอย (Regression)

เนื่องจากการหาสมการเพื่อใช้ในการอธิบายถึงเปอร์เซ็นต์ผลผลิต ต้องการที่จะประยุกต์ใช้ต่อไป จึงได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS ได้ผลดัง ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Significant
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	76.163	0.796		95.707	0.000
CATALYST	12.098	0.796	0.717	15.203	0.000
RATIO	9.683	0.796	0.574	12.168	0.000
TEMP.	1.061	0.796	0.063	1.333	0.219
อิทธิพลร่วมC-R	-5.872	0.796	-0.348	-7.379	0.000
อิทธิพลร่วมC-T	1.188	0.796	0.070	1.493	0.174
อิทธิพลร่วมR-T	-0.419	0.796	-0.025	-0.527	0.612
อิทธิพลร่วมC-R-T	-1.562	0.796	-0.093	-1.963	0.085

4.4 การแปลความหมาย

จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณที่คำนวณได้ สามารถนำมาสร้างสมการถดถอยได้ดังนี้

$$\text{Conversion} = 76.163 + 12.098(C) + 9.683(R) + 1.061(T) - 5.872(C)(R) + 1.188(C)(T) - 0.419(R)(T) - 1.562(C)(R)(T) \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

โดยที่ C คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าตั้งแต่ -1 (0.1%) ถึง +1 (0.5%)

R คือ อัตราส่วน โดยโมลของไฮปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอล มีค่าตั้งแต่ -1 (1:3) ถึง $+1$ (1:6)

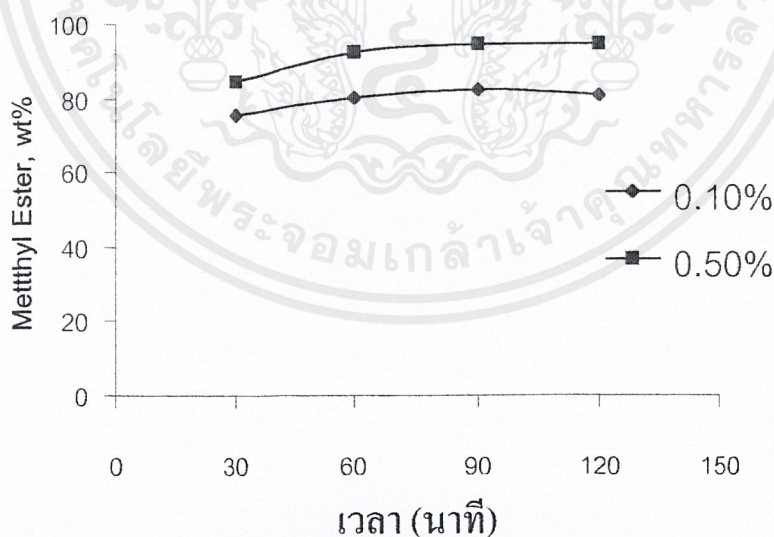
T คือ อุณหภูมิ มีค่าตั้งแต่ -1 (50°C) ถึง $+1$ (60°C)

ตัวอย่างการคำนวณ หมายเลขจุดทดลองที่ 3 (สถานะ $+1, -1, -1$)

$$\begin{aligned} \text{Conversion} &= 76.163 + 12.098(1) + 9.683(-1) + 1.061(-1) - 5.872(1)(-1) + 1.188(1)(-1) \\ &\quad - 0.419(-1)(-1) - 1.562(1)(-1)(-1) \\ &= 80.22 \end{aligned}$$

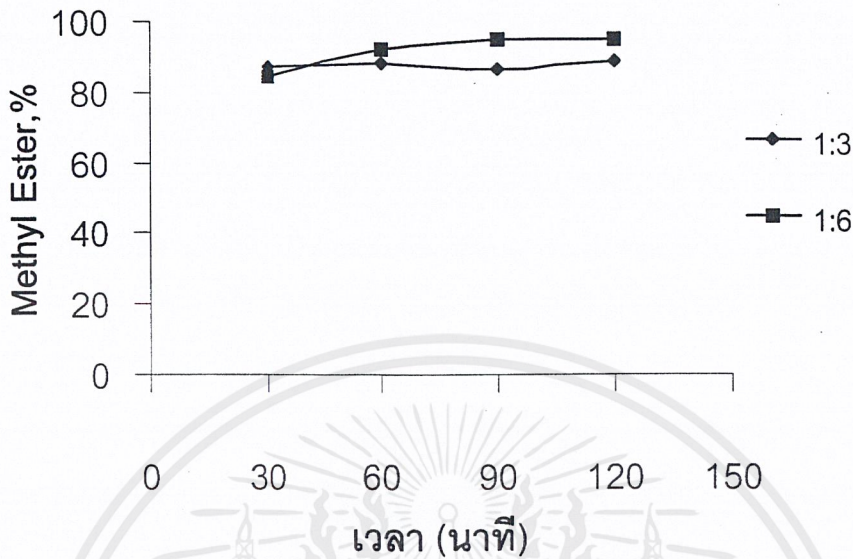
4.5 การวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ

ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตอย่างมากดังรูปที่ 4.1 กล่าวคือที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.5% โดยน้ำหนักของไฮปาล์มสเตียร์นให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่สูงกว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.1% โดยน้ำหนักของไฮปาล์มสเตียร์นอย่างเห็นได้ชัด แต่ขณะเดียวกันถ้าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มีอยู่มากทำให้การล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพทำได้ยากเพราะจะเกิดสบู่ ทำให้เกิดเป็นอิมัลชันซึ่งยากต่อการแยกและทำให้สูญเสียน้ำมัน ดีเซลชีวภาพบางส่วนไป



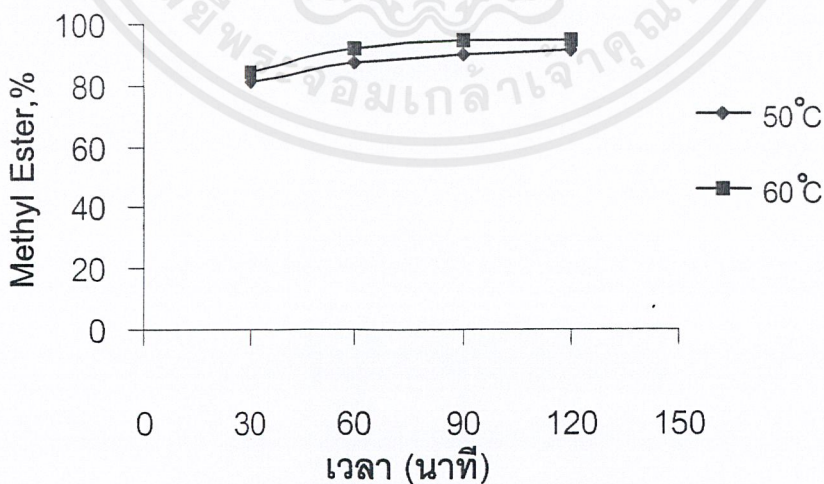
รูปที่ 4.1 ผลกระทบของปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์

อัตราส่วนโดยโมลของไฮปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอล มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตดังรูปที่ 4.2 กล่าวคือเมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของไฮปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอลที่ 1:6 จะให้เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.2 ผลกระทบของอัตราส่วนของโซปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอล

ผลกระทบจากอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตนั้นพบว่า ที่อุณหภูมิ 60°C จะให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่อุณหภูมิ 50°C โดยที่อุณหภูมิ 60°C ให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตมากกว่าที่อุณหภูมิ 50°C เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่จะช่วยในการลดเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันให้น้อยลงได้



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) ปัจจัยที่ศึกษาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพมีอยู่ 3 ปัจจัย คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนโดยโมลของไบปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอล และอุณหภูมิ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อผลได้ของน้ำมันดีเซลชีวภาพ คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนโดยโมลของไบปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอล และอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณสารเร่งปฏิกิริยากับอัตราส่วนโดยโมลของไบปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอล ส่วนอุณหภูมิมีผลน้อยต่อการเพิ่มผลได้ของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

2) สมการถดถอยเชิงเส้นตรงในการคำนวณผลได้ที่นำเสนอ คือ

$$\text{Conversion} = 76.163 + 12.098(C) + 9.683(R) + 1.061(T) - 5.872(C)(R) + 1.188(C)(T) - 0.419(R)(T) - 1.562(C)(R)(T)$$

โดย C คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าตั้งแต่ -1 (0.1%) ถึง +1 (0.5%)

R คือ อัตราส่วนโดยโมลของไบปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอล มีค่าตั้งแต่ -1 (1:3) ถึง +1 (1:6)

T คือ อุณหภูมิ มีค่าตั้งแต่ -1 (50°C) ถึง +1 (60°C)

3) สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ผลได้สูงในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ ที่สภาวะ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไบปาล์มสเตียร์น อัตราส่วนโดยโมลของไบปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 และอุณหภูมิ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส

4) ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไบปาล์มสเตียร์นจากการทดลองเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไปนั้นพบว่า น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไบปาล์มสเตียร์นจากการทดลองมีค่าความหนืดที่ 40°C มากกว่าน้ำมันดีเซลหมุนช้าและหมุนเร็วทั่วไป ซึ่งอาจทำให้ยากต่อการฉีดน้ำมันให้เป็นฝอย แต่จะช่วยให้การหล่อลื่นได้มากกว่า โดยจะสามารถทดแทนสมบัติในการหล่อลื่นที่สูญเสียไปเนื่องจากปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไบปาล์มสเตียร์นจากการทดลองที่มีค่าน้อยกว่าในน้ำมันดีเซล แต่การที่มีปริมาณกำมะถันน้อยนี้ก็จะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากจะมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ออกมากับไอเสียลดลงและกักคร่อนเครื่องยนต์น้อยลงด้วย ในส่วนของจุดไหลเท้น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไบปาล์มสเตียร์นจากการทดลองมีจุดไหลเทสูงกว่าน้ำมันดีเซลหมุนช้าและหมุนเร็วทั่วไป ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไฮปาล์มสเตียร์นจากการทดลองยังมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไปมากซึ่งจะมีความปลอดภัยมากกว่าในการขนส่งและการสำรองเชื้อเพลิงในแง่ของอันตรายจากอัคคีภัย แต่การที่มีจุดวาบไฟสูงเกินไปนี้อาจทำให้การติดเครื่องยนต์ทำได้ยากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิการกลั่นที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรที่มีค่าสูงซึ่งบ่งบอกว่าอาจทำให้การติดเครื่องยนต์ทำได้ยากเช่นกัน และน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไฮปาล์มสเตียร์นที่ได้จากการทดลองมีดัชนีซีเทนน้อยกว่าค่าน้ำมันดีเซลทั่วไป ซึ่งอาจเป็นผลให้การควบคุมการเผาไหม้ไม่ดีเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซล และอาจปล่อยก๊าซจําพวกไนโตรเจนออกไซด์มากกว่าน้ำมันดีเซลอีกด้วย

5) ผลการทดลองใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไฮปาล์มสเตียร์นจากการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลพบว่า มีปริมาณก๊าซออกซิเจนในไอเสียมากกว่าแต่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม แต่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ใกล้เคียงกัน มีอัตราการใช้น้ำมันสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย มีกำลังสูงกว่าน้ำมันดีเซลยกเว้นที่ความเร็วรอบสูงๆ นอกจากนี้ยังมีแรงบิดสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอีกด้วย

5.2. ข้อเสนอแนะ

1) จากผลการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮปาล์มสเตียร์นต่อเมทานอลเท่ากับ 1:6 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเฉพาะช่วงข้อมูลที่ศึกษาเท่านั้น ดังนั้นจึงควรศึกษาเพิ่มเติมที่อัตราส่วนอื่นๆ ต่อไป ซึ่งควรศึกษาในช่วงอัตราส่วน 1:6 ถึง 1:9 เพื่อพิจารณาค่าผลได้ว่ามีค่าสูงขึ้นหรือไม่ และถูกจำกัดที่อัตราส่วนเท่าใด นอกจากนี้อาจทำการทดลองช่วงอุณหภูมิอื่น เช่น 45 และ 65 องศาเซลเซียส น่าจะได้มีการศึกษาว่าจะมีผลของอุณหภูมิที่อยู่นอกช่วงการทดลองนี้มีนัยสำคัญหรือไม่

2) ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การผสมระหว่างน้ำมันกับเมทานอลมีความสำคัญ เพราะหากสารทั้งสองผสมกันไม่ดีอาจมีผลต่อปริมาณของผลได้และเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพได้ สำหรับโครงการนี้ไม่ได้ทำการทดลองในประเด็นนี้เนื่องจากเห็นว่าการกวนผสมที่ความเร็วสูงจะทำให้สารทั้งสองผสมกันได้ดีที่สุด จึงได้ทำการทดลองที่ความเร็วสูงสุดเท่าที่เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถทำได้ ซึ่งผลการกวนที่ได้พบว่าสารทั้งสองสามารถกวนผสมกันได้อย่างดี อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเร็วในการกวนให้สูงขึ้นนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานที่มากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นหากจะทำการศึกษาถึงความเร็วที่เหมาะสมที่สิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุดโดยได้ผลผลิตที่ยอมรับได้ ก็ถือเป็นประเด็นที่น่าสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กรรมวิธีในการล้างน้ำมันก็ถือเป็นสิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญ เพราะในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเหลืออยู่ซึ่งจะก่อให้เกิดสนิมซึ่งจะทำให้ น้ำมันเกิดเป็นอิมัลชัน ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนทั้งยังเป็นผลเสียต่อเครื่องยนต์อีกด้วย สำหรับปริมาณที่นี้มียังไม่สามารถเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้มากกว่า 0.5% โดยน้ำหนักของโซปาล์มสเตียรีน เนื่องจากยังขาดเทคนิคการล้างน้ำมันที่ดีพอ ซึ่งหากได้มีการพัฒนากรรมวิธีการล้างน้ำมันเพิ่มเติมแล้วน่าจะเพิ่มช่วงของปริมาณเบสที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาได้กว้างกว่านี้

4) ชนิดของสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาก็เป็นอีกหนึ่งประเด็นที่น่าทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยอาจใช้สารจำพวกเบสตัวอื่นมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนได้ เนื่องจากเบสบางตัวมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อใช้ปริมาณเท่ากัน เช่น โซเดียมเมทอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น สำหรับปริมาณที่นี้ได้เลือกโซเดียมไฮดรอกไซด์เนื่องจากหาได้ง่าย บุคคลทั่วไปตลอดจนเกษตรกรผู้ปลูกพืชน้ำมันสามารถหาได้ง่าย จึงน่าจะเป็นประโยชน์กับผู้ใช้ในวงกว้าง

5) ในการทดสอบกับเครื่องยนต์นั้น ปริมาณก๊าซจำพวกไนโตรเจนออกไซด์และปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสียจากเครื่องยนต์ถือเป็นอีกหนึ่งประเด็นที่น่าจะพิจารณา โดยคณะผู้จัดทำตั้งใจจะทำการวัดปริมาณก๊าซจำพวกไนโตรเจนออกไซด์และปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสียจากเครื่องยนต์ด้วย แต่เนื่องจากเครื่องมือวัดชำรุดจึงไม่สามารถทำการวัดได้

6) การนำน้ำมันดีเซลชีวภาพไปใช้กับเครื่องยนต์นั้นอาจจำเป็นต้องเติมสารแต่งเติมในการปรับปรุงสมบัติบางประการ เช่น เพื่อลดจุดควบไฟที่มีค่าสูงเกินไปซึ่งทำให้เครื่องยนต์ติดยากหรือเพื่อลดความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ อาจมีการดัดแปลงเครื่องยนต์บางส่วน เช่น การปรับปรุงหัวฉีดให้เหมาะสมกับน้ำมันดีเซลชีวภาพมากขึ้น หรือเพิ่มหน่วยให้ความร้อนน้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยเป็นการอุ่นน้ำมันดีเซลชีวภาพที่มีจุดไหลเทสูง เป็นต้น ซึ่งทั้งการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของคุณสมบัติและการปรับปรุงเครื่องยนต์ก็ถือเป็นประเด็นที่น่าสนใจเช่นกัน

7) การศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวก็ถือเป็นประเด็นที่น่าสนใจเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

1. ปราณี จักรเชิดชัยกุล, รายงานอุตสาหกรรมน้ำมันพืชไทยในปี 2542, 2542.
2. ทรงยศ ดันพิพัฒน์, พืชน้ำมัน, พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช, คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2529: 436-531
3. ชมรมเพื่อพัฒนามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปาล์มน้ำมันและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม: คู่มือเกษตรกร, โครงการส่งเสริมน้ำมันปาล์มขนาดเล็กตามแนวพระราชดำริ: สงขลา, 2529
4. กิติภพ สำราญ, การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดีเซลด้วยเฟอร์พูลที่ได้จากขังข้าวโพด, วิทยานิพนธ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.
5. กัญญา นุชเกียรติ และ สุกัญญา มากมี, ไบโอดีเซล: พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล, วารสารวิทยาศาสตร์, พฤษภาคม-มิถุนายน 2544: 148-155.
6. ป๊วย อุ๋นใจ และสยาม ภพลือชัย, ไบโอดีเซลเชื้อเพลิงชีวภาพแห่งยุคสมัย, UPDATE. สิงหาคม 2544: 50-56.
7. Fessenden, R.J., Organic Chemistry, 6th, Brooks/cole Publishing Company, 1998, p. 658.
8. Morriso, R.T., Organic Chemistry. 5th, Morrison and BoYD Inc., p. 882-883
9. Korus, R.A., Transesterification Process to Manufacture Ethyl Ester of Rapeseed Oil, Department of Chemical Engineering University of Idaho, MOSCOW, 1993 .
10. Mittelbach, M. and Tritthart, P., Diesel Fuel Derived from Vegetable Oils, Emission Tests Using Methyl Esters of Used Frying Oil, JAOCS, Vol.65, no.7, July 1998, p.1185-1187
11. Muniyappa, P.R., Improved Conversion of Plant Oils and Animal Fats Into Biodiesel and Co-product, Department of Chemical Engineering, University of Nebraska, Lincoln, 1996.
12. Saka S. and Kusdiana, D., Biodiesel Fuel From Rapeseed Oil as Prepared in Supercritical Methanol, Department of Socio-Environmenttal Energy Science, Kyoto University, Japan, 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

13. พิสมัย เจนวนิชปัญญากุล, ไบโอดีเซล พลังงานทางเลือก, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 16 กันยายน-ธันวาคม 2544.
14. รังสรรค์ นิยมสนิท, การวางแผนการทดลอง, ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2541:88-95.
15. Sorrentino, M., et al, Transesterification Process for Vegetable Oils: A Simple Control Method of Methyl Ester Content, JAOCS, vol. 72,1995.
16. คำรง ทิพย์โยธา, การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS for Windows, ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 1, กุมภาพันธ์ 2543:207-226.
17. ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์, การใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซล, แนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์, มิถุนายน 2544.
18. สิริภัก สระคันต์, ปฏิบัติการชีวเคมีเบื้องต้น, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540
19. สุรภิตติ ศรีกุล และคณะ, การพัฒนาการผลิตและการปรับปรุงพืชน้ำมัน(ปาล์มน้ำมัน), แนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์, มิถุนายน 2544.
20. Ma, F., Biodiesel Fuel from Animal Fat.Ancillary Studies on Transesterification of Beef Tallow, Ind. Eng. Chem. Res, Vol.37, No.9, 1998, p. 3768-3771.
21. Fox, M.A., Organic Chemistry, Joan and Bartitt Publishers, 1994, p. 433
22. Watts, K.C.,et al, Predicting the Viscosity of Biodiesel From Their Fatty cid Ester Composition, www.elsvier.com/locate/fuel.
23. B.Freedman, E.H.Rryde,T.L.Mounts, Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils, J.Am.Oil Chem. Soc., vol. 26, 1984, p. 1638-1643
24. C.Planc, E.Lorbeer, Simultaneous Determination of Glycerol and Mono-, Di-, and Trimlycerides in Vegetable Oil Methyl Esters by Capillary Gas Chromatography, J.Chromatog, A697, 1995, p. 461-468
25. Richard D. O'Brien, Fats and Oils : Formulating and Processing for Applications, Lancaster, PA : Technomic, 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
สมบัติของไขปาล์มสเตียรีน

ตารางที่ ก.1 สมบัติของไขปาล์มสเตียรีนที่ใช้ทำการทดลอง

สมบัติ	ค่าที่วัดได้
ความหนืดที่ 50°C, เซนติสโตกส์	25.27
ปริมาณกรดไขมันอิสระ, %น้ำหนัก	0.15
ความเป็นกรด-ด่าง	5.36

ตารางที่ ก.2 สมบัติของไขปาล์มสเตียรีน [26]

สมบัติ	ค่าที่พบ
Softening Point, °C	44.0 – 56.0
Titer, °C	46.0 – 54.0
Density at 60/25 °C	0.882 - 0.891
Iodine Value	22.0 – 49.9
Saponification Value	193 – 206
Unsaponifiable Matter, %	0.1 - 1.0
Solid Fat Content (NMR), %	
at 10 °C	54 – 91
at 20 °C	31 – 87
at 30 °C	16 – 74
at 40 °C	7 – 57
at 50 °C	0 – 40

ภาคผนวก ข
การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

ข.1 อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

ข.2 สารเคมี

1. เอทานอล 95%
2. สารละลายฟีนอล์ฟทาליน 1% ในเอทานอล 95%
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว

ข.3 ขั้นตอนการหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

1. นำไขปลาล์มสเตียรีนตัวอย่างมาทำให้เป็นของเหลวทั้งหมดก่อนทำการชั่งแต่ต้องไม่ให้ความร้อนเกิน 10°C ของจุดหลอมเหลว
2. นำน้ำมันตัวอย่างมาชั่งตามช่วงของกรดไขมันอิสระที่คาดไว้ตามใช้ตารางที่ 1 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่

ตารางที่ ข.1 ช่วงของปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาตรของเอทานอล และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

ช่วงกรดไขมันอิสระ, ร้อยละโดยน้ำหนักของไขปลาล์มสเตียรีน	ปริมาณของไขปลาล์มสเตียรีนตัวอย่างที่ใช้, กรัม	ปริมาตรของเอทานอลที่ใช้, มิลลิลิตร	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้, นอร์มอล
0.00 – 0.2	56.4 ± 0.2	50	0.1
0.2 – 1.0	28.2 ± 0.2	50	0.1
1.0 – 30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25
30.0 – 50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 หรือ 1.0
50.0 – 100.0	3.525 ± 0.001	100	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำเอทานอลที่ถูกทำให้เป็นกลางและผ่านการให้ความร้อนแล้วโดยมีปริมาตรตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 ตามช่วงกรดไขมันอิสระที่เลือกไว้ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ พร้อมกับสารละลายฟีนอล์ฟทาลินจำนวน 2 มิลลิลิตร

4. ทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เขย่าจนสังเกตเห็นสารละลายมีสีชมพูถาวรที่ความเข้มของสีของสารละลายในระดับเดียวกับเอทานอลที่ถูกทำให้เป็นกลางแล้วในตอนแรก ก่อนจะเติมโซปาล์มสเตียรีนตัวอย่าง



ภาคผนวก ค
ผลการทดลองการหาปริมาณผลิตภัณฑ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่อง Gas Chromatography

ตารางที่ ก.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์

หมายเลขทดลอง	เวลาที่สุ่มตัวอย่างน้ำมัน (นาที)	ครั้งที่ 1						ครั้งที่ 2					
		เมทิลเอสเทอร์ (mol/l)	โมโนกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไดกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไตรกลีเซอไรด์ (mol/l)	เมทิลเอสเทอร์ (wt%)	เมทิลเอสเทอร์ (mol/l)	โมโนกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไดกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไตรกลีเซอไรด์ (mol/l)	เมทิลเอสเทอร์ (wt%)		
1	30	0.1371	0.0207	0.0255	0.0294	46.5	0.1237	0.02266	0.0255	0.0246	45.8		
	60	0.1009	0.0162	0.0226	0.0215	44.9	0.1282	0.0233	0.0272	0.0326	42.6		
	90	0.1205	0.0175	0.0252	0.0323	42.8	0.1418	0.0215	0.0269	0.0326	45.4		
	120	0.1417	0.0223	0.0276	0.0312	45.7	0.1582	0.0251	0.0256	0.0305	48.8		
2	30	0.3472	0.0000	0.0104	0.0135	85.6	0.2445	0.0021	0.0069	0.0147	81.0		
	60	0.3957	0.0048	0.0015	0.0080	92.6	0.2650	0.0017	0.0042	0.0094	87.8		
	90	0.2406	0.0008	0.0029	0.0074	89.7	0.2618	0.0013	0.0023	0.0066	91.4		
	120	0.2780	0.0002	0.0049	0.0054	91.7	0.2985	0.0017	0.0034	0.0062	91.9		

ตารางที่ ค.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

หมายเลขการทดลอง	เวลาที่สุ่มตัวอย่างน้ำมัน (นาที)	ครั้งที่ 1						ครั้งที่ 2							
		เมทิลเอสเตอร์ (mol/l)	โมโนกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไดกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไตรกลีเซอไรด์ (mol/l)	เมทิลเอสเตอร์ (wt%)	เมทิลเอสเตอร์ (mol/l)	โมโนกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไดกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไตรกลีเซอไรด์ (mol/l)	เมทิลเอสเตอร์ (wt%)	เมทิลเอสเตอร์ (mol/l)	โมโนกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไดกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไตรกลีเซอไรด์ (mol/l)
3	30	0.2409	0.0031	0.0128	0.0119	79.4	0.2277	0.0089	0.0109	0.0144	75.9	0.2277	0.0089	0.0109	0.0144
	60	0.2172	0.0023	0.0095	0.0081	83.1	0.2256	0.004	0.0096	0.0153	77.1	0.2256	0.004	0.0096	0.0153
	90	0.2286	0.0029	0.0086	0.0135	79.7	0.2327	0.0017	0.0098	0.0171	77.0	0.2327	0.0017	0.0098	0.0171
	120	0.2319	0.0035	0.0097	0.0171	76.5	0.2475	0.0012	0.0087	0.0102	83.9	0.2475	0.0012	0.0087	0.0102
4	30	0.1985	0.0020	0.0136	0.0151	73.5	0.2516	0.0083	0.0189	0.0214	70.2	0.2516	0.0083	0.0189	0.0214
	60	0.2056	0.0029	0.0119	0.0164	73.8	0.2094	0.0030	0.0129	0.0150	74.6	0.2094	0.0030	0.0129	0.0150
	90	0.2175	0.0023	0.0104	0.0145	77.3	0.2673	0.0028	0.0124	0.0176	77.6	0.2673	0.0028	0.0124	0.0176
	120	0.2187	0.0036	0.0109	0.0152	76.1	0.2958	0.0046	0.0112	0.0147	81.1	0.2958	0.0046	0.0112	0.0147
5	30	0.1095	0.0094	0.0135	0.0283	48.3	0.1145	0.0049	0.0130	0.0218	55.3	0.1145	0.0049	0.0130	0.0218
	60	0.1077	0.0065	0.0161	0.0347	44.0	0.1141	0.0061	0.0144	0.0322	47.5	0.1141	0.0061	0.0144	0.0322
	90	0.1059	0.0072	0.0138	0.0341	44.5	0.1096	0.0027	0.0121	0.0293	50.0	0.1096	0.0027	0.0121	0.0293
	120	0.1196	0.0079	0.0145	0.0301	49.4	0.1192	0.0073	0.0135	0.0294	50.2	0.1192	0.0073	0.0135	0.0294

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

หมายเลขการทดลอง	เวลาที่ทำการสุ่มตัวอย่าง (นาที)	ครั้งที่ 1						ครั้งที่ 2					
		เมทิลเอสเตอร์ (mol/l)	โมโนกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไดกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไตรกลีเซอไรด์ (mol/l)	เมทิลเอสเตอร์ (wt%)	เมทิลเอสเตอร์ (mol/l)	โมโนกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไดกลีเซอไรด์ (mol/l)	ไตรกลีเซอไรด์ (mol/l)	เมทิลเอสเตอร์ (wt%)		
6	30	0.2056	0.007	0.0153	0.0154	71.5	0.2692	0.0079	0.0145	0.0125	78.7		
	60	0.2678	0.007	0.0125	0.0119	80.1	0.2444	0.0044	0.0123	0.0104	80.6		
	90	0.3119	0.0050	0.0121	0.0119	83.2	0.2712	0.0041	0.0123	0.0120	81.2		
	120	0.2392	0.0033	0.0115	0.0127	79.3	0.2906	0.0021	0.0116	0.0138	82.0		
7	30	0.1982	0.0009	0.0053	0.0071	86.2	0.2012	0.0009	0.0034	0.0073	87.7		
	60	0.2141	0.0018	0.0027	0.0061	89.7	0.2649	0.0000	0.0049	0.0104	87.2		
	90	0.2217	0.0000	0.0025	0.0095	87.5	0.2050	0.0000	0.0057	0.0086	85.2		
	120	0.2541	0.0013	0.0019	0.0084	89.8	0.2230	0.0010	0.0043	0.0078	87.6		
8	30	0.1878	0.0042	0.0034	0.0057	87.1	0.2322	0.0048	0.0050	0.0120	82.4		
	60	0.3275	0.0037	0.0028	0.0045	93.5	0.3871	0.0031	0.0042	0.0080	91.8		
	90	0.311	0.002	0.0011	0.0024	96.3	0.3549	0.0000	0.0053	0.0022	95.5		
	120	0.1699	0.0029	0.0000	0.0066	88.5	0.2224	0.0000	0.0011	0.0023	96.2		

ค.2 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากเครื่องวัดความหนืด

Watts K.C. และคณะ [22] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลืองเทียบกับความหนืดและความหนาแน่น ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3.2 ในโครงการนี้ได้หาค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เทียบกับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ได้ผลดังตารางที่ ค.2 - ค.9

ตารางที่ ค.2 เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดจากหมายเลขทดลองที่ 1
{-1(ปริมาณ NaOH = 0.1%), -1(อัตราส่วนน้ำมัน:เมทานอล = 1:3), +1(อุณหภูมิ 60°C)}

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความหนืด (cSt)	เมทิลเอสเทอร์ (wt%)
30	88.39	88.8	88.595	17.82	36.95
60	88.14	88.4	88.27	17.74	37.13
90	88.01	87.86	87.935	17.66	37.31
120	82.91	84.68	83.795	16.61	39.68

ตารางที่ ค.3 เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดจากหมายเลขทดลองที่ 2
{+1(ปริมาณ NaOH = 0.5%), +1(อัตราส่วนน้ำมัน:เมทานอล = 1:6), -1(อุณหภูมิ 50°C)}

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความหนืด (cSt)	เมทิลเอสเทอร์ (wt%)
30	47.68	47.6	47.64	6.67	75.13
60	49.38	46.91	48.145	6.83	74.23
90	46.6	45.84	46.22	6.23	77.82
120	45.71	45.6	45.655	6.05	78.96

ตารางที่ ก.4 เปรอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดจากหมายเลขทดลองที่ 3
 {+1(ปริมาณ NaOH = 0.5%), -1(อัตราส่วนน้ำมัน:เมทานอล = 1:3), -1(อุณหภูมิ 50^oซ)}

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความหนืด (cSt)	เมทิลเอสเทอร์ (wt%)
30	59.84	60.14	59.99	10.31	58.23
60	59.37	60.17	59.77	10.25	58.47
90	55.46	56.44	55.95	9.16	62.82
120	53.99	54.73	54.36	8.69	64.83

ตารางที่ ก.5 เปรอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดจากหมายเลขทดลองที่ 4
 {-1(ปริมาณ NaOH = 0.1%), +1(อัตราส่วนน้ำมัน:เมทานอล = 1:6), -1(อุณหภูมิ 50^oซ)}

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความหนืด (cSt)	เมทิลเอสเทอร์ (wt%)
30	57.09	57.69	57.39	9.57	61.11
60	57.76	57.43	57.595	9.63	60.87
90	54.6	55.03	54.815	8.83	64.24
120	54.22	54.31	54.265	8.67	64.96

ตารางที่ ก.6 เปรอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดจากหมายเลขทดลองที่ 5
 {-1(ปริมาณ NaOH = 0.1%), -1(อัตราส่วนน้ำมัน:เมทานอล = 1:3), -1(อุณหภูมิ 50^o ซ)}

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความหนืด (cSt)	เมทิลเอสเทอร์ (wt%)
30	97.8	98.33	98.065	20.17	32.13
60	92.55	93.68	93.115	18.95	34.56
90	88.31	87.61	87.96	17.66	37.29
120	84.9	83.39	84.145	16.69	39.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 เปรอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดจากหมายเลขทดลองที่ 6

{-1(ปริมาณ NaOH = 0.1%), +1(อัตราส่วนน้ำมัน:เมทานอล = 1:6), +1(อุณหภูมิ 60°C)}

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความหนืด (cSt)	เมทิลเอสเทอร์ (wt%)
30	56.8	57.05	56.925	9.44	61.65
60	50.11	50.01	50.06	7.42	71.02
90	49.65	49.37	49.51	7.25	71.91
120	50.26	50.16	50.21	7.46	70.78

ตารางที่ ค.8 เปรอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดจากหมายเลขทดลองที่ 7

{+1(ปริมาณ NaOH = 0.5%), -1(อัตราส่วนน้ำมัน:เมทานอล = 1:3), +1(อุณหภูมิ 60°C)}

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความหนืด (cSt)	เมทิลเอสเทอร์ (wt%)
30	51.86	54.57	53.215	8.36	66.36
60	50.66	51.68	51.17	7.75	69.30
90	48.38	48.96	48.67	6.99	73.31
120	49.73	48.87	49.3	7.19	72.25

ตารางที่ ค.9 เปรอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์โดยมวลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดจากหมายเลขทดลองที่ 8

{+1(ปริมาณ NaOH = 0.5%), +1(อัตราส่วนน้ำมัน:เมทานอล = 1:6), +1(อุณหภูมิ 60°C)}

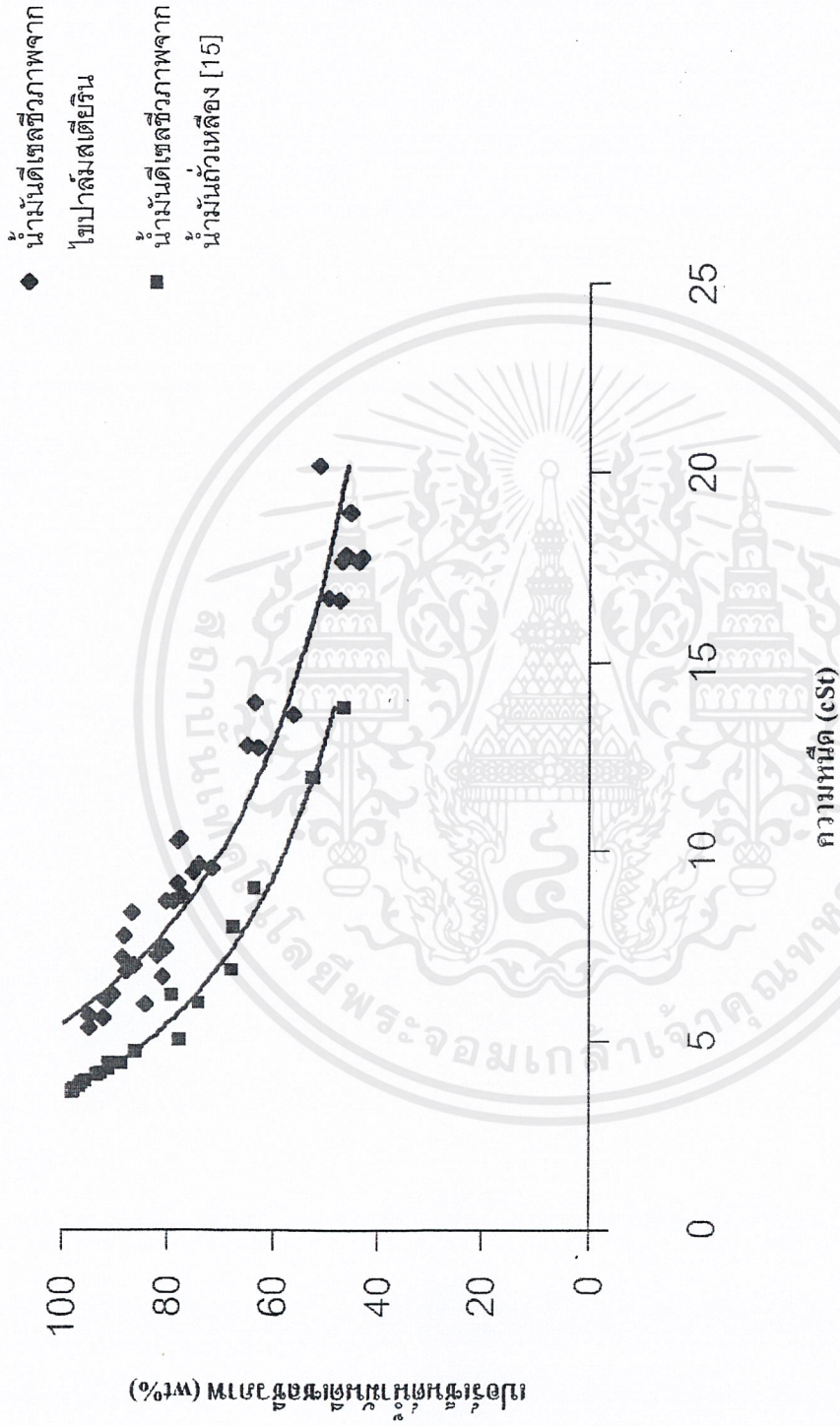
เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความหนืด (cSt)	เมทิลเอสเทอร์ (wt%)
30	44.92	45.76	45.34	5.95	79.62
60	44.39	44.26	44.325	5.62	81.82
90	43.6	43.26	43.43	5.32	83.90
120	44.14	44.64	44.39	5.64	81.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาล์มสเตียรินจากการทดลองกับค่าความหนืดในแต่ละหมายเลขการทดลอง

จากผลการทดลอง เมื่อนำเปอร์เซ็นต์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาล์มสเตียรินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography มาสร้างความสัมพันธ์กับกับค่าความหนืดในแต่ละหมายเลขการทดลอง ทำให้สามารถหาเปอร์เซ็นต์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาล์มสเตียรินอย่างคร่าวๆ ได้เมื่อทราบค่าความหนืด ดังแสดงในรูปที่ ค.1 โดยได้ทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาล์มสเตียรินจากการทดลองกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันถั่วเหลือง [15] ที่ความหนืดต่างๆ ไว้ด้วย





รูปค.1 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์น้ำมันดีเซลชีวภาพกับความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

สมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาล้มสเตียร์นจากการทดลอง

ตารางที่ ง.1 เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาล้มสเตียร์นจากการทดลองเทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป

TEST ITEM	ASTM D	LIMIT	น้ำมันดีเซล ชีวภาพจากไข ปลาล้มสเตียร์น	น้ำมัน ดีเซล หมุนเร็ว	น้ำมัน ดีเซล หมุนช้า
API Gravity @ 60°F	1298	Report	29.6	40	34
Specific Gravity @ 15.6/15.6 °C	1298				
- High Speed Diesel		0.81 - 0.87	0.8783	0.82	-
- Low Speed Diesel		0.920 max.		-	0.86
Calculated Cetane Index	976				
- High Speed Diesel		47 min.	47.7	52	-
- Low Speed Diesel		45 min.		-	52
Kinematic Viscosity @ 40°C, cSt	445				
- High Speed Diesel		1.8 - 4.1	5.473	2.28	-
- Low Speed Diesel		8.0 max.		-	4.0
Pour Point, °C	97				
- High Speed Diesel		10 max.	16.0	- 8.0	-
- Low Speed Diesel		16 max.		-	3.0
Sulphur Content, wt%	4294				
- High Speed Diesel		0.05 max.	0.0054	0.04	-
- Low Speed Diesel		1.5 max.		-	0.5
Flash Point, (P.M.), °C	93	52 min.	173.0	75.0	69.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปาล์มสเตียร์นจากการทดลองเทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป (ต่อ)

TEST ITEM	ASTM D	LIMIT	น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปาล์มสเตียร์น	น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว	น้ำมันดีเซลหมุนช้า
Water & Sediment, %vol	2709				
- High Speed Diesel		0.05 max.	0.0	0.0	-
- Low Speed Diesel		0.3 max.		-	0.0
Distillation: (Correct Temp.)					
IBP	86	Report	288	174	166
10% rec. , °C		Report	323	204	225
50% rec. , °C		report	324	250	303
90% rec. , °C		357 max.	346	325	-
End Point		report	350	-	328

ตารางที่ ง.2 เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปาล์มสเตียร์นจากการทดลองกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพของต่างประเทศ

TEST ITEM	DIN 51606	US ASTM	น้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปาล์มสเตียร์นจากการทดลอง	มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ
Flash Point, °C	100 min.	100 min.	173.0	ASTM D 93
Water & Sediment, %vol	-	0.050 max.	0.0	ASTM D 2709
Viscosity @ 40°C, cSt	3.5 - 5.0	1.9 - 6.5	5.473	ASTM D 445
Sulphur, wt%	0.01 max.	0.05 max.	0.0054	ASTM D 4294
Cetane	49 min.	40 min.	47.7	ASTN D 976

ที่มา <http://www.biodiesel.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

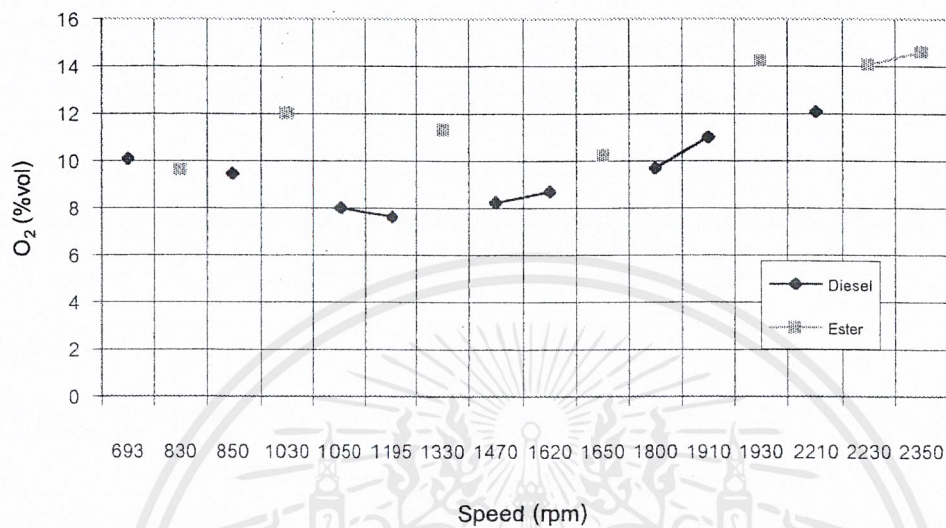
ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดสอบน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปาล์มสเตียรินจากการทดลองด้วยเครื่องยนต์
เทียบกับน้ำมันดีเซล

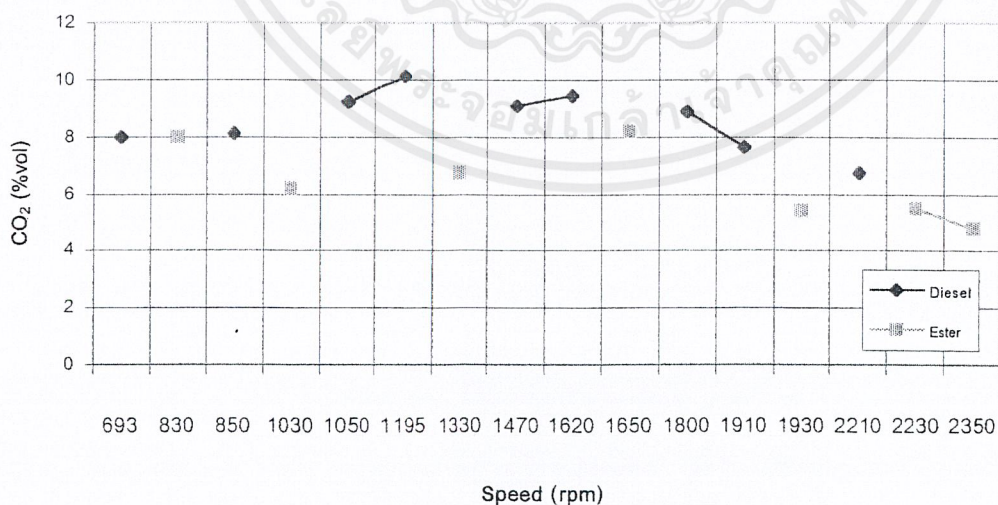
เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ยี่ห้อ 4 จังหวะ TF-85 LM โดยมีรายละเอียด
ของเครื่องยนต์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ จ.1 ลักษณะเฉพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

ระบบเผาไหม้	มีห้องเผาไหม้ช่วย
จำนวนลูกสูบ	1
ความโตของกระบอกสูบ x ช่วงชัก	85 x 87 มม.
ความจุ	0.493 ลิตร
กำลังสูงสุด (แรงม้า)	8.5/2200 รอบต่อนาที
อัตราส่วนการอัด	22.4
ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	195 กรัม/แรงม้า-ชั่วโมง
ทิศทางการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยง	ทวนเข็มนาฬิกาต้านล้อช่วยแรง
น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้	น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว
ระยะเวลาการฉีดน้ำมัน	ก่อนศูนย์ตายบน 13 องศา
ความจุของน้ำมันเชื้อเพลิง	10.5 ลิตร
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำรังผึ้ง

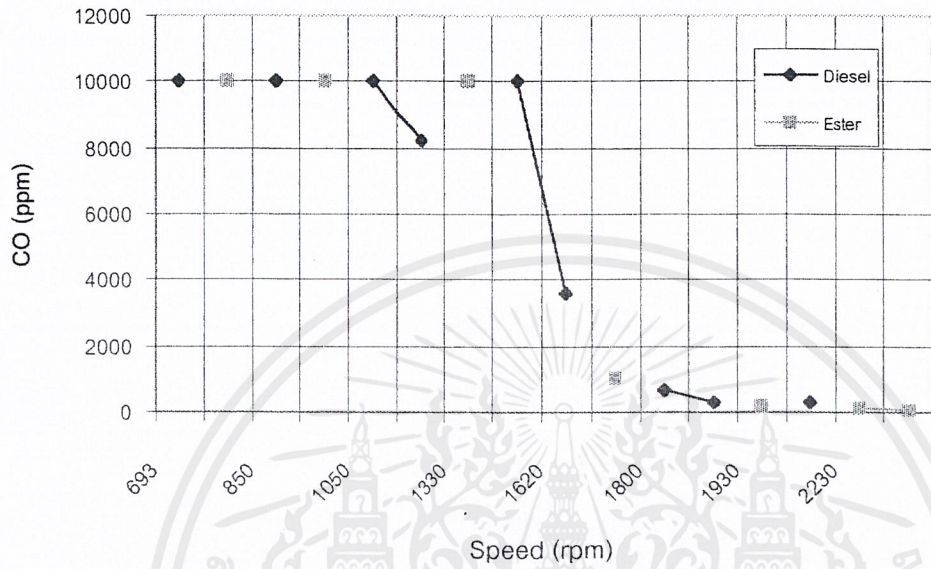


รูปที่ จ.1 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่วัดได้จากไอเสียจากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพ เทียบกับน้ำมันดีเซล

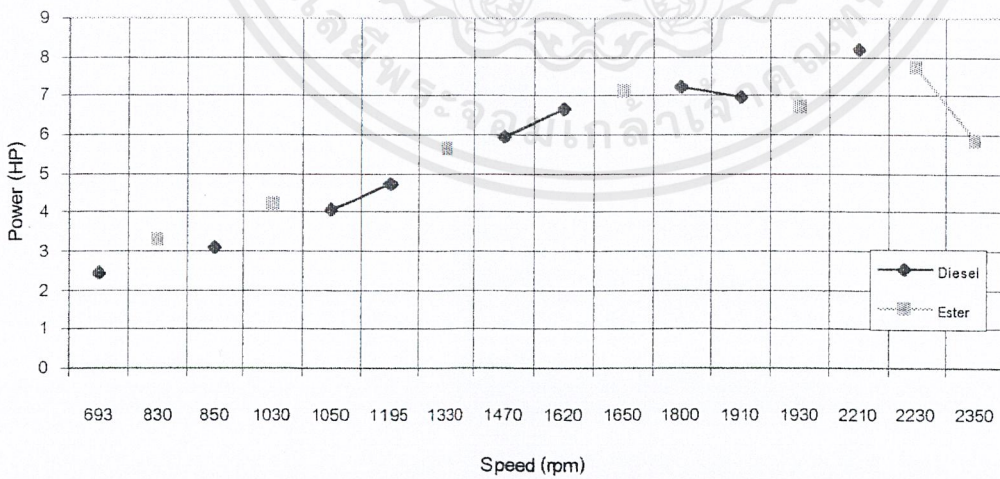


รูปที่ จ.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากไอเสียจากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

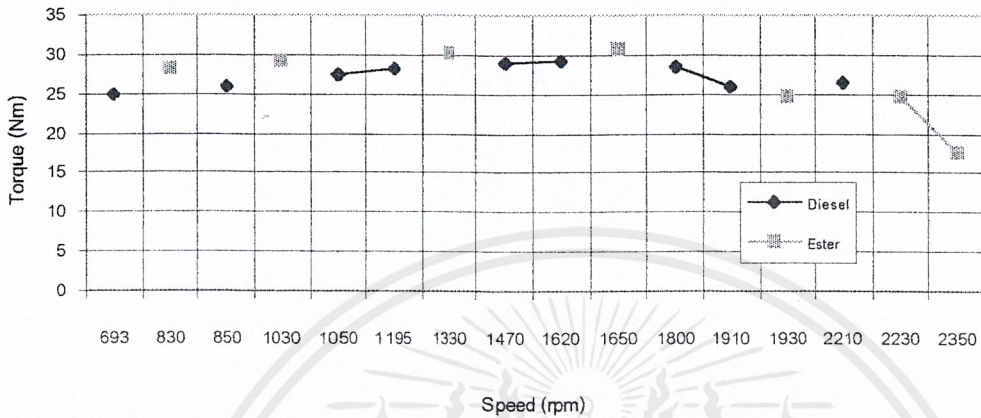


รูปที่ ๓.3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้จากไอเสียของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล

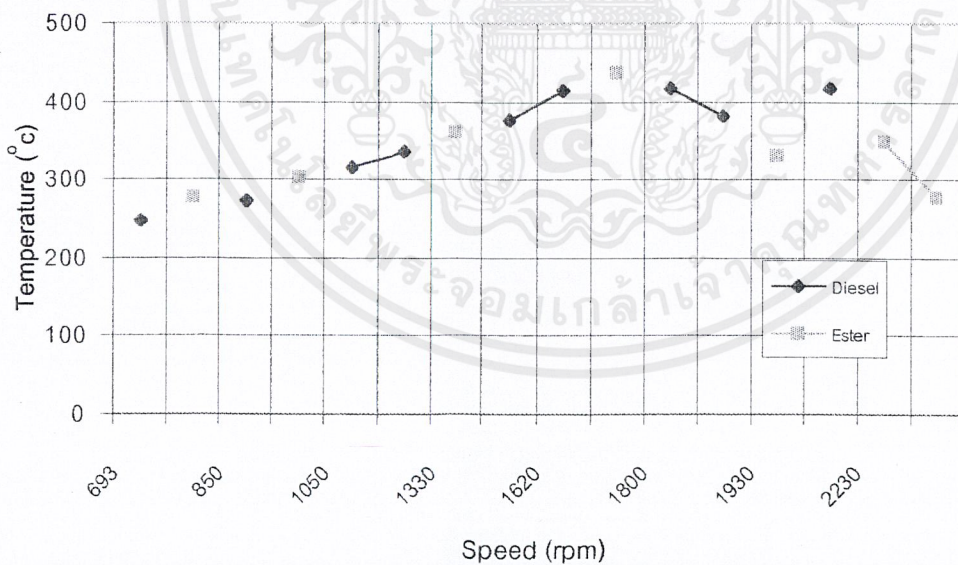


รูปที่ ๓.4 กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

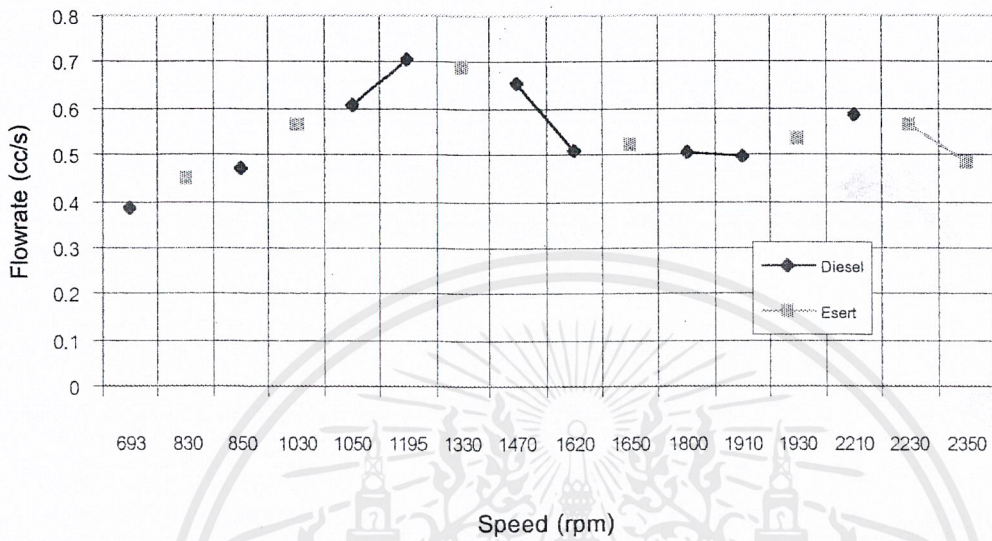


รูปที่ จ.5 แรงบิดที่วัดได้จากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล



รูปที่ จ.6 อุณหภูมิไอเสียที่วัดได้จากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.7 อัตราการใช้น้ำมันของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลซึ่งภาพเทียบกับน้ำมันดีเซล