

การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง



นางสาวบัวชุม อุดมทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3785-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SYNTHESIS OF ETHYL ESTERS FROM CRUDE PALM OIL AND PALM STEARIN
USING ALKALI CATALYSTS



Miss Buachum Udomsap

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology
Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-3785-8

บัวชุม อุดมทรัพย์ : การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง. (SYNTHESIS OF ETHYL ESTERS FROM CRUDE PALM OIL AND PALM STEARIN USING ALKALI CATALYSTS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ธราพงษ์ วิจิตตานต์, 80 หน้า. ISBN 974-17-3785-8.

การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีนกับเอทานอลกระทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรหลักที่ศึกษาคือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่า น้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีนมีภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์เอสเทอร์ที่เหมือนกันคือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 12:1 อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 75 องศาเซลเซียส ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ร้อยละการเปลี่ยนของเอทิลเอสเทอร์ที่ดีที่สุดของน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีนคือ 87.79 และ 94.42 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เอทิลเอสเทอร์ที่ได้ทั้งจากน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีนมีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนช้า

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อนิสิต..... *บัวชุม อุดมทรัพย์*
สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *[ลายมือ]*
ปีการศึกษา.....2548.....

4672316923 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: ETHYL ESTER / ETHANOL

BUACHUM UDOMSAP : SYNTHESIS OF ETHYL ESTERS FROM CRUDE PALM OIL
AND PALM STEARIN USING ALKALI CATALYSTS. THESIS ADVISOR :
ASSOC.PROF.THARAPONG VITIDSANT, 80 pp. ISBN 974-17-3785-8.

The transesterification of crude palm oil and palm stearin with ethanol was carried out in a batch reactor by using sodium hydroxide as a catalyst. The major variables investigated were: molar ratio of ethanol/oil, amount of catalyst, reaction temperature and reaction time. The optimal condition to transesterify crude palm oil and palm stearin were similar as follows : 12:1 molar ratio of ethanol/oil, 75^oC of reaction temperature, 1% weight of sodium hydroxide and 60 minute reaction time. At this condition, the ethyl ester conversion of crude palm oil and palm stearin were 87.79 and 94.42 % weight respectively. The characteristics of ethyl esters from both crude palm oil and palm stearin were similar to low speed diesel.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Chemical Technology.....Student's signature.....*Buachum Udomsap*.....
Field of study..Chemical Technology.....Advisor's signature.....*T. Vitidsant*.....
Academic year....2005.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. ธรพงษ์ วิทิตสานต์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในงานวิจัยมาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอขอบคุณประธาน และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนด้านวิชาการตลอดมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านให้ความช่วยเหลือในการซ่อม สร้างเครื่องมือ และอำนวยความสะดวกในห้องปฏิบัติการ และที่ขาดไม่ได้คือ กำลังใจจากเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกคนที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือข้าพเจ้ามาตลอด

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนในด้านการเงินด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ

บทที่

1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
	1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	2
	1.5 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	2
2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 น้ำมันดีเซล.....	4
	2.2 น้ำมันพืช	5
	2.2.1 สมบัติเฉพาะทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช	7
	2.3 ปาล์มน้ำมัน.....	8
	2.4 เอทานอล	9
	2.5 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง.....	10
	2.5.1 การใช้น้ำมันพืชโดยตรง	10
	2.5.2 การปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง	11
	2.5.2.1 การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล (Blending).....	11
	2.5.2.2 การทำเป็นของผสมไมโครอิมัลชัน (Microemulsion).....	11
	2.5.2.3 การสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน (Pyrolysis).....	12
	2.6 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification).....	14
	2.7 จลนพลศาสตร์และกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	15
	2.8 ตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	16

บทที่	หน้า
2.8.1 อิทธิพลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ	16
2.8.2 ชนิดและร้อยละตัวเร่งปฏิกิริยา	18
2.8.3 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมล.....	19
2.8.4 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	19
2.8.5 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	20
2.9 สมบัติของไบโอดีเซล	20
2.10 กลีเซอรอล.....	21
2.11 สมบัติของน้ำมันดีเซล.....	22
2.11.1 คุณภาพการติดไฟ (Ignition quality).....	22
2.11.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, ASTM D1298)	23
2.11.3 ค่าความร้อนขั้นสูง (Higher heating value, ASTM D240)	23
2.11.4 ค่าความหนืด (Viscosity, ASTM D445).....	23
2.11.5 จุดเกิดหมอก (Cloud point, ASTM D2500-91).....	24
2.11.6 จุดเริ่มไหล (Pour point, ASTM D97).....	24
2.11.7 จุดวาบไฟ (Flash point, ASTM D93)	24
2.11.8 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur content, ASTM D2622).....	24
2.11.9 ปริมาณกากถ่าน (Carbon residue, ASTM D189)	24
2.11.10 เถ้า (Ash, ASTM D482)	24
2.12 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	29
3.1 รูปแบบการศึกษา.....	29
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	29
3.3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	31
3.4 วัตถุประสงค์.....	31
3.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	31
3.5.1 วิเคราะห์สมบัติสารตั้งต้น.....	31
3.5.2 ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง	32
3.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณเอทิลเอสเทอร์.....	33
3.5.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์.....	34

บทที่	หน้า
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....35
4.1	ผลการศึกษาศักยภาพสัตว์ตั้งต้นและน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว.....35
4.1.1	ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชตัวอย่าง ..35
4.2	ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....37
4.3	ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....38
4.3.1	ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำมันปาล์มดิบ.....38
4.3.2	ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในไบโพลีเมอร์.....40
4.4	ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อไขมัน44
4.5	ผลของการสังเคราะห์เอทิลเอสเตอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร.....46
4.6	ผลของการศึกษาศักยภาพเอทิลเอสเตอร์.....48
4.7	การเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น ๆ49
4.8	การเปรียบเทียบเอทิลเอสเตอร์ที่ได้จากน้ำมันส่วนต่าง ๆ ของปาล์มน้ำมัน..51
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....54
5.1	สรุปผลการทดลอง.....54
5.2	ข้อเสนอแนะ55
รายการอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก.....	61
ภาคผนวก ข.....	70
ภาคผนวก ค.....	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ข้อกำหนดลักษณะสมบัติและคุณภาพของน้ำมันดีเซลของประเทศไทย..... 4
2.2	คุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืช..... 5
2.3	ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันพืช..... 6
2.4	ค่าไอโอดีน สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ 7
2.5	ค่าไอโอดีนและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันปาล์มส่วนต่าง..... 9
2.6	ปัญหาหระยะสั้นและหระยะยาวที่เกิดจากการใช้ไบโอดีเซลชนิดผสม 12
2.7	ชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อนสำหรับการใช้ ก๊าซไนโตรเจนและอากาศเป็นก๊าซตัวกลาง 13
2.8	สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและน้ำมัน ละหุ่งด้วยความร้อน 13
2.9	สมบัติทางกายภาพและเคมีของเอสเทอร์จากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ 20
2.10	สมบัติทางเชื้อเพลิงของแอลคิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียริน 26
4.1	แสดงชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชตัวอย่าง..... 35
4.2	สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรินเทียบกับมาตรฐานน้ำมัน ดีเซล..... 36
4.3	สมบัติของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรินที่ได้เปรียบเทียบกับ มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนช้า และไบโอดีเซล..... 48
4.4	ภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนที่ได้จากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ 50
4.5	สมบัติของน้ำมันปาล์มเมล็ดใน น้ำมันปาล์มดิบ ไขปาล์มสเตียรินและเอทิลเอสเทอร์ที่ได้ .. 52
ก1	ค่าการกลั่น และค่าความหนาแน่นของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบ และ ไขปาล์มสเตียริน..... 69
ค1	ข้อมูลการทดลองจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้โซเดียม ไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง เอทานอลต่อน้ำมัน 9:1 75
ค2	ข้อมูลการทดลองจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 60 นาที..... 76

ตารางที่	หน้า
ค3	ข้อมูลการทดลองจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไฮปาล์มสเตียรินโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 60 นาที:.....77
ค4	ข้อมูลการทดลองจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบ และไฮปาล์มสเตียรินโดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99 โดยปริมาตร ที่ภาวะ โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 12:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 60 นาที.....78



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้าง (ก) น้ำมันพืช (ข) น้ำมันดีเซล	6
2.2 กลไกการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน	14
2.3 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	14
2.4 กลไกของปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	15
2.5 กลไกการเกิดปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	16
2.6 กลไกการเกิดปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา	17
2.7 กรดไขมันอิสระทำปฏิกริยากับตัวเร่งปฏิกริยาเบส.....	18
2.8 กรดไขมันอิสระทำปฏิกริยากับตัวเร่งปฏิกริยากรด	18
3.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	30
3.2 ภาพเครื่องหมุนเหวี่ยง	30
3.3 ภาพชุดอุปกรณ์ทดลอง	30
3.4 ลักษณะการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรอล (ก) ไชปาล์มสเตียรีน (ข) น้ำมันปาล์มดิบ	33
4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 9:1 ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในเวลาต่างๆ.....	37
4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลได้ที่อัตราส่วนโดย โมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกริยา 60 นาที.....	38
4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ใน ผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกริยา 60 นาที.....	39
4.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละการเปลี่ยน ที่อัตรา ส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศา เซลเซียส และเวลาทำปฏิกริยา 60 นาที.....	39
4.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลได้ที่อัตราส่วน โดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 ที่อุณหภูมิ 75 องศา เซลเซียส และเวลาทำปฏิกริยา 60 นาที.....	40

ภาพประกอบที่	หน้า
4.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที.....	41
4.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละการเปลี่ยน ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที.....	41
4.8 การเปรียบเทียบ ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสดเตียริน.....	43
4.9 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลได้ และปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ของน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที.....	44
4.10 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลได้ และปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ของไขปาล์มสดเตียริน โดยใช้ปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที.....	45
4.11 การเปรียบเทียบ ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตร ที่ภาวะเดียวกันของน้ำมันปาล์มดิบ.....	46
4.12 การเปรียบเทียบ ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตร ที่ภาวะเดียวกันของไขปาล์มสดเตียริน.....	47
ข1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานเอทิลปาล์มิเตต.....	73
ข2 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานเอทิลโอเลเอต.....	74
ข3 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานเอทิลไลโนเลเอต.....	74
ค1 แสดงโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานเอทิลเอสเทอร์.....	79

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสถานการณ์ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณมาก โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลมีสัดส่วนการใช้สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ราคาน้ำมันก็ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการวิจัย และพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศ เช่น น้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ น้ำมันพืชใช้แล้ว เป็นต้น มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใช้แทนน้ำมันดีเซล เรียกว่า ไบโอดีเซล ซึ่งการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน่าจะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงในด้านพลังงานของประเทศ รวมถึงช่วยลดมลพิษเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้นดังที่มีรายงานในต่างประเทศแล้ว [1]

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ หรือไขมันสัตว์ มาสกัดเอายางเหนียว และสิ่งสกปรกออก (Degumming) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เอทานอล หรือ เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เป็นกรดไขมันในรูปของแอลคิลเอสเทอร์ (Fatty acid alkyl ester) และได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง เป็นต้น โดยสมบัติของไบโอดีเซลขึ้นอยู่กับโครงสร้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช [2]

ประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชน้ำมันหลายชนิดใช้ในการบริโภค เช่น ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน ถั่วลิสง มะพร้าว ละหุ่ง เป็นต้น ในบรรดาพืชน้ำมันทั้งหมด ปาล์มน้ำมันมีปริมาณผลผลิตสูง และราคาถูก การนำปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้มากมายใช้ในอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน จึงเป็นอีกทางหนึ่งที่จะแก้ปัญหาราคาพืชผลเกษตรตกต่ำได้ นอกจากนี้ เอทานอลเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล และน่าสนใจมาก เนื่องจาก เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทางชีวภาพที่ได้จากการหมักผลผลิตทางการเกษตรประเภทแป้งและน้ำตาลต่างจากเมทานอลซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษ ประเทศไทยมีพืชที่เหมาะสมสามารถนำมาผลิตเอทานอลได้ถึง 3 ล้านลิตรต่อวัน คือ มันสำปะหลัง และกากน้ำตาล ทำให้กระทรวงแรงงานมีนโยบายสร้างโรงงานผลิตเอทานอลหลายแห่งทั่วประเทศ ซึ่งช่วยทำให้ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลลดลง [3]

เอทิลเอสเทอร์เป็นพลังงานอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ สำหรับประเทศที่สามารถผลิตเอทานอลได้ นอกจากเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากผลิตผลทางการเกษตรแล้ว เอทิลเอสเทอร์มีค่าความร้อน (Heat content) และค่าซีเทน (Cetane number) สูงกว่าเมทิลเอสเทอร์เล็กน้อย เนื่องจาก

มีคาร์บอนเพิ่มจากเอทานอล แต่มีค่าจุดหมอก (Cloud point) และค่าจุดไหลเท (Pour point) ต่ำกว่าเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในสภาพอากาศหนาว [4] ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงสนใจวัตถุดิบซึ่งเป็นผลิตผลภายในประเทศคือ น้ำมันปาล์มดิบ และไฮปาล์มสเตียรีนกับเอทานอล มาสังเคราะห์ไบโอดีเซลในระบบเบตซ์ระดับห้องทดลอง โดยศึกษาตัวแปรการเกิดเอทิลเอสเทอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันปาล์มต่อเอทานอล ร้อยละตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาของการเกิดปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้เทียบกับไบโอดีเซลมาตรฐาน

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบ และไฮปาล์มสเตียรีนกับเอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา
- 1.2.2. วิเคราะห์ปริมาณเอสเทอร์ชนิดต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ที่ได้

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มดิบและไฮปาล์มสเตียรีนกับเอทานอลซึ่งเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการขยายระดับการผลิตให้สูงขึ้น

1.4. ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1. ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มดิบ และไฮปาล์มสเตียรีนกับเอทานอล โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อาศัยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม เพื่อศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปของน้ำมันปาล์มไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวมวล
- 1.4.2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
- 1.4.3. วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ เทียบกับน้ำมันดีเซล ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น ค่าความร้อน ค่าซีเทน จุดวาบไฟ

1.5. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- 1.5.1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมเอทิลเอสเทอร์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

- 1.5.2. จัดหาอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย
- 1.5.3. วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มดิบและไฮปาล์มสเดียรินก่อนนำมาเตรียมเป็นเอทิลเอสเทอร์ ได้แก่ องค์ประกอบกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของน้ำมันปาล์ม ค่าความหนืด ค่าไอโอดีน และกรดไขมันอิสระ
- 1.5.4. การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมเพื่อศึกษาปัจจัยของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จากน้ำมันปาล์มกับเอทานอล
- 1.5.5. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเอทิลเอสเทอร์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยตัวแปรต่างๆ
- อุณหภูมิ (30-75 องศาเซลเซียส)
 - อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันปาล์มต่อเอทานอล (1 : 6 - 1 : 15)
 - ร้อยละตัวเร่งปฏิกิริยา (0.5-3 %โดยน้ำหนัก)
 - ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกไซด์)
 - เวลาต่างๆ ในการทำปฏิกิริยา (30-120 นาที)
- 1.5.6. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
- 1.5.7. ทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เช่น ความหนืด ความหนาแน่น ค่าความร้อน ค่าซีเทน จุดวาบไฟ เป็นต้น
- 1.5.8. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันดีเซล [5]

น้ำมันดีเซลเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบในช่วงจุดเดือด 150 ถึง 370 องศาเซลเซียส โดยประเภทของไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบอยู่ในน้ำมันดีเซล คือ พาราฟิน (Paraffin) แนฟทีน (Naphthene) โอลิฟิน (Olefin) และแอโรแมติก (Aromatic) ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 ถึง 18 ตัว ลักษณะสมบัติทั่วไปขึ้นอยู่กับประเภทของไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำมัน อาทิเช่น ไฮโดรคาร์บอนพวกพาราฟินทำให้สมบัติการจุดระเบิดหรือติดไฟได้เร็ว ตรงกันข้ามกับพวกแอโรแมติกจะติดไฟได้ช้า ซึ่งข้อกำหนดลักษณะสมบัติและคุณภาพของน้ำมันดีเซลของประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดลักษณะสมบัติและคุณภาพของน้ำมันดีเซลของประเทศไทย [6]

Property	ASTM Method	Limits		Units
		High Speed	Low Speed	
Cetane Index	D 613	47 min	45 min	-
Specific gravity at 15.6/15.6°C	D 1298	0.81-0.87	0.920max.	g/ml
Heating value	D 240	-	-	MJ/kg
Kinematic viscosity, 40 °C	D 445	1.8-4.1	8 max.	mm ² /s
Cloud point	D 2500-91	-	-	°C
Pour point	D 97	10max.	16max.	°C
Flash point	D 93	52 min	52 min	°C
Sulfur content	D 2622	0.035max.	1.5max.	wt.%
Carbon residue	D 189	0.05max.	-	wt.%
Ash content	D 482	0.01max.	0.02max.	wt.%

ปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงและการถดถอยของราคาน้ำมันดีเซลที่สูงขึ้น ทำให้มีการผลักดันให้ใช้น้ำมันพืชและไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันพืชสามารถให้พลังงานได้ จึงนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ โดยเฉพาะการแทนที่เชื้อเพลิงดีเซล

2.2 น้ำมันพืช [5]

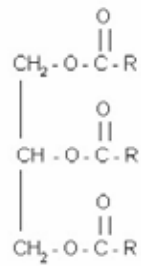
น้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride = TG) มีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมัน ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว สูตรโครงสร้างของน้ำมันพืชเทียบน้ำมันดีเซลแสดงดังรูปที่ 2.1 น้ำมันพืชและสัตว์ มีกรดไขมันชนิดต่าง ๆ กันเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้าง ถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้สมบัติทั้งทางเคมี และกายภาพของน้ำมันพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามสมบัติของกรดไขมันนั้น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืช [7]

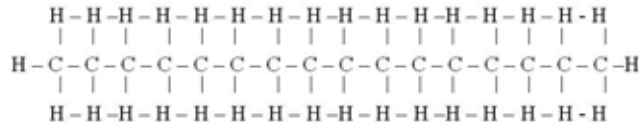
Name	Molecular Weight	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Heat of Combustion (kg-cal/mole)
Caprylic acid ; 8:0	144.22	16.5	239.3	-
Capric acid ; 10:0	172.27	31.5	270	1453.07
Lauric acid ; 12:0	200.32	44	131	1763.25
Myristic acid ; 14:0	228.38	58	250.5	2073.91
Palmitic acid ; 16:0	256.43	63	350	2384.76
Stearic acid ; 18:0	284.48	71	360	2696.12
Oleic acid ; 18:1	282.47	16	286	2657.4
Linoleic acid ; 18:2	280.45	-5	229-230	-
Linolenic acid ; 18:3	278.44	-11	230-232	-
Erucic acid ; 22:1	338.58	33-34	265	-

นอกจากกรดไขมันเหล่านี้ ยังมีกรดไขมันอื่น ๆ อีกมากที่พบในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์แต่มีในปริมาณน้อย ซึ่งน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ส่วนใหญ่แล้วมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว น้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลมีปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิด

แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 2.3 ดังนั้นค่าไอโอดีน สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันพืชแต่ละชนิดจึงแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 2.4



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้าง (ก) น้ำมันพืช (ข) น้ำมันดีเซล [8]

ตารางที่ 2.3 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันพืช [7]

Oil or Fat	Fatty Acid Composition (wt.%)							
	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	22:1
Babassu	44-45	15-17	5-9	2-5.5	12-16	1.4-3		
Canola			4-5	1-2	55-63	20-31	9-10	1-2
Coconut	44-51	13-18	7-10	1-3	5-8.2	1-2.6		
Corn			7-13	2-3	30-43	39-52	1	
Cottonseed		0.8-1.5	22-24	2.6-5	19	50-52		
Linseed			6	3-4	13-37	5-23	26-60	
Olive		1.3	7-18.3	1.4-3.3	55-84	4-19		
Palm		0.6-2.4	32-46	4-6.3	37-53	6-12		
Peanut		0.5	6-12.5	2.5-6	37-61	13-41		
Rapeseed		1.5	1-4.7	1-3.5	13-38	9.5-22	1-10	40-64
Safflower			6.4-7	2.4-29	9-13.8	75-80		
Safflower High-oleic			4-8	2.3-8	73-79	11-19		
Sesame			7.2-9.2	5.8-7.7	35-46	35-48		
Soybean			2.3-11	2.4-6	22-30.8	49-53	2-10.5	
Sunflower			3.5-6.5	1.3-5.6	14-43	44-68		
Tallow		3-6	25-37	14-29	26-50	1-2.5		

ตารางที่ 2.4 ค่าไอโอดีน สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ [7]

Oil or Fat	Iodine Value	Cetane Number	Heat of Combustion (kJ/kg)	Viscosity (mm ² /s) (38°C)	Cloud point (°C)	Pour point (°C)	Flash point (°C)
Babassu	10-18	38	-	30.3	20	-	150
Castor	82-88	-	39500	29.7	-	-31.7	260
Coconut	6-12						
Corn	103-140	37.6	39500	34.9	-1.1	-40.0	277
Cottonseed	90-119	41.8	39468	33.5	1.7	-15.0	234
Crambe	93	44.6	40482	53.6	10.0	-12.2	274
Linseed	168-204	34.6	39307	27.2	1.7	-15.0	241
Olive	75-94	49.3	39700	29.4	-	-	-
Palm	35-61	42	39550	39.6	31	-	267
Peanut	80-106	41.8	39782	39.6	12.8	-6.7	271
Rapeseed	94-120	37.6	39709	37.0	-3.9	-31.7	246
Safflower	126-152	41.3	39519	31.3	18.3	-6.7	260
Safflower High-oleic	90-100	49.1	39516	41.2	-12.2	-20.6	293
Sesame	104-120	40.2	39349	35.5	-3.9	-9.4	260
Sunflower	110-143	37.1	39575	37.1	7.2	-15.0	274
Tallow	35-48	-	40054	51.15	-	-	201
No.2 DF		47	45343	2.7	-15.0	-33.0	52

นอกจากสมบัติทางกายภาพและเคมี ยังมีสมบัติเฉพาะทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชที่ต้องคำนึงถึงในการนำน้ำมันพืชชนิดนั้น ๆ มาทำเชื้อเพลิง

2.2.1 สมบัติเฉพาะทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช [9, 10]

- ค่าแซพอนิฟิเคชัน (Saponification number) หมายถึงจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม เป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบถึงขนาดหรือน้ำหนักของโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันนั้น ไขมันหรือ

น้ำมันที่โมเลกุลประกอบด้วยกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหรือขนาดของโมเลกุลเล็ก หรือมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยจะมีค่าแซฟอนิฟิเคชันสูง ในทางตรงกันข้าม ไขมันหรือน้ำมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะให้ค่าแซฟอนิฟิเคชันต่ำ

- ค่ากรด (Acid value) เป็นจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมัน 1 กรัม สะเทินพอดี กรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันก็เนื่องมาจากการสลายตัวของกลีเซอไรด์ทางเคมีหรือโดยการกระทำของแบคทีเรีย ซึ่งกรดไขมันจะมีความว่องไวกว่าโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์

- ค่าไอโอดีน (Iodine value) หมายถึง จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซึมโดยน้ำมัน 100 กรัม เป็นดัชนีบ่งชี้การเกิดพอลิเมอไรซ์มากหรือน้อย ถ้าค่าตัวเลขไอโอดีนสูงการเกิดพอลิเมอไรซ์จะสูงด้วย ถ้าค่าตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันพืชต่ำถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงก็จะป้องกันการเกิดพอลิเมอไรซ์ของน้ำมันพืชในเครื่องยนต์ได้

2.3 ปาล์มน้ำมัน [11]

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6-0.8 ตัน/ไร่/ปี และมีราคาต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น น้ำมันปาล์มเกิดขึ้นจากผลปาล์ม 2 ส่วน คือ จากเปลือกหุ้มภายนอก และจากเมล็ดในปาล์ม ซึ่งน้ำมันเมล็ดในปาล์มประกอบด้วย กรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 85-90 ทำให้ไม่เหมาะต่อการบริโภค จึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำสบู่ เครื่องสำอาง ผงซักฟอก และเรซิน เป็นต้น ส่วนน้ำมันจากเปลือกของปาล์มหรือน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วย กรดไขมันที่อิ่มตัว (กรดปาล์มิติก และกรดสเตียริก) ร้อยละ 50 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (กรดโอเลอิก) ร้อยละ 40 วิตามินเอ และวิตามินอี ดังนั้น น้ำมันปาล์มดิบมีลักษณะเป็นของเหลวผสมกับของแข็ง ซึ่งการนำน้ำมันปาล์มดิบมาผลิตไบโอดีเซลจะช่วยลดต้นทุนในการสกัดลงได้ แต่ถ้านำน้ำมันปาล์มดิบมาสกัดแยก ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน (palm olein) ร้อยละ 61 โดยใช้เป็นน้ำมันพืชบริโภคเป็นหลัก อีกส่วนคือ ไชปาล์มสเตียรีน (palm stearin) ร้อยละ 39 ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเนยเทียม ไขมันผสม และสบู่ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณผลผลิต และสมบัติของน้ำมันพืช น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และปาล์มสเตียรีน มีแนวโน้มสูงที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีความต้องการเป็นอาหารน้อยกว่าน้ำมันชนิดอื่นและช่วยลดปัญหาเรื่องล้นตลาดของปาล์มสเตียรีนด้วย

2.3.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มมีกรดปาล์มติกและกรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลัก ปริมาณของกรดไขมันมีผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์ม ค่าไอโอดีน ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มส่วนต่าง ๆ แสดงดังตาราง 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าไอโอดีนและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันปาล์มส่วนต่าง ๆ [12]

Oil	Iodine		Fatty Acid Composition (%wt)					
	Value	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Crude palm oil	14.1-21	ND-0.5	0.5-2	39.3-47.5	3.5-6	36-44	9-12	ND-0.5
Palm olein	> 56	0.1-0.5	0.5-1.5	38-43.5	3.5-5	39.8-46	10-13.5	ND-0.6
Palm stearin	< 48	0.1-0.5	1.0-2.0	48-74	3.9-6.0	15.5-36	3.0-10	0.5
Palm kernel oil	50-55	45-55	14-18	6.5-10	1.0-3.0	12-19	1.0-3.5	ND-0.2

2.4 เอทานอล [13]

เอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) เป็นพลังงานทดแทนอย่างหนึ่ง ลักษณะของเอทานอลจะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีสูตรทางเคมีคือ C_2H_5OH เอทานอลผลิตจากพืชจำพวกเซลลูโลสและพืชจำพวกแป้ง ปัจจุบันประเทศไทยผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และมันสำปะหลัง ซึ่งมีการนำเอทานอลร้อยละ 10 ผสมกับน้ำมันเบนซินใช้กับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และเอทานอลร้อยละ 10-15 ผสมกับน้ำมันดีเซล ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กและเครื่องจักรกลการเกษตรโดยใช้ในโครงการสาธิต โครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดา นอกจากนี้ ยังมีการส่งเสริมให้ใช้เอทานอลเป็นสารเคมีเพิ่มออกเทน (Octane) แก่เครื่องยนต์ โดยการเปลี่ยนรูปเอทานอลมาเป็นสาร ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether) สามารถใช้ทดแทนสาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ซึ่ง MTBE เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเบนซินที่หลายประเทศประกาศห้ามใช้เนื่องจากก่อให้เกิดมลภาวะในอากาศที่สูงกว่าสารเติมแต่งอื่นๆ

เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการหมักพืช เศษซากพืช เพื่อเปลี่ยนแป้งหรือเซลลูโลสจากพืชให้เป็นน้ำตาลแล้วเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปกลั่นแยกแบบลำดับส่วน จะได้แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร ในกรณีที่ต้องนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซฮอล์ และดีโซฮอล์ จะต้องแยกส่วนน้ำออกอีกประมาณร้อยละ 4 โดยปริมาตร เพื่อให้ได้เอทานอลไร้น้ำหรือเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 99 โดยปริมาตร

2.5 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง [14, 15]

2.5.1 การใช้น้ำมันพืชโดยตรง

ประโยชน์ของการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง คือ

- เป็นของเหลวโดยธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านการปรับปรุง
- น้ำมันพืชมีค่าความร้อน (heat content) สูงและเป็นพืชผลทางการเกษตร
- มีปริมาณกำมะถันและสารแอมโมเนียต่ำ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

ธรรมชาติ

แต่การใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงนำมาซึ่งปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชนิดและคุณภาพของน้ำมัน

- ความหนืดที่สูงของน้ำมันพืช (high viscosity) ทำให้ระบบหัวฉีดของเครื่องยนต์ทำงานอย่างหนักและได้หยดของน้ำมันขนาดใหญ่ ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดในการจุดระเบิดแต่ละครั้ง ซึ่งจะเกิดการสะสมจนเป็นคราบเขม่าจนทำให้ลูกสูบเกิดความเสียหายได้
- จุดวาบไฟที่สูงของน้ำมันพืช ทำให้ความสามารถในการระเหยต่ำ (low volatility) ทำให้การจุดระเบิดต้องใช้อุณหภูมิสูงในตอนเริ่มเดินเครื่อง
- ความไม่อิ่มตัวของน้ำมันพืช (polyunsaturated character) ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างพันธะคู่ในโมเลกุลของน้ำมันพืช เกิดเป็นยางเหนียวทำให้กระบอกสูบและลูกสูบเสียหาย

ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้โดยการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ดีโดยผ่านกระบวนการต่าง ๆ ได้

2.5.2 การปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

ปัญหาที่เกิดจากการใช้น้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซล คือ ความหนืดสูง (high viscosity) ค่าการระเหยได้ต่ำ (low volatility) และมีลักษณะเฉพาะของสารที่มีพันธะไม่อิ่มตัวหลายพันธะ (polyunsaturated character) ซึ่งสามารถแก้ปัญหที่เกิดขึ้นได้โดยการปรับปรุงน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดังต่อไปนี้

2.5.2.1 การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล (Blending)[5,14]

การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลหรือผสมกับตัวทำละลายอื่น ๆ เช่น เอทานอล โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสม การผสมน้ำมันดอกทานตะวันกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร และนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่า น้ำมันผสมที่ได้มีความหนืด 4.88 เซนติสโตก ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และไม่เหมาะกับการใช้งานระยะยาวในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากเกิดโค้กที่หัวฉีด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดอกคำฝอยกับน้ำมันดีเซล พบว่าไม่เหมาะกับการใช้งานระยะยาวเช่นกัน เนื่องจาก ทำให้เกิดการเหนียวติดของน้ำมันหล่อลื่น และการผสมของน้ำมันถั่วเหลืองกับตัวทำละลาย (ร้อยละ 48 พาราฟินผสมร้อยละ 52 แนฟทาลิน) ในอัตราส่วน 1:1 พบว่ามีความหนืด 5.12 เซนติสโตกที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์ มีคาร์บอนเกาะติดที่วาล์วและหัวฉีด การใช้น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลโดยตรงนั้น จะมีปัญหาอันเนื่องมาจากความหนืดและสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้เกิดผลทั้งระยะสั้นและระยะยาว ปัญหาและการแก้ไขแสดงดังตารางที่ 2.6

2.5.2.2 การทำเป็นของผสมไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) [16]

การใช้เทคนิคไมโครอิมัลชัน เป็นการกระจายของอนุภาคของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งอย่างสมดุล ด้วยการผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้น เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล ซึ่งของเหลวทั้งสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะกระจายตัวอยู่ได้ด้วยสารลดแรงตึงผิว วิธีนี้สามารถปรับปรุงลักษณะที่เป็นละอองฝอยจากหัวฉีด เนื่องจากตัวทำละลายมีจุดเดือดต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชและพบว่าไมโครอิมัลชันของน้ำมันพืชที่ผสมเมทานอลจะได้เชื้อเพลิงที่มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซล การทำไมโครอิมัลชันของ 2- ออกทานอล เมทานอล ไตรโอดลิน และน้ำมันถั่วเหลือง [17] ในอัตราส่วน 52.7:13.3:33.3:1 แต่เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่า มีปัญหาการเกิดคราบคาร์บอนที่หัวฉีดและวาล์วจำนวนมาก

ตารางที่ 2.6 ปัญหาระยะสั้นและระยะยาวที่เกิดจากการใช้ไบโอดีเซลชนิดผสม [1]

Problem	Probable cause	Potential solution
Short-term		
1.Cold weather starting	High viscosity, low cetane and low flash point	Preheat fuel prior to injection.
2.Plugging and gumming of filters, lines and injectors	Natural gums in vegetable oil. Other ash	Partially refine the oil to remove gums. Filter to 4 microns.
3.Engine knocking	Very low cetane of some oils. Improper injection timing.	Adjust injection timing. Use higher compression engines. Preheat prior to injection.
Long-term		
4.Coking of injectors on piston and head of engine	High viscosity of vegetable oil, incomplete combustion of fuel.	Heat fuel prior to injection. Switch engine to diesel fuel when operation at part loads
5.Carbon deposits on piston and head of engine	High viscosity of vegetable oil, incomplete combustion of fuel.	Heat fuel prior to injection. Switch engine to diesel fuel when operation at part loads

2.5.2.3 การสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน (Pyrolysis) [5,16,18]

ปฏิกิริยาการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน (pyrolysis) คือ การเปลี่ยนแปลงสารจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง โดยใช้ความร้อน และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยไม่มีแก๊สออกซิเจนหรืออากาศ การเปลี่ยนแปลงแบบนี้เป็นไปด้วยความสลับซับซ้อนและมีการเกิดเป็นสารได้หลาย ๆ ชนิดพร้อมกัน [5] ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงกลุ่มดีเซลเป็น

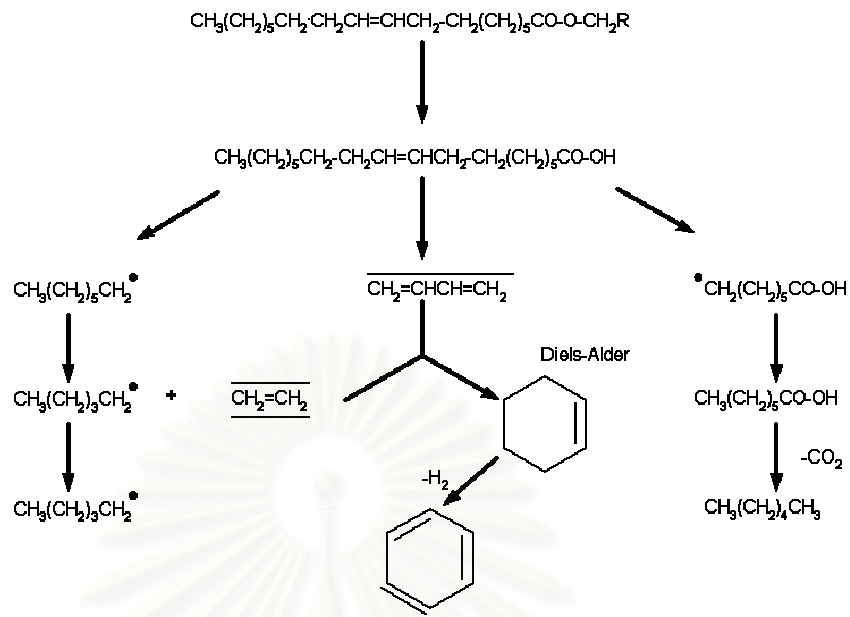
ส่วนใหญ่มีก๊าซโซลีนและเคโรซีนบ้างเล็กน้อย ชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันพืชที่ผ่านการสลายด้วยความร้อนสำหรับการใช้ก๊าซในโตรเจนและอากาศเป็นก๊าซตัวกลาง แสดงดังตารางที่ 2.7 ซึ่งผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ คือ แอลเคน (alkanes) และแอลคีน (alkenes) ประมาณร้อยละ 60 ของน้ำหนักสารทั้งหมด นอกจากนี้ยังได้กรดคาร์บอกซิลิก ประมาณร้อยละ 9.6-16.1 กลไกการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อนแสดงดังรูปที่ 2.2 สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและน้ำมันละหุ่งด้วยความร้อนแสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 ชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อนสำหรับการใช้ก๊าซในโตรเจนและอากาศเป็นก๊าซตัวกลาง [16]

Compound	High oleic acid sunflower oil		Soybean oil	
	N ₂ sparge	Air	N ₂ sparge	Air
Alkanes	37.5	40.9	31.1	29.9
Alkenes	22.2	22.0	28.3	24.9
Alkakienes	8.1	13.0	9.4	10.9
Carboxylic acids	11.5	16.1	12.2	9.6
Unresolved unsaturates	9.7	10.1	5.5	5.1
Aromatics	2.3	2.2	2.3	1.9
Unidentified	8.7	12.7	10.9	12.6

ตารางที่ 2.8 สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันละหุ่งด้วยความร้อน [18]

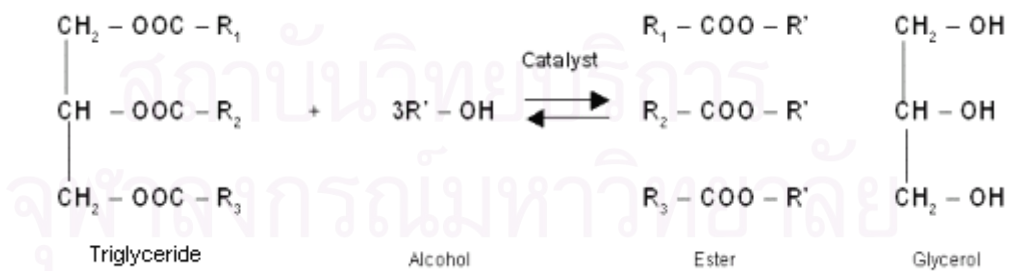
Properties	Cracked vegetable oil			Diesel fuel	ASTM
	Soybean	Palm	Castor		
Cetane number	50.1	52.7	30.9	45	D613
Density at 20 °C, (g/ml)	0.844	0.818	0.882	0.82-0.88	D1298
Viscosity, 40 °C, cSt	3.5	2.7	3.7	2.5-5.5	D445
Acid index	116.2	133.0	207.5	-	D465-9
Sulfur, (wt.%)	0.008	0.010	0.013	0.2	D1552



รูปที่ 2.2 กลไกการสลายน้ำมันพืชด้วยความร้อน [5]

2.6 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) [19]

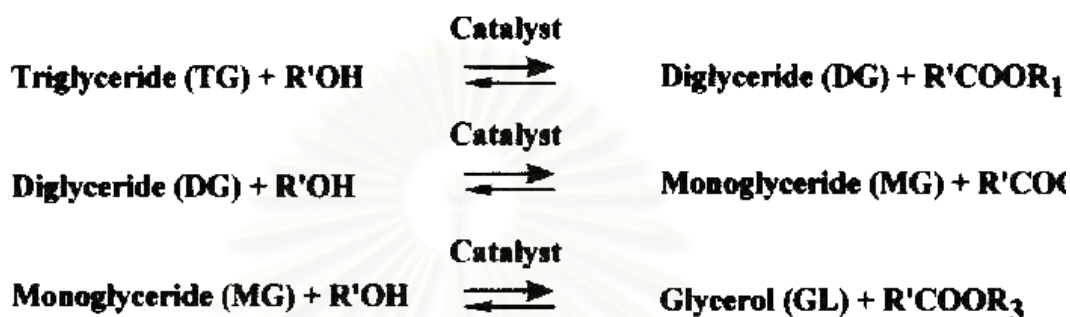
ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นการทำปฏิกริยาระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่มีกรดไขมัน ปฏิกริยาเป็นชนิดย้อนกลับได้ (reversible) ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีตัวเร่งปฏิกริยาและต้องใช้อัลกอฮอล์มากกว่าที่คำนวณได้จากปฏิกริยารูปที่ 2.3 ซึ่งตัวเร่งปฏิกริยาสามารถใช้ได้ทั้งเบส กรด และเอนไซม์



รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [20]

2.7 จลนพลศาสตร์และกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [19]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ทำให้ได้แอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอล เมื่อตั้งผลิตภัณฑ์เพื่อให้เกิดการแยกชั้น กลีเซอรอลที่ได้จะอยู่ชั้นล่าง ไตรกลีเซอไรด์และมอนอกลิเซอไรด์เป็นตัวกลางในปฏิกิริยา กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแสดงดังรูปที่ 2.4

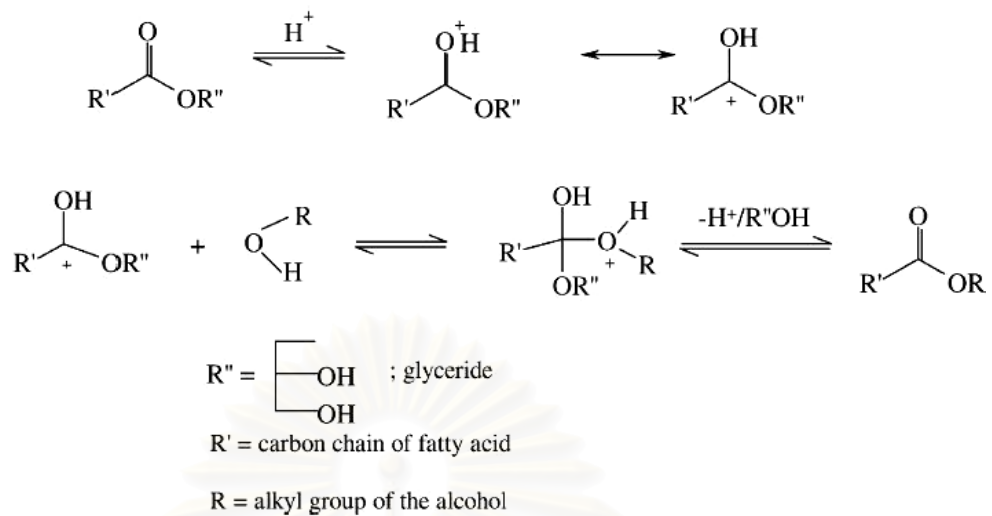


รูปที่ 2.4 กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [21]

ปฏิกิริยาเป็นชนิดย้อนกลับได้ แอลกอฮอล์ที่มากเกินไปช่วยผลักดันไปข้างหน้าเพื่อเกิดผลิตภัณฑ์เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.5 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของมอนอกลิเซอไรด์ซึ่งปฏิกิริยาเริ่มจากที่ตำแหน่งคาร์บอนิลเกิดโปรโตเนชัน (protonation) เปลี่ยนไปเป็นลักษณะของคาร์โบเคชัน (carbocation) หลังจากนั้นแอลกอฮอล์ที่มีสมบัติเป็นนิวคลีโอไฟล์จะเข้าไปชนที่ตำแหน่งคาร์โบเคชัน เกิดการจัดโครงสร้างใหม่ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ และกลีเซอรอล [19]

การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดเร็วกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มจากตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปดึงไฮโดรเจนจากแอลกอฮอล์เกิดเป็นแอลคอกไซด์ไอออนซึ่งเป็นนิวคลีโอไฟล์จะเข้าไปชนที่กลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl group) เกิดการจัดโครงสร้างใหม่เปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์ และกลีเซอรอล [19]



รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [19]

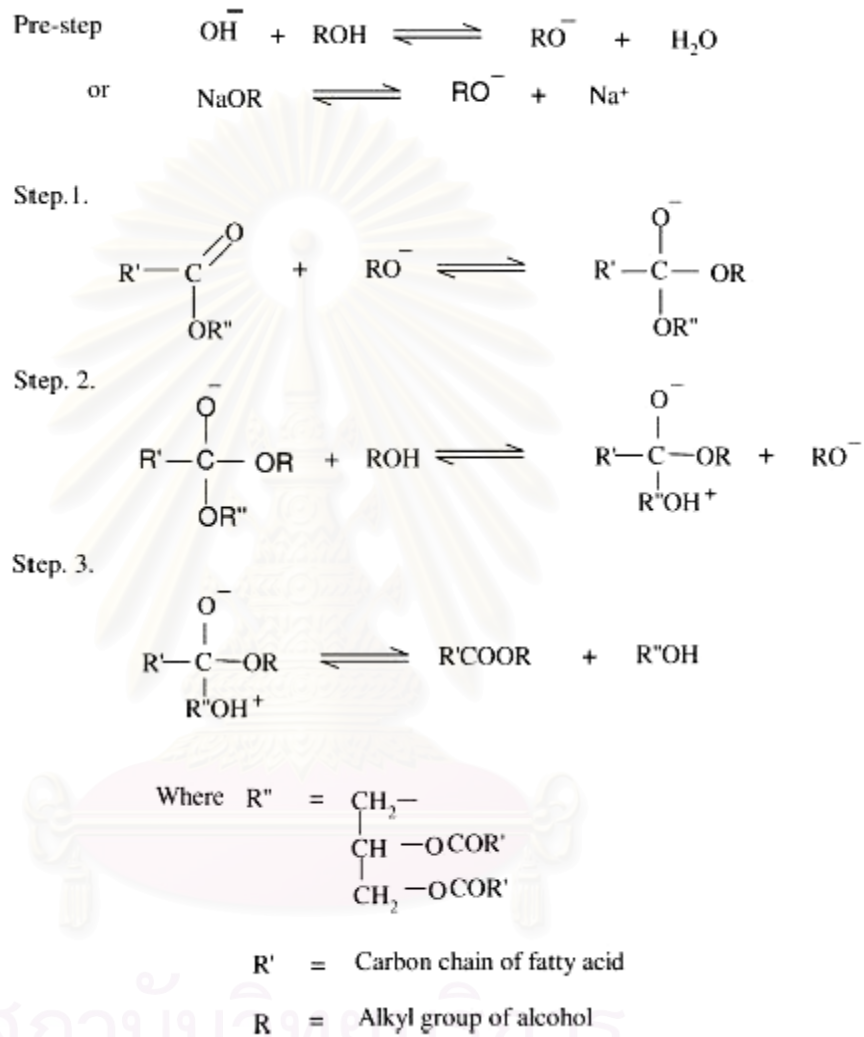
2.8 ตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [19]

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ ปริมาณน้ำและกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ชนิดและร้อยละตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมัน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

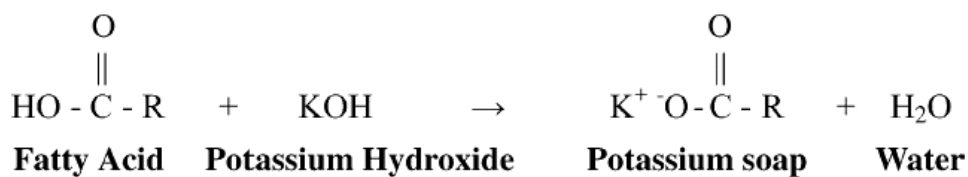
2.8.1 อิทธิพลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

สมบัติของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันพืชตั้งต้นควรมีค่ากรดต่ำกว่า 1 และสารตั้งต้นทุกอย่างควรจะไม่มีน้ำ ปฏิกิริยาที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าค่ากรดมากกว่า 1 ต้องใช้ปริมาณเบสมากขึ้น เพราะต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาสะเทินกรดไขมันอิสระ น้ำและเบสเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสบู่ สบู่ที่เกิดทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้น เกิดเป็นเจลและทำให้การแยกชั้นของกลีเซอรอลยากขึ้น [21] มีการศึกษาผลกระทบของกรดไขมันอิสระและน้ำต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันวัวกับเมทานอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [22] พบว่า เมื่อไม่มีกรดไขมันอิสระและน้ำในปฏิกิริยาทำให้ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุด เมื่อทำการเติมกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.6 ทำให้ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ต่ำที่สุด ต่ำกว่าร้อยละ 5 ที่ปริมาณน้ำต่าง ๆ กัน และเมื่อทำการเติมน้ำร้อยละ 0.9 โดยไม่เติมกรดไขมันอิสระทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 17 ถ้าคุณภาพของน้ำมันพืชต่ำ คือ มีปริมาณกรดไขมันอิสระมาก เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเบสลงไป กรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาเบสเกิดเป็นสบู่และน้ำ [23] ปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.7 ดังนั้น

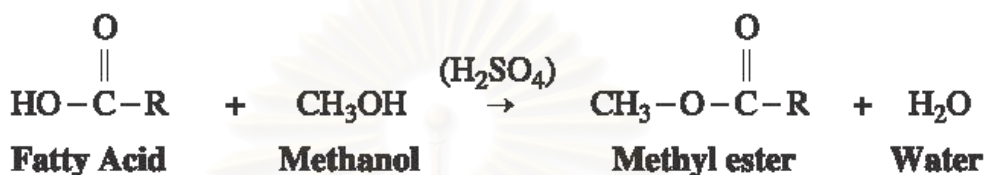
ก่อนที่จะนำน้ำมันพืชมาใช้ผลิตไบโอดีเซลควรทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง โดยการทำปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมันพืชมีค่ากรดสูงมาก ๆ ควรใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ [23]



รูปที่ 2.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [19]



รูปที่ 2.7 กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาเบส [23]



รูปที่ 2.8 กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยากรด [23]

2.8.2 ชนิดและร้อยละตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเป็นได้ทั้ง เบส กรดและเอนไซม์ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดได้เร็วกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เบสที่ใช้กันประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ โซเดียมเอไมด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมเมทอกไซด์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงและมีน้ำมาก ควรใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กรดที่ใช้ควรเป็นกรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟอนิกของสารอินทรีย์ [19] ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันวักับเมทานอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมเมทอกไซด์มีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ [22] เพราะข้อสมมติฐานที่ว่าน้ำเกิดขึ้นระหว่างการผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอล ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันใช้แล้วกับเมทานอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 ของน้ำหนักน้ำมัน พบว่า โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักน้ำมัน ทำให้ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดและมีความหนืดต่ำที่สุด [24]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันใช้แล้วโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, และ 2.25 โมลาร์ ในปริมาณแอลกอฮอล์มากเกินพอ และใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 3 ชั่วโมง

จึงจะเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.25 โมลาร์ทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลงอย่างมาก [25]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้อัตราเอสเทอร์สูง ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้น เกิดการกัดกร่อนน้อยกว่ากรด จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในระดับการผลิตขนาดใหญ่

2.8.3 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมล

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลกับน้ำมัน เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดสำหรับอัตราการเกิดแอลคิลเอสเทอร์ มวลสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ต้องการแอลกอฮอล์ 3 โมล และไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล เพื่อให้ได้เอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมล กับกลีเซอรอล 1 โมล อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเข้าสู่สมดุลต้องใช้ปริมาณแอลกอฮอล์มากเกินไปเพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้า อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืชที่สูงมีผลต่อการแยกชั้นเนื่องจาก ปริมาณแอลกอฮอล์มากทำให้มีน้ำอยู่ในปฏิกิริยามากตามไปด้วยไม่ว่าจะเป็นน้ำที่มีอยู่ในแอลกอฮอล์อยู่แล้วหรือน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา ซึ่งน้ำจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระหรือผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ และเกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันตามมา ทำให้ได้เกลือของกรดไขมันหรือสบู่เกิดขึ้น ดังนั้น ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ที่ได้จึงลดลง และการแยกชั้นก็ยากขึ้น [26] ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันคาโนลากับเอทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง 3:1 ถึง 15:1 ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลเพิ่มขึ้นจนถึงอัตราส่วนโดยโมลที่ 12:1 ภาวะที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนโดยโมลที่ 9:1 และ 12:1 สำหรับอัตราส่วนโดยโมลที่ต่ำกว่า 6:1 ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์และอัตราส่วนโดยโมลที่ 15:1 พบว่า การแยกชั้นของกลีเซอรินเกิดขึ้นได้ยากและผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ที่ได้ลดลง [4]

2.8.4 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับน้ำมันพืชที่ใช้ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันบริสุทธิ์กับเมทานอล (6:1) และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 60 45 และ 32 องศาเซลเซียส [27] พบว่า หลังจาก 6 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ร้อยละ 94 87 และ 64 ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 และ 45 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ต่ำกว่า แสดงว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

2.8.5 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเปลี่ยนเป็นแอลคิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง ภายใต้ภาวะอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันที่ 6 : 1 และใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวัน ได้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ประมาณร้อยละ 80 และเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันทั้ง 4 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 93-98 [27]

ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันวัวกับเมทานอลพบว่า ปฏิกริยาเกิดช้ามากระหว่าง 1 นาทีแรก เนื่องจากการผสม และการกระจายตัวของเมทานอลในไขมันวัวที่ยังไม่ดีพอ แต่หลังจาก 1 ถึง 5 นาที ปฏิกริยาเกิดเร็วมาก ซึ่งปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 15 นาที [28]

2.9 สมบัติของไบโอดีเซล

สมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ควรใกล้เคียงกับสมบัติของน้ำมันดีเซล คือ ความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและมีความคงตัวมากขึ้น นั่นคือ ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง จุดวาบไฟของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้ว ค่าซีเทนที่เป็นดัชนีบอกถึงคุณภาพการติดไฟของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลด้วย ซึ่งสมบัติทางกายภาพและเคมีของเอสเทอร์จากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเอสเทอร์จากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ [10, 29]

Ester	Cetane Number	Heat of Combustion (kJ/kg)	Viscosity (mm ² /s)	Cloud point (°C)	Pour point (°C)	Flash point (°C)
<i>Methyl</i>						
Canola	-	40070	3.79(40°C)	-1	-9	-
Cottonseed	51.2	-	6.8 (21°C)	-	-4	110
Linseed	-	40000	3.32(40°C)	0	-9	-
Rapeseed	54.4	40449	6.7 (40°C)	-2	-9	84

Ester	Cetane Number	Heat of Combustion (kJ/kg)	Viscosity (mm ² /s)	Cloud point (°C)	Pour point (°C)	Flash point (°C)
<i>Methyl</i>						
Palm	-	39700	4.4(40°C)	16	15	178
Safflower	49.8	40060	-	-	-6	180
Soybean	46.2	39800	4.08(40°C)	2	-1	171
Sunflower	46.6	39800	4.22(40°C)	-	-4	-
<i>Ethyl</i>						
Canola	-	40.41	3.91(40°C)	-1	-6	-
Linseed	-	39.65	3.64(40°C)	-2	-6	-
Sunflower	-	39.80	4.40(40°C)	-1	-5	-
Rapeseed	-	40.97	7.60	-2	-15	-
Palm	56.2	39700	4.5 (37°C)	8	6	-
Soybean	48.2	40000	4.41(40°C)	1	-4	174
Tallow	-	-	-	15	12	-
<i>Isopropyl</i>						
Canola	-	40400	6.24(40°C)	7	-12	-
Linseed	-	39560	4.88(40°C)	3	-12	-
Palm	-	40400	5.2(40°C)	7	6	-
<i>n-Butyl</i>						
Canola	-	40240	4.39(40°C)	-6	-16	-
Linseed	-	40380	4.06(40°C)	-10	-13	-
Soybean	51.7	40700	5.24(40°C)	-3	-7	185

2.10 กลีเซอรอล [30]

กลีเซอรอล (กลีเซอริน หรือ 1, 2, 3 propanetriol หรือ 1, 2-3-trihydroxy propane) บริสุทธิ์เป็นของเหลว มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความข้นหนืด มีจุดหลอมละลาย (melting point) ที่ 17.8 องศาเซลเซียส ค่าจุดเดือดเท่ากับ 290 องศาเซลเซียส สามารถติดไฟได้ เป็นสารประเภท Trihydric alcohol เนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทำให้ละลายได้ดีในน้ำ แอลกอฮอล์ และละลายได้บ้างในตัวทำละลายชนิดอื่น ยกเว้น พวกไฮโดรคาร์บอน

สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีและให้สารอนุพันธ์ (derivatives) หลากหลายชนิด ดังนั้นกลีเซอรอล จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท สำหรับสมบัติของกลีเซอรอลที่สำคัญมีดังนี้

- กลีเซอรอลไม่สามารถถูกออกซิไดส์จึงมีความคงตัวสูง (high stability)
- ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี และกลิ่นรสเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน
- ละลายได้ดีในน้ำ และแอลกอฮอล์ จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานหลายอย่าง
- มีความข้นหนืดจึงสามารถนำไปใช้เป็นสาร thickening หรือสารเพิ่ม body สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและที่มีลักษณะเป็นเจล
- มีรสหวานเล็กน้อย ไม่มีกลิ่นรุนแรงจึงนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานได้ดี
- มีสมบัติเป็นตัว plasticizer ช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงความนุ่มนวล มีความหยุ่นตัวดี (flexibility) มีลักษณะเป็น creaminess และยังช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์อีกด้วย
- มีความดันไอต่ำและไม่ระเหยที่อุณหภูมิปกติ เป็นสารไม่มีพิษต่อระบบการย่อยอาหาร ผิวหนังและเนื้อเยื่ออ่อน ๆ

กลีเซอรอลจัดอยู่ในรายการของสารที่มีสมบัติหลากหลาย จึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น ผลิตภัณฑ์ดูแลรักษาช่องปาก อาหาร ยาและเครื่องสำอาง เป็นต้น

2.11 สมบัติของน้ำมันดีเซล [31, 32]

สมบัติที่สำคัญของที่ควรคำนึงถึงของน้ำมันดีเซล มีดังนี้คือ

2.11.1 คุณภาพการติดไฟ (Ignition quality) สมบัติในการติดไฟของน้ำมันดีเซล จะแสดงถึงความสามารถในการติดเครื่องยนต์ได้เร็วเมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ การป้องกันการน็อกในเครื่องยนต์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ การเผาไหม้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง สมบัติต่าง ๆ เหล่านี้อาจแสดงออกมาเป็นค่าซีเทนัมเบอร์ (Cetane Number) หรือค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index)

ก. ค่าซีเทน (Cetane Number, ASTM D613) คือ ตัวเลขที่บอกถึง ignition delay ของน้ำมันที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องยนต์มาตรฐาน โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงสองชนิด คือ ซีเทน (n-cetane) ให้ค่าซีเทนเท่ากับ 100 และ Heptamethylnonane ให้ค่าซีเทนเท่ากับ 15 โดย

$$\text{Cetane no.} = \%n - \text{cetane} + (0.15) (\% \text{Heptamethylnonane})$$

หากค่า Ignition delay สั้น ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลจะยิ่งสูงขึ้น ปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมในห้องเผาไหม้จะลดลงก่อนการลุกติดไฟ ดังนั้น น้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูง

จะทำให้การควบคุมการเผาไหม้ทำได้ดีขึ้นเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้น

- ข. ค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index, ASTM D86) แสดงคุณภาพในการติดไฟของน้ำมันดีเซล หาได้จากค่าความถ่วง API และอุณหภูมิของการกลั่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือจุดกลางของการเดือด (mid.boiling point) ค่าทั้งสองนี้จะหาได้จากสมการที่ 2.1

$$CI = -420.34 + 0.016G^2 + 0.192G \log T_{50} + 65.01(\log T_{50})^2 - 1.809 \times 10^{-4} T_{50}^2 \quad (2.1)$$

โดย T_{50} คือ ค่าอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ($^{\circ}F$)

G คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ API

2.11.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, ASTM D1298) คือ อัตราความหนาแน่นของสารต่อความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่มีปริมาตรเท่ากัน และที่อุณหภูมิเดียวกัน สถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกาได้ตั้งมาตรฐานความถ่วง API ขึ้นเพื่อใช้วัดคุณภาพของน้ำมัน โดยเทียบกับความถ่วงจำเพาะ ดังสมการที่ 2.2

$$API \text{ Gravity} = \frac{141.5}{Sp.Gr. 60/60^{\circ}F} - 131.5 \quad (2.2)$$

ความสำคัญของการหาความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน คือ ใช้ในการคำนวณหาปริมาณและน้ำหนัก ช่วยแสดงชนิดของน้ำมันพื้นฐานและถ้าความถ่วงผิดไปจากเดิม แสดงว่าอาจมีการปนกันระหว่างน้ำมันต่างชนิด

2.11.3 ค่าความร้อนขั้นสูง (Higher heating value, ASTM D240) คือ ปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงปลดปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งค่าความร้อนขั้นสูงจะรวมความร้อนจากการควบแน่นไอน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยา และความร้อนของเชื้อเพลิงด้วย ค่านี้แสดงถึงพลังงานสูงสุดของเครื่องยนต์ที่สามารถเป็นไปได้ในทางทฤษฎี เนื่องจาก ในเครื่องยนต์จริงต้องมีการสูญเสียไม่ว่าจากแรงเสียดทาน การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ หรืออื่น ๆ โดยทั่วไปค่านี้จะนิยามวัดด้วยมาตรฐาน ASTM D4809 สำหรับน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่งและตามมาตรฐาน ASTM D4868 สำหรับน้ำมันดีเซลที่ใช้กับเครื่องจักรในโรงงาน แต่จะมีค่าประมาณ 13400 ถึง 14800 Btu/gal

2.11.4 ค่าความหนืด (Viscosity, ASTM D445) หรือความข้นใสของน้ำมันดีเซลจะมีอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีดและมีผลต่อการทำงานของปั๊ม และหัวฉีด เพราะถ้าใสเกินไปหรือข้นเกินไปจะฉีดเป็นฝอยได้ไม่ค่อยดี เป็นผลเสียต่อการเผาไหม้ทำให้กำลังตก และเกิดควันดำ เครื่องยนต์รอบต่ำสามารถใช้น้ำมันที่มีความหนืดสูงกว่าเครื่องยนต์รอบสูง น้ำมันดีเซลหมุนเร็วจะกำหนดค่าความข้นใสอยู่ระหว่าง 1.8-4.1 เซนติสโตก

2.11.5 จุดเกิดหมอก (Cloud point, ASTM D2500-91) คือ อุณหภูมิที่ไขของน้ำมันดีเซลรวมตัวจนสามารถมองเห็นเป็นกลุ่มคล้ายหมอกได้ ทำได้โดยการใส่น้ำมันดีเซลไว้ในภาชนะใส แล้วลดอุณหภูมิด้วยอัตราคงที่ จนสามารถมองเห็นกลุ่มหมอกได้ โดยทั่วไปจุดเกิดหมอกจะมีค่าประมาณ 10 ถึง -20 องศาเซลเซียส

2.11.6 จุดเริ่มไหล (Pour point, ASTM D97) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้เมื่อได้รับความเย็น ที่อุณหภูมิต่ำ องค์ประกอบที่เป็นพวกวาราฟินของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วอาจจะแยกตัวออกเป็นไข ทำให้อุดตันทางเดิน และหม้อกรองของน้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ทำงานผิดปกติ

2.11.7 จุดวาบไฟ (Flash point, ASTM D93) คือ อุณหภูมิที่น้ำมันได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอ ทำให้เกิดส่วนผสมของไอน้ำมันกับอากาศที่จะจุดติดไฟได้เหนือผิวหน้าของน้ำมัน เมื่อมีเปลวไฟเป็นตัวล่อ จุดวาบไฟมีความสำคัญในด้านอันตรายจากอัคคีภัยในการเก็บรักษา และใช้งานเท่านั้นไม่มีความสำคัญโดยตรงต่อการเผาไหม้ และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

2.11.8 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur content, ASTM D2622) กำมะถันในน้ำมันจะกัดกร่อนชิ้นส่วนของระบบหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซล และยังทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศเมื่อมีการเผาไหม้เครื่องยนต์ที่ใช้กำลังสูง อันตรายจากการกัดกร่อนจะน้อยกว่า เนื่องจากอุณหภูมิการทำงาน of เครื่องยนต์สูง

2.11.9 ปริมาณกากถ่าน (Carbon residue, ASTM D189) ปริมาณกากถ่านในน้ำมันอาจเป็นสาเหตุให้เครื่องยนต์ และหัวฉีดสกปรก จึงต้องมีข้อจำกัดทางด้านกากถ่าน

2.11.10 เถ้า (Ash, ASTM D482) คือ สารอนินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน สารเหล่านี้ทำให้เกิดการสึกหรอในเครื่องยนต์เพราะทำให้เกิดตะกอน และสิ่งสกปรกมากขึ้น

2.12 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Encinar และคณะ [4] ศึกษาการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันคาโนลา กับเอทานอล ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ อุณหภูมิ 25-75 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.25-1.5 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน 3:1 – 15:1 โดยใช้น้ำมัน 200 กรัม เวลาทำปฏิกิริยา 120 นาที ซึ่งตลอดการทดลองควบคุมตัวแปรต่างๆ ไปให้เหมือนกันหมด วิเคราะห์ความเข้มข้นของเอทิลเอสเตอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และทดสอบสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น ค่าความร้อน ค่าซีเทน จุดหมอก จุดไหลเท จุดวาบไฟ

จุดเผาไหม้ และค่าอุณหภูมิการกลั่น พบว่า ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้ คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เอทิลเอสเทอร์ที่ได้มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกันกับน้ำมันดีเซล

Lang และคณะ [10] ศึกษาการเตรียม เมทิล เอทิล 2-โพรพิลและบิวทิลเอสเทอร์จากน้ำมันคาโนลา น้ำมันลินซีดจากต้นแฟลกซ์ น้ำมันเมล็ดเรพและน้ำมันดอกทานตะวันด้วยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมอัลคอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเอทิลเอสเทอร์ คือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พร้อมกับกวนจนปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ เอทิลเอสเทอร์มีโอกาสเกิดเป็นอิมัลชันได้ง่าย ดังนั้นจึงใช้น้ำเกลืออุ่นๆ (50-60 องศาเซลเซียส) ล้างแทนการใช้น้ำเปล่าอย่างเดียวเพื่อลดการเกิดอิมัลชัน การใส่กรดแทนิกในน้ำ (ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก) จะช่วยล้างเบสออกได้ดีขึ้น แล้วกวนด้วยความเร็วปานกลาง สบู่ และแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกไปกับน้ำ หลังจากล้างน้ำ 3 ครั้งจึงนำไปคูดน้ำด้วยโซเดียมซัลเฟต วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเอสเทอร์ด้วยเครื่อง HPLC และวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ทดสอบลักษณะสมบัติทางกายภาพ และทางเชื้อเพลิง พบว่า เมทิล และเอทิลเอสเทอร์ของน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีค่าความหนืด จุดเกิดหมอก และจุดไหลเทใกล้เคียงกัน ขณะที่ เมทิล เอทิล 2-โพรพิลและบิวทิลเอสเทอร์มีค่าความร้อน และความหนาแน่นใกล้เคียงกันแต่ค่าความหนาแน่นยังคงสูงกว่าน้ำมันดีเซลแต่ความสามารถในการระเหยเป็นไอของเอสเทอร์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

Felizardo และคณะ [26] ศึกษาการทำปฏิกิริยาเมทานอลิซิสของน้ำมันที่ใช้แล้วและใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.2-1 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3.6:1 – 5.4:1 โดยใช้น้ำมัน 200 กรัม ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที วิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่า ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 4.8:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณเมทานอลหรือปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามีผลทำให้การแยกชั้นของกลีเซอรอล และเอสเทอร์ยากขึ้น และการทำให้ชั้นเอสเทอร์บริสุทธิ์ยากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณแอลกอฮอล์มากทำให้มีน้ำอยู่ในปฏิกิริยามากตามไปด้วย ไม่ว่าจะเป็นน้ำที่มีอยู่ในแอลกอฮอล์อยู่แล้วหรือน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา ซึ่งน้ำจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระหรือผลิตภัณฑ์เอสเทอร์และเกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันตามมา ทำให้ได้เกลือของกรดไขมันหรือสบู่เกิดขึ้น ซึ่งสบู่จัดเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่สามารถเชื่อมกลีเซอรอลและเอสเทอร์ไว้ ทำให้การแยกชั้นยากขึ้น

May และคณะ [29] ศึกษาการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนกับเมทานอล เอทานอลและไอโซโพรพานอล โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการตรวจวัดค่ากรดของน้ำมันตั้งต้น ในกรณีที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์สะเทินกรดก่อนทำปฏิกิริยา ภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ ใช้น้ำมัน 200 กรัม อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน 15.6:1 ซึ่งสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์และไอโซโพรพิลเอสเทอร์โดยใช้ภาวะในการทดลองเดียวกัน ทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงของแอลคิลเอสเทอร์กับน้ำมันดีเซล พบว่า แอลคิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนมีความหนืดอยู่ในช่วง 4.4 – 5.2 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย มีปริมาณซัลเฟอร์ต่ำและจุดวาบไฟสูง ดังนั้น แอลคิลเอสเทอร์จึงเป็นเชื้อเพลิงที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อการจัดเก็บและการขนส่ง สำหรับสมบัติทางเชื้อเพลิงของแอลคิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนแสดงดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 สมบัติทางเชื้อเพลิงของแอลคิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีน

Properties	Unit	Crude palm oil (CPO)			Crude palm stearin (CPS)			Diesel
		Methyl	Ethyl	Isopropyl	Methyl	Ethyl	Isopropyl	
Density @ 40 °C	Kg/L	0.855	0.857	0.854	0.857	0.858	0.856	0.823
Sulfur content	wt%	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.20
Viscosity @ 40 °C	$\times 10^{-6}$ m ² /s	4.4	4.7	5.2	4.5	4.8	5.2	4.0
Pour point	°C	15	12	6	18	15	15	15
Cloud point	°C	16	16	7	19	16	16	18
Heat value	MJ/kg	39.7	39.7	40.4	39.9	39.9	39.2	45.8
Flash point	°C	178	-	-	165	-	-	80

Foidl และคณะ [33] ศึกษาการใช้ไขมันจากสบู่ดำ 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Cobo Verde และพันธุ์ Nicaragua มาสังเคราะห์เมทิลและเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งในการเตรียมเมทิลเอสเทอร์ ใช้น้ำมันดิบ 2000 กรัม (2.3 โมล) ผสมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม (0.53 โมล) ที่ละลายในเมทานอล 331 กรัม (10.34 โมล) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้เมทิลเอสเทอร์ที่บริสุทธิ์ 1850 กรัม (ร้อยละ 92 โดยน้ำหนัก) ส่วนการเตรียมเอทิลเอสเทอร์ใช้น้ำมันดิบ 1000 กรัม (1.14 โมล) ผสมกับ 30 กรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (0.53 โมล) และเอทานอล 317.7 กรัม (6.9 โมล) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ได้เอทิลเอสเทอร์ 930 กรัม (ร้อยละ 88.4 โดยน้ำหนัก) ทดสอบสมบัติทางเคมี กายภาพ และเชื้อเพลิงของเมทิล และเอทิลเอสเทอร์ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่น่าสนใจคือ ค่าซีเทนซึ่งมีค่าสูง โดยเมทิลเอสเทอร์มีค่าซีเทนเท่ากับ 51 ส่วนเอทิลเอสเทอร์มีค่าซีเทนเท่ากับ 59 สำหรับสมบัติอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น เอสเทอร์ทั้งสองชนิดจึงเป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพ เมทิลเอสเทอร์นิยมผลิตมากกว่าเนื่องจาก ต้นทุนต่ำ แต่เอทิลเอสเทอร์ก็เป็นเชื้อเพลิงอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับประเทศที่ผลิตเอทานอลเองได้

Tashtoush และคณะ [34] ศึกษาภาวะที่เหมาะสมเพื่อเปลี่ยนไซส์ตัวที่ใช้แล้วไปเป็นเมทิลและเอทิลเอสเทอร์ ตัวแปรที่ศึกษาคือ เวลา (2 และ 3 ชั่วโมง) อุณหภูมิ (50 70 และ 90 องศาเซลเซียส) และร้อยละความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่มากเกินไป (100 150 และ 200) โดยใช้กรดซัลฟิวริก 2.25 โมลต่อลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าร้อยละความเข้มข้นของเอทานอลที่มากเกินไป 100 สามารถเปลี่ยนไซส์ตัวเป็นเอสเทอร์ได้มากกว่าใช้เมทานอล และได้เอทิลเอสเทอร์ที่มีความหนืดต่ำกว่าเมทิลเอสเทอร์ อุณหภูมิไม่มีผลโดยตรงต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของเอสเทอร์และความหนืด แต่อุณหภูมิทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ เวลา และอุณหภูมิมีผลเป็นอันตรกิริยาต่อกัน ภาวะที่เหมาะสมสำหรับแอลกอฮอล์ชนิดเอทานอลของงานวิจัยคือ ร้อยละความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่มากเกินไป 100 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสใช้เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง เกิดเอทิลเอสเทอร์ร้อยละ 78 โดยน้ำหนัก

Darmoko และคณะ [35] ศึกษาการเตรียมเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มกับเมทานอล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50, 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 วิเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์ เมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรอลโดยวิธี Gel Permeation Chromatography ผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปจนถึง 60 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดปฏิกิริยาของ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์คือ 0.018-0.191 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนักต่อหน้าที่ พบว่าที่อุณหภูมิสูง ๆ จะเกิดปฏิกิริยาของมอนอกลิเซอไรด์สูงกว่าไตรกลีเซอไรด์ ค่าพลังงานกระตุ้นของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์คือ 14.7, 14.2 และ 6.4 กิโลแคลอรี/โมลตามลำดับ

Fillieres และคณะ [36] ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดเรพกับเอทานอล โดยใช้โซเดียมเอทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 โดยใช้ น้ำมัน 100 กรัม ใช้เวลา 15 นาที ซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดเร็วมาก หลังจากเวลาผ่านไป 5 นาทีได้เอทิลเอสเทอร์ร้อยละ 94 และปฏิกิริยาเริ่มเข้าสู่สมดุลหลังจาก 30 นาที วิเคราะห์ความเข้มข้นของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยเครื่อง High-Performance Size-Exclusion Chromatography (HPSEC) ซึ่งสามารถวัดปริมาณของ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์ได้ นอกจากนี้ ได้เตรียมเอทิลเอสเทอร์โดยใช้ภาวะเดียวกันแต่ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 พบว่า น้ำที่มีอยู่ในปฏิกิริยามีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ เพราะ น้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชัน

Zhou และคณะ [37] ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอทานอลิซิสของน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันคาโนลา น้ำมันกับเอทานอลไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จึงใช้เตตระไฮโดรฟูแรน (THF) เป็นตัวทำละลายร่วมเพื่อให้น้ำมันกับเอทานอลละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง คือ โฟแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน 25 : 1 ถ้าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุลภายใน 6-7 นาที แต่ถ้าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุลภายใน 2 นาที เห็นได้ว่า อุณหภูมิและเวลา มีความสัมพันธ์กัน การทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็ว จึงใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาลดลง

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบและไฮปาล์มสเตียริน ในกระบวนการแบบกะด้วยวิธีทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (NaOH) พร้อมทั้งทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของเอทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องอ่างน้ำ (Water Bath)
2. ไบพัตคววนพร้อมมอเตอร์
3. กรวยแยก (Funnel)
4. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
5. ปีกเกอร์ (Beaker)
6. ขวดก้นกลม 3 คอ (Three Neck Bottle)
7. กระบอกตวง (Cylinder)
8. ชุดกรองสุญญากาศ
9. เครื่องควบแน่น (Condenser)
10. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump)
11. เครื่องระเหย (Evaporator)
12. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) แสดงดังรูปที่ 3.1
13. ปิเปตต์แบบอัตโนมัติ (Auto Pipette)
14. ขวดขนาดเล็ก (Vial 1.5 ml)
15. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ



รูปที่ 3.2 ภาพเครื่องหมุนเหวี่ยง



รูปที่ 3.3 ภาพชุดอุปกรณ์ทดลอง

3.3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. Ethanol, Analytical grade: BDH
2. Ethanol, Commercial grade: Fisher Scientific
3. Sodium hydroxide, Analytical grade: BDH
4. Sodium sulfate anhydrous, Analytical grade: Fisher Scientific
5. Sulfuric acid, Analytical grade: BDH
6. n-Heptane, Analytical grade: Fisher Scientific
7. Standard Ethyl Esters, Analytical grade: Dr.Ehrenstofer GmbH (D-86199 Augsburg, Germany)
8. Distillated water
9. Filter papers, Qualitative no.1: Whatman
10. Universal Indicator

3.4 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำมันปาล์มดิบ และไฮปาล์มสเตียรีน ซึ่งได้ความอนุเคราะห์มาจากบริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด น้ำมันปาล์มดิบมีลักษณะเป็นน้ำมันสีแดงเข้ม ส่วนไฮปาล์มสเตียรีนมีลักษณะเป็นไขสีขาว ให้ความร้อนแก่น้ำมันทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียสเพื่อให้เกิดกลายเป็นของเหลวใส แล้วนำน้ำมันมากรองสิ่งสกปรกออกก่อนนำมาใช้ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

3.5 ขั้นตอนการวิจัย

3.5.1 วิเคราะห์สมบัติสารตั้งต้น

- 3.5.1.1 ค่ากรด (Acid Value) ตามมาตรฐาน AOCS Cd - 3D - 63
- 3.5.1.2 ค่าแซพอนิฟิเคชัน (Saponification Value) ตามมาตรฐาน AOCS Cd - 3B -76
- 3.5.1.3 ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid Content) ตามมาตรฐาน AOCS Ca 5A-40
- 3.5.1.4 ค่าไอโอดีน (Iodine Value) ตามมาตรฐาน AOCS Cd1 - 25
- 3.5.1.5 ชนิดและปริมาณกรดไขมัน (Fatty Acid Composition) ตามมาตรฐาน AOCS Ce - 2 - 66
- 3.5.1.6 ค่าความหนืด ตามมาตรฐาน ASTM D 445

3.5.1.7 จุดวาบไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D 93

3.5.1.8 ค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D 240

โดยดำเนินการวิเคราะห์ที่ภาควิชาเคมีเทคนิค ซึ่งวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก ยกเว้น รายการที่ 3.5.1.4 และ 3.5.1.5 ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์บริการทางวิชาการแบบเบ็ดเสร็จ กรมวิชาการเกษตร

3.5.2 ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง

3.5.2.1 ให้ความร้อนแก่น้ำมันประมาณ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อกำจัดน้ำ (ใช้น้ำมัน 100 กรัม)

3.5.2.2 นำตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสละลายในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตร (เอทานอล 65 กรัม และเบส 1 กรัม)

3.5.2.3 นำน้ำมันจากข้อที่ 1 มาให้ความร้อนจนอุณหภูมิของน้ำมันอยู่ที่ 75 องศาเซลเซียส แล้วนำสารละลายเอทานอลที่มีเบสละลายอยู่เทลงในขวดสามคอ ติดตั้งเครื่องกวน และต่อเครื่องควบแน่นไว้พร้อมกับกวนสารละลายภายในขวดสามคอและเริ่มจับเวลา ซึ่งใช้เวลาทดลอง 60 นาที แสดงชุดอุปกรณ์ทดลอง ดังรูปที่ 3.3

3.5.2.4 หลังจากเกิดปฏิกิริยาเสร็จเติมกรดซัลฟิวริกลงไปเพื่อสะเทินเบสที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา และเพื่อสลายการก่ตัวของสบู่ ซึ่งมีสาเหตุมาจากกรดไขมันทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส แล้วเทน้ำมันที่ได้ออกจากขวดสามคอ

3.5.2.5 นำน้ำมันจากข้อที่ 4 เข้าสู่เครื่องหมุนเหวี่ยง แยกโดยอาศัยความหนาแน่นที่แตกต่างกันของสาร เพื่อให้เอสเทอร์และกลีเซอรอลแยกชั้นประมาณ 30 นาที ลักษณะการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรอล แสดงดังรูปที่ 3.4

3.5.2.6 น้ำมันที่แยกเป็นสองชั้นแล้วให้นำเฉพาะส่วนบน (เอสเทอร์) ไปกลั่นเอทานอลออกจากเอสเทอร์

3.5.2.7 นำชั้นเอสเทอร์ไปล้างด้วยน้ำอุ่นจนกระทั่งน้ำที่ล้างเป็นกลาง

3.5.2.8 กำจัดน้ำที่เหลืออยู่ในเอสเทอร์ด้วยโซเดียมซัลเฟตแล้วกรองเกลือของซัลเฟตทิ้งด้วยชุดกรองสุญญากาศ

3.5.2.9 ทำการเก็บสารตัวอย่างประมาณ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อนำไปตรวจหาองค์ประกอบของเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 ลักษณะการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรอล (ก) ไชปาล์มสดเดี่ยว
(ข) น้ำมันปาล์มดิบ

หมายเหตุ

การกลั่นเอทานอลออกจากเอสเทอร์ที่ภาวะ 80 องศาเซลเซียส 150 มิลลิเมตรปรอท ทั้งนี้เนื่องจากสะดวกต่อการแยกชั้นกลีเซอรอลออกจากเอทิลเอสเทอร์

3.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณเอทิลเอสเทอร์

ใช้เทคนิคการหาปริมาณแบบ external standardization

3.5.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานจากเอทิลเอสเทอร์มาตรฐานที่ทราบน้ำหนักแน่นอน โดยละลายใน n-heptane จากนั้นนำพื้นที่พีคไปคำนวณหาความเข้มข้นจากการเขียนกราฟ calibration curve ในภาคผนวก ข เพื่อใช้หาปริมาณเอทิลเอสเทอร์

3.5.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างโดยการนำสารตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ละลายใน n-heptane จากนั้นฉีดสารตัวอย่างเข้าเครื่อง GC ปริมาณ 0.4 ไมโครลิตร โดยต้องเตรียมตัวอย่างให้ความเข้มข้นอยู่ในช่วงของ calibration curve

3.5.3.3 การเตรียมเครื่อง GC

ใช้คอลัมน์ชนิด Capillary รุ่น ZB-Wax ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร ติดตั้งกับเครื่อง GC 14B ของบริษัท SHIMADZU ภาวะที่ใช้ในการเตรียมเครื่อง GC แสดงไว้ในภาคผนวก ค

3.5.3.4 การพิจารณาผลการฉีดตัวอย่าง

เปรียบเทียบเวลาและพื้นที่ใต้กราฟของเอทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดในผลิตภัณฑ์ที่ได้กับเอทิลเอสเทอร์มาตรฐาน โดยหาปริมาณเอทิลเอสเทอร์จากการนำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการประมวลผลของเครื่อง GC เทียบกับ Calibration curve ของเอทิลเอสเทอร์มาตรฐานแต่ละชนิด

3.5.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์นั้นจะวิเคราะห์เฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ได้จากภาวะที่เหมาะสมเท่านั้น แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย

3.5.4.1 API ทดสอบโดยมาตรฐาน ASTM 1298

3.5.4.2 ค่าความหนืด ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 445

3.5.4.3 จุดวาบไฟ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 93

3.5.4.4 ค่าความร้อน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 240

3.5.4.5 ค่าการกลั่น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 86

3.5.4.6 ค่าซีเทน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 976

โดยดำเนินการวิเคราะห์ที่ภาควิชาเคมีเทคนิค ซึ่งวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1. ผลการศึกษาสมบัติสารตั้งต้นและน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

4.1.1 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชตัวอย่าง

น้ำมันปาล์มดิบ และไฮปาล์มสเตียรีนได้รับความอนุเคราะห์มาจาก บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด มีชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชตัวอย่าง

Fatty acid	Crude palm oil	Palm stearin	Analysis method
	wt. %	wt. %	
C16:0 Palmitic acid	42.46	58.19	
C18:0 Stearic acid	3.90	2.53	
Total saturated fatty acid	46.36	60.72	
C18:1 Oleic acid	41.45	30.83	AOCS Ce2-66,Ce1-62,1993
C18:2 Linoleic acid	11.87	8.45	
C18:3 Linolenic acid	0.32	-	
Total unsaturated fatty acid	53.64	39.28	

จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำมันปาล์มดิบและไฮปาล์มสเตียรีนมีองค์ประกอบกรดไขมันหลักคือ กรดปาล์มมิติก และกรดโอเลอิกในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ข้อมูลที่ได้ใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบ และไฮปาล์มสเตียรีนได้ 850.37 และ 838.25 ตามลำดับ นอกจากนี้ ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชมีผลต่อสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช ซึ่งสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบและไฮปาล์มสเตียรีนเทียบกับน้ำมันดีเซล แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบและไฮปาล์มสเตียรินเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล

Properties	High speed diesel*	Low speed diesel*	Crude palm oil	Palm stearin
Kinematics Viscosity (mm ² /s)	1.8-4.1	8 max.	41.84	N/D
Flash Point (°C)	52 min.	52 min.	330	380
Heating Value (MJ/kg)	-	-	39.54	39.38
Free Fatty Acid Content as Palmitic (wt.%)	-	-	5.11	0.17
Acid Value (mg KOH / g oil)	-	-	9.33	0.16
Saponification Value (mg KOH / g oil)	-	-	193.74	193.43
Iodine Value (g I ₂ / 100 g oil)	-	-	52.54	36.03

* Ref.[6]

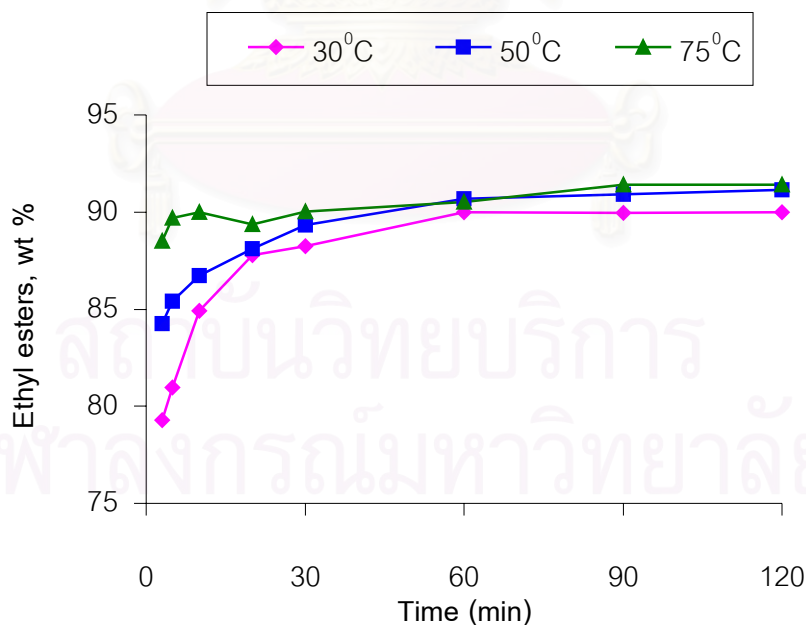
จากตารางที่ 4.2 พบว่า ความหนืดของน้ำมันพืชตัวอย่างมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งความหนืดสูงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อระบบหัวฉีดน้ำมันของเครื่องยนต์ โดยหัวฉีดจะไม่สามารถฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ สำหรับจุดวาบไฟเป็นสมบัติของน้ำมันพืชที่ทำให้ทราบว่าน้ำมันชนิดนั้นมีความสามารถในการระเหยมากหรือน้อย ซึ่งน้ำมันพืชตัวอย่างมีจุดวาบไฟที่มีค่าสูงมากทำให้มีความปลอดภัยในการเก็บรักษาและการขนส่ง แต่ทำให้มีความสามารถในการระเหยต่ำ การจุดระเบิดของเครื่องยนต์เป็นไปได้ยากโดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการลดความหนืดและจุดวาบไฟของน้ำมันพืชเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการนำน้ำมันไปใช้เป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระและค่ากรดทำให้ทราบว่าน้ำมันพืชมีกรดไขมันอิสระอยู่มากน้อยเพียงใด น้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมาก เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาจะต้องใช้ปริมาณเบสในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น เพราะปริมาณเบสส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในการสะเทินกรดไขมันอิสระและส่วนที่เหลือจึงเป็นส่วนที่ใช้ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าน้ำมันพืชชนิดนั้น ๆ สามารถเกิดพอลิเมอไรส์ได้มากหรือน้อย ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบมีค่าไอโอดีนสูงกว่าไฮปาล์มสเตียริน เนื่องจาก น้ำมันปาล์มดิบมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบปริมาณมากกว่าไฮปาล์มสเตียริน การเลือกใช้ น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิงจะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ในเครื่องยนต์ได้ และจากการแบ่งชนิดของน้ำมันพืชตามค่าไอโอดีนแล้ว ทั้งน้ำมันปาล์มดิบและไฮปาล์มสเตียรินจัดเป็นน้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำ [12]

4.2. ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำที่อุณหภูมิใกล้เคียงจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา ซึ่งเอทานอลมีจุดเดือดอยู่ที่ 78 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาไม่ควรเกินจุดเดือดของเอทานอลมากนัก ซึ่งถ้าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง เอทานอลส่วนหนึ่งจะระเหยออกไปก่อนการเกิดปฏิกิริยา แต่ปฏิกิริยาก็อาจเกิดขึ้นที่อุณหภูมิห้องได้ [4]

การศึกษาค่าอิทธิพลของอุณหภูมิของน้ำมันปาล์มดิบที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 9:1 ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 30 50 และ 75 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.1



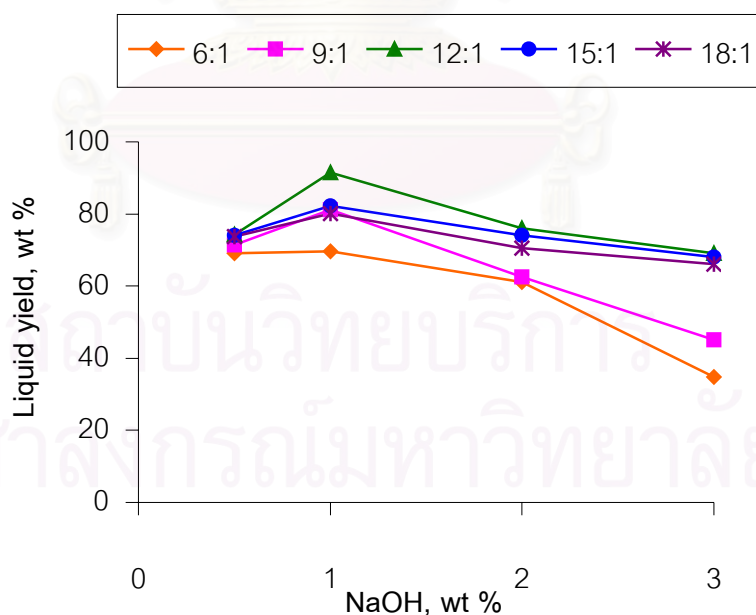
รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 9:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในเวลาต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ปฏิกริยาดำเนินไปอย่างรวดเร็ว เพียง 3 นาทีแรก ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์มีสูงถึง 79.28, 84.24 และ 88.50 ของอุณหภูมิ 30, 50 และ 75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของเอทิลเอสเทอร์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลง ส่งผลให้เอทานอลสามารถแทรกตัวเข้าไปทำปฏิกริยาได้มากขึ้น และปฏิกริยาสามารถเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้น โดยปฏิกริยาเข้าสู่สมดุลที่เวลา 30, 20 และ 5 นาที ที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิกับเวลา มีความสัมพันธ์กัน การทำปฏิกริยาที่อุณหภูมิสูง ทำให้ใช้เวลาในการทำปฏิกริยาล้นลง [37]

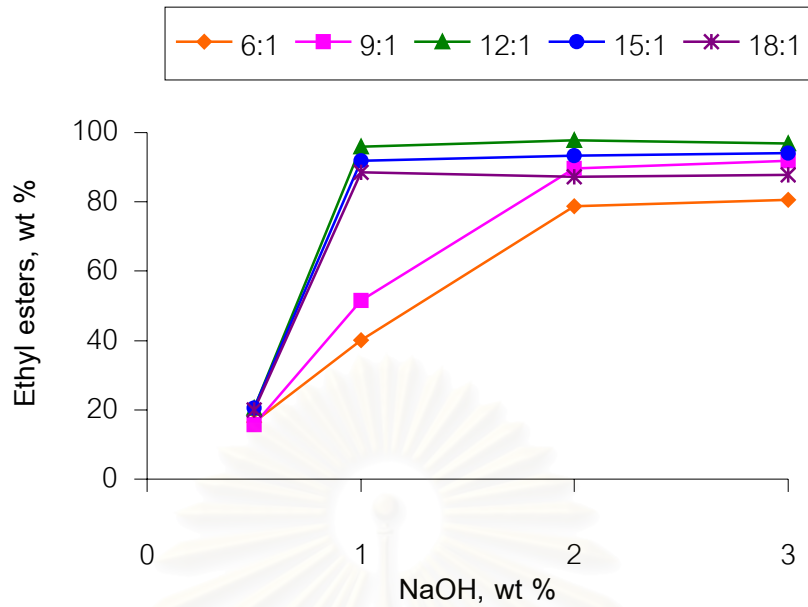
4.3. ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกริยา

4.3.1. ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับน้ำมันปาล์มดิบ

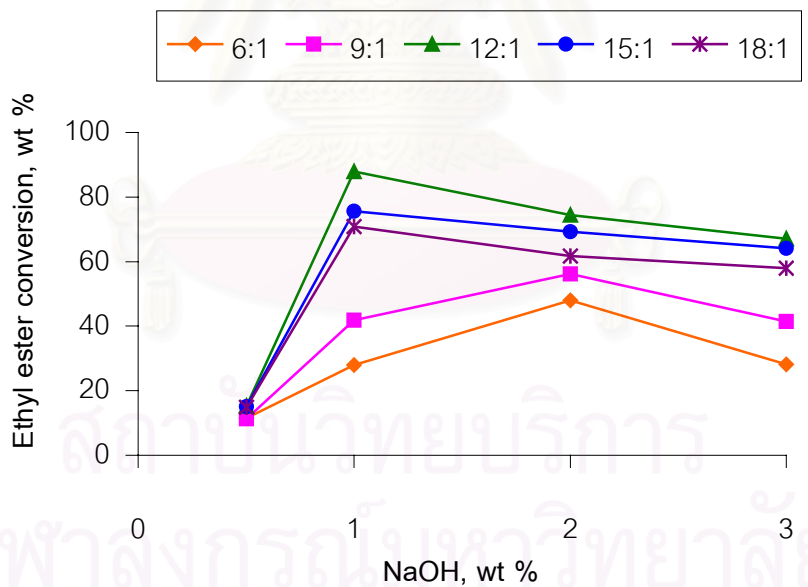
ศึกษาอิทธิพลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 ตามลำดับ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกริยา 60 นาที โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก แล้วทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ 3 แบบ คือ ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนแปลงแสดงดังรูปที่ 4.2-4.4



รูปที่ 4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลได้ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกริยา 60 นาที



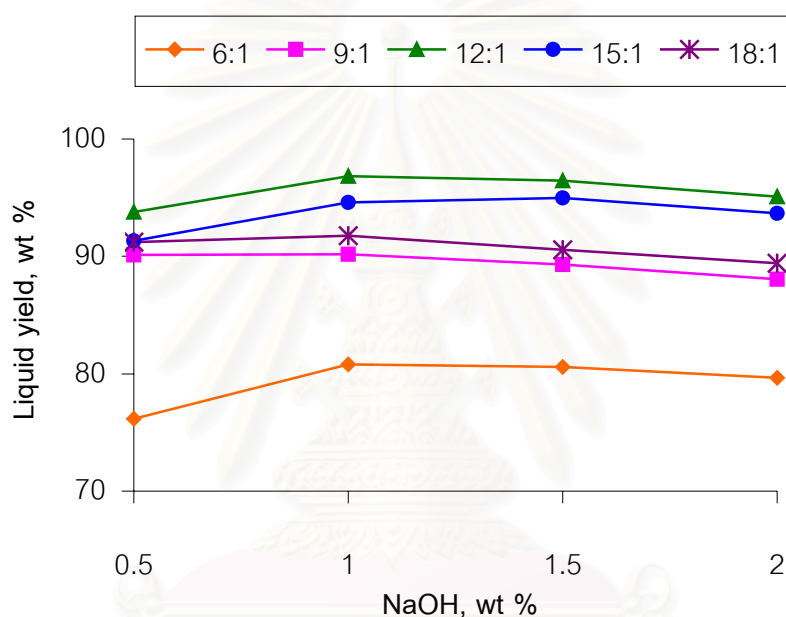
รูปที่ 4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ ในผลิตภัณฑ์ ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที



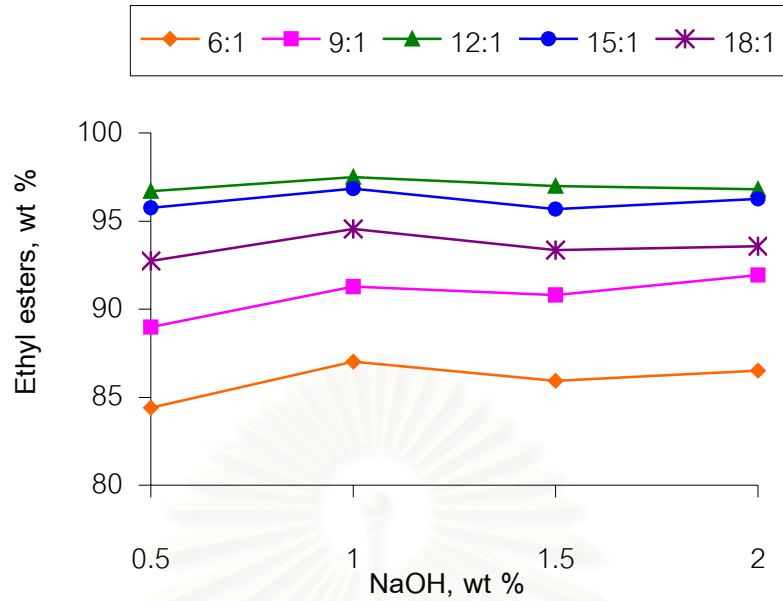
รูปที่ 4.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละการเปลี่ยน ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที

4.3.2. ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับไซปาล์มสเดียริน

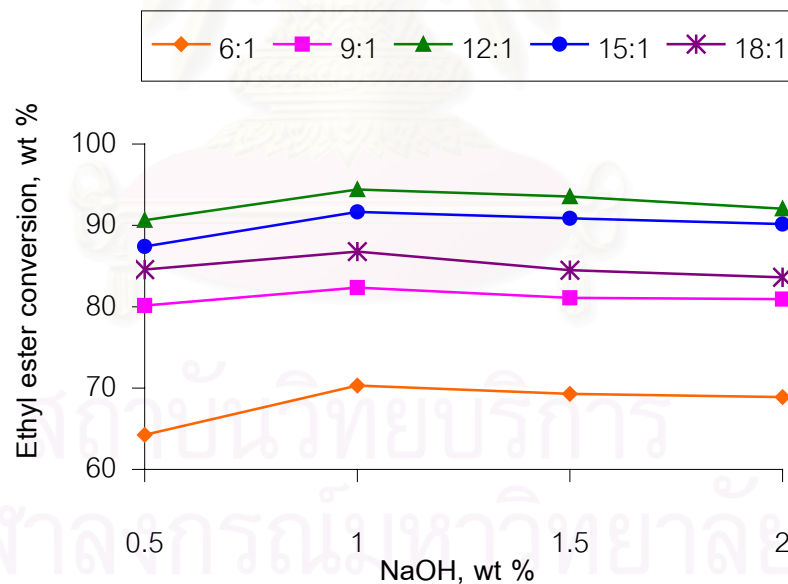
ศึกษาอิทธิพลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 ตามลำดับ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.5, 1, 1.5 และ 2 โดยน้ำหนัก แล้วทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ 3 แบบ คือ ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนแปลงแสดงดังรูปที่ 4.5-4.7



รูปที่ 4.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลได้ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที



รูปที่ 4.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที



รูปที่ 4.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละการเปลี่ยนที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที

การศึกษาผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากผลการทดลองพบว่า ร้อยละผลได้ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน

จากรูปที่ 4.2 และ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละผลได้ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ของน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีน ตามลำดับ พบว่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงร้อยละ 0.5 - 1 โดยน้ำหนัก ทำให้ร้อยละผลได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจาก การเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นเอสเทอร์มากขึ้น แต่ปริมาณเบสที่ใช้มีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันด้วยเช่นกัน ซึ่งถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระมากปริมาณเบสที่ใช้ทำปฏิกิริยาจะต้องเพิ่มขึ้นด้วย โดยเฉพาะน้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง

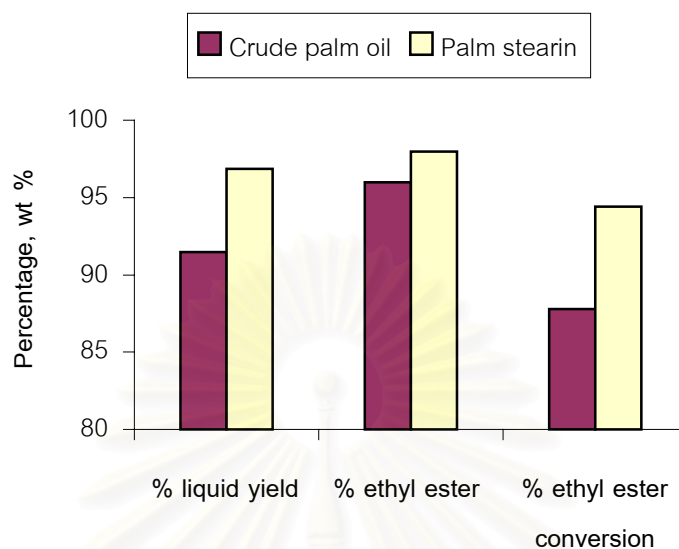
อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก กลับทำให้ร้อยละผลได้มีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก การเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไปโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชัน ดังสมการที่ 4.1 [26] ทำให้เกิดสบู่ซึ่งเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เชื่อมระหว่างเอสเทอร์กับกลีเซอรอล ทำให้การแยกชั้นของกลีเซอรอลออกจากชั้นเอสเทอร์ยากขึ้น ปริมาณเอสเทอร์ที่ได้จึงลดลง



จากรูปที่ 4.3 และ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ของน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีนตามลำดับ พบว่า ปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงร้อยละ 0.5 - 1 โดยน้ำหนัก และที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นแต่เป็นการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากรูปที่ 4.4 และ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเปลี่ยนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ของน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีน ตามลำดับ พบว่า ที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้ร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนสูงที่สุดคือ 87.79 และ 94.42 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จะเห็นว่า ที่ภาวะเดียวกันแต่ร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนที่ได้แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันตั้งต้นที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงนำร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิล

เอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนมาเปรียบเทียบกัน แสดงดังรูปที่ 4.8



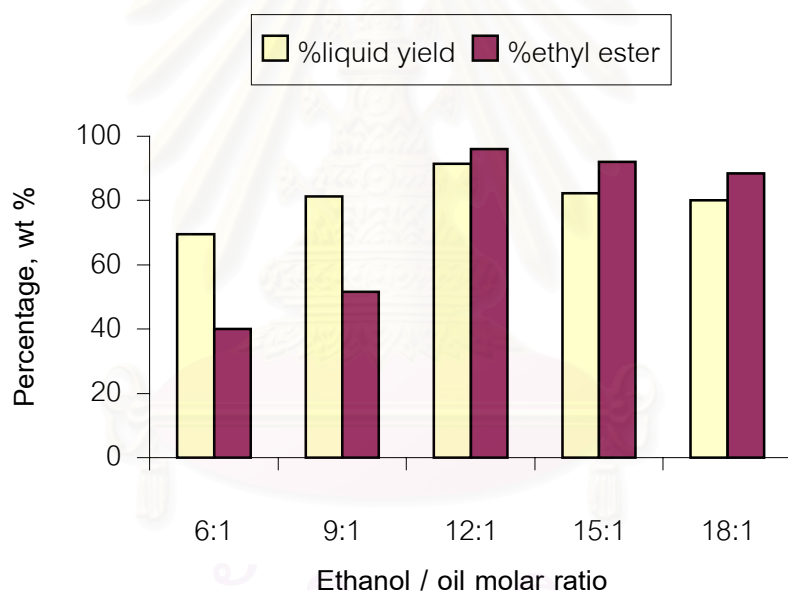
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบ ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์และร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีน

จากรูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบ ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีน พบว่า ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าต่ำกว่าของไขปาล์มสเตียรีน ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำมันปาล์มดิบเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง (ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 5.11 โดยน้ำหนัก) กว่าไขปาล์มสเตียรีน (ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.17 โดยน้ำหนัก) ดังนั้น น้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีน 100 กรัม มีปริมาณกรดไขมันอิสระ 5.11 กรัม (0.0199 โมล) และ 0.17 กรัม (0.0007 โมล) ตามลำดับ ซึ่งการทำปฏิกิริยาของน้ำมันทั้งสองชนิดใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเท่ากัน (0.025 โมล) แต่ น้ำมันปาล์มดิบต้องสูญเสียเบสจำนวน 0.796 กรัม (0.0199 โมล) เพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันอิสระ ดังสมการที่ 4.2 [23] ทำให้ในปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณเบสที่เหลือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพียง 0.204 กรัม (0.0051 โมล) ในขณะที่ไขปาล์มสเตียรีนมีปริมาณเบสที่เหลือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสูงถึง 0.972 กรัม (0.0243 โมล)

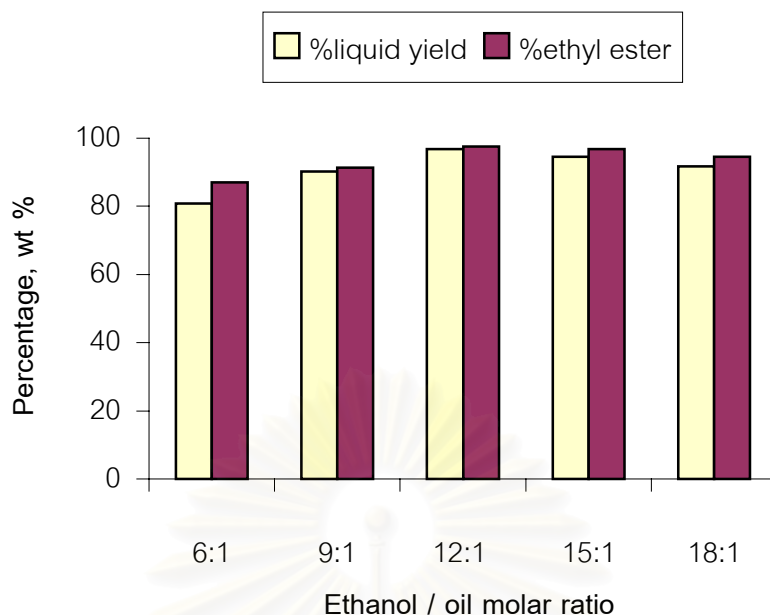


4.4. ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลกับน้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งสำหรับอัตราการเกิดเอทิลเอสเทอร์ จากการทำมวลสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต้องการ แอลกอฮอล์ 3 โมล และไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล เพื่อให้ได้เอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมล กับ กลีเซอรอล 1 โมล เนื่องจาก ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้จึงต้องใช้ ปริมาณแอลกอฮอล์ที่มากเกินไปเพื่อผลักดันสมดุลไปทางขวา และขจัดอิทธิพลของความเข้มข้นของ เอทานอล อัตราส่วนโดยโมลมีผลทำให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์ ดังนั้น ในการทดลองจึงทำการศึกษา อัตราส่วนโดยโมลที่ 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 ที่อุณหภูมิคงที่ โดยใช้ปริมาณโซเดียม ไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก แล้วทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ 2 แบบ คือ ร้อยละผลได้ และร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ของน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสดเคียวริน แสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณ ร้อยละผลได้ และปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ของน้ำมันปาล์มดิบ โดย ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และ เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที



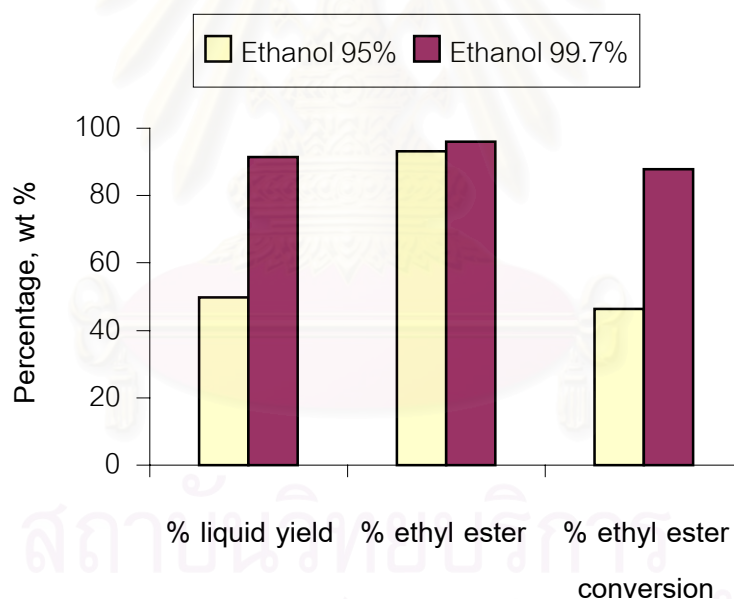
รูปที่ 4.10 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลได้ และปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ของไซปาล์มสเตียรีน โดยใช้ปริมาณไซเตียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันกับปริมาณร้อยละผลได้ และปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ของน้ำมันปาล์มดิบ และไซปาล์มสเตียรีน ตามลำดับ พบว่า การเพิ่มปริมาณเอทานอลมากขึ้น จะทำให้ปริมาณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลมากกว่า 12:1 ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเอทานอลส่วนหนึ่งจะละลายในชั้นของกลีเซอรอล นอกจากนี้ในเอทานอลมีน้ำอยู่ร้อยละ 0.3 โดยปริมาตร ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นด้วย โดยน้ำสามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไตรกลีเซอไรด์กรดไขมันอิสระหรือผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ ดังสมการที่ 4.3 และเกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันตามมา ทำให้ได้เกลือของกรดไขมันหรือสบู่ตัวเอง [26] ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงลดลง ซึ่งจากการทดลอง จะเห็นปริมาณสบู่เพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน

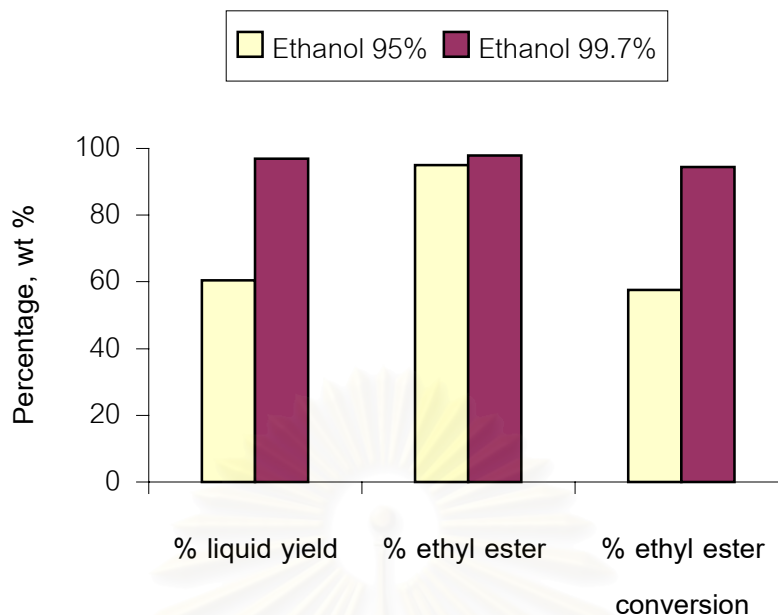


4.5. ผลของการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร

โดยทั่วไป ปฏิกริยาเอทานอลิซิสทำภายใต้ภาวะที่ปราศจากน้ำ เนื่องจาก น้ำมีความเป็นขั้วมากกว่าและขนาดโมเลกุลเล็กกว่าเอทานอล ดังนั้น ถ้ามีน้ำอยู่ในปฏิกริยา น้ำจะเข้าทำปฏิกริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้เร็วกว่าเอทานอล แต่การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตรแทนเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตร ช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ เมื่อทำการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่ภาวะอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 12:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลาทำปฏิกริยา 60 นาที แล้วนำร้อยละผลได้ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนที่ได้จากการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตร ที่ภาวะเดียวกัน ทั้งของน้ำมันปาล์มดิบ และไฮปาล์มสเตอริน แสดงดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบ ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์และร้อยละการเปลี่ยน เมื่อสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตร ที่ภาวะเดียวกันของน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบ ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์และร้อยละการเปลี่ยนแปลงเมื่อสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตร ที่ภาวะเดียวกันของไซปาล์มสเตียริน

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบกันของ ร้อยละผลได้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนแปลง ซึ่งได้จากการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร และเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตร ที่ภาวะเดียวกันทั้งของน้ำมันปาล์มดิบและไซปาล์มสเตียริน ตามลำดับ พบว่า การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร ทำให้ได้ร้อยละผลได้ต่ำกว่าใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตรอย่างชัดเจน เนื่องจาก น้ำสามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระหรือผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ และเกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันตามมา ทำให้ได้เกลือของกรดไขมันหรือสบู่ [26] ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงลดลง นอกจากนี้ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ก็ลดลงแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อคิดเป็นร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบ และไซปาล์มสเตียรินที่ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร ได้ 46.42 และ 57.55 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งลดลงจากร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบ และไซปาล์มสเตียรินที่ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตร ถึงร้อยละ 39.05 และ 47.12 ตามลำดับ ดังนั้น การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตรจึงไม่เหมาะสม

4.6 ผลของการศึกษาสมบัติเอทิลเอเทอร์

เอทิลเอสเตอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบและไฮปาล์มสเตียร์น ควรทดสอบสมบัติก่อนนำไปใช้กับเครื่องยนต์ ซึ่งสมบัติของเอทิลเอสเตอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบและไฮปาล์มสเตียร์นเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนช้า และไบโอดีเซล แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติของเอทิลเอสเตอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบและไฮปาล์มสเตียร์นที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนช้า และไบโอดีเซล

Property	STANDARD OF LOW SPEED DIESEL AND BIODIESEL			Low speed diesel ^a	Ethyl ester ^b	Ethyl ester ^c
	Test method (ASTM)	Low speed diesel	Biodiesel			
Specific gravity at 15.6°C	D1298	0.92max	-	0.836	0.88	0.86
Kinematic viscosity, 40 °C (mm ² /s)	D445	8max.	1.9-6.5	3.4	5.68	4.82
Flash point (°C)	D93	52 min.	130 min.	77	158	152
Cetane index	D976	45 min.	47 min.	55	60.56	65.09
Heating value (MJ/kg)	D240	45.2min.	-	46	39.65	39.95

a) Ref.[38]

b) เอทิลเอสเตอร์ของน้ำมันปาล์มดิบ

c) เอทิลเอสเตอร์ของไฮปาล์มสเตียร์น

เอทิลเอสเตอร์ที่ได้จากภาวะที่เหมาะสมเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง พบว่าเอทิลเอสเตอร์ของน้ำมันปาล์มดิบ และไฮปาล์มสเตียร์นมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนช้า ถึงแม้ว่าความหนืดของเอทิลเอสเตอร์ทั้งสองมีค่าสูงกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลหมุนช้า แต่ค่าความหนืดของเอทิลเอสเตอร์ยังอยู่ในมาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนช้าและไบโอดีเซล ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำมันพืชตั้งต้นที่ใช้มีความหนืดสูงมาก และมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในน้ำมันจำนวนมาก

จุดวาบไฟของเอทิลเอสเตอร์สูงกว่าจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซล เอทิลเอสเตอร์ที่ได้จึงมีความปลอดภัยในการเก็บรักษาและการขนส่งมากกว่าน้ำมันดีเซล

ส่วนค่าดัชนีชี้แทนของเอทิลเอสเทอร์สูงกว่าค่าดัชนีชี้แทนของน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นผลดีต่อเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์ติดง่าย เกิดเขม่าน้อย นอกจากนี้ ในเอทิลเอสเทอร์มีออกซิเจนผสมอยู่ ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนของอากาศต่อน้ำมัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น

ถึงแม้ว่า ค่าความร้อนของเอทิลเอสเทอร์จะต่ำกว่าค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล แต่ข้อด้อยนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานเพราะการใช้เอทิลเอสเทอร์ทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง [8]

4.7 การเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น ๆ

การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้รับความสนใจจากนานาประเทศมาเป็นเวลานาน ซึ่งประเทศที่สนใจจะเลือกใช้พืชน้ำมันที่มีมากในแต่ละประเทศ ดังนั้น ภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ และสมบัติของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จึงขึ้นอยู่กับสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้ ซึ่งภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนที่ได้จากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ รั้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และรั้อยละการเปลี่ยนที่ได้จากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ

Author	Year	Reactants	Condition				Ethyl ester (wt.%)	Ethyl ester conversion (wt.%)
			EtOH/Oil	Catalyst	Temp.(°C)	Time(min)		
Fillieres, R. et al. ^a	1995	Rapeseed oil	6 : 1	NaOEt (1%)	80	15	-	93
Foidl, N. et al. ^b	1996	Jatropha oil	6 : 1	KOH (3%)	75	90	88.4	-
Encinar, J. et al. ^c	2002	Cynara oil	12 : 1	NaOH (1%)	75	120	94.5	-
Zhou, W. et al. ^d	2003	Sunflower oil	25 : 1	KOH (1.4%)	23	30	98.5	-
Thanatip, A. ^e	2004	Kernel palm oil	15 : 1	KOH (3%)	80	60	93.9	90
This work	2005	Crude palm oil					95.9	87.7
		Palm stearin	12 : 1	NaOH (1%)	75	60	97.4	94.4

a) Ref.[36] b) Ref.[33] c) Ref.[4] d) Ref.[37] e) Ref.[38]

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ และร้อยละการเปลี่ยนที่ได้ จากงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่น ๆ เนื่องจาก ภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์เอทิล เอสเทอร์ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชและแอลกอฮอล์ที่ใช้ โดยชนิดของ แอลกอฮอล์เป็นตัวกำหนดช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ที่ใช้ในที่นี้ คือ เอทานอล ดังนั้น จึงสามารถทำปฏิกิริยาได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิใกล้ จุดเดือดของเอทานอล และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแอลกอฮอล์มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประเภท ไฮดรอกไซด์ เนื่องจาก ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแอลกอฮอล์ไม่ก่อให้เกิดน้ำเพิ่มขึ้นในปฏิกิริยา แต่มี ราคาแพงจึงไม่เป็นที่นิยมใช้ งานวิจัยส่วนใหญ่จึงเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทไฮดรอกไซด์ซึ่งมี ราคาถูกกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทไฮดรอกไซด์ที่นิยมใช้ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ใน น้ำมันพืชแต่ละชนิด

จากมวลสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง เอทานอลต่อน้ำมันที่ 3:1 อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันเข้าสู่สมดุลต้องใช้ ปริมาณแอลกอฮอล์มากเกินไปเพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้า แต่ปริมาณแอลกอฮอล์ที่มาก เกินไปก็จะมีผลทำให้การแยกชั้นยากขึ้น ดังนั้น ค่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันที่ เหมาะสมของแต่ละปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับสมบัติของน้ำมันพืชแต่ละชนิด

4.8 การเปรียบเทียบเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันส่วนต่าง ๆ ของปาล์มน้ำมัน

เอทิลเอสเทอร์สามารถเตรียมขึ้นได้จากน้ำมันปาล์มส่วนต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ ไชปาล์มสเตียริน และน้ำมันปาล์มเมลิติน ซึ่งไชปาล์มสเตียริน และน้ำมันปาล์มเมลิตินเป็นน้ำมัน ส่วนที่ไม่นิยมใช้ในการบริโภค และมีปริมาณมาก น้ำมันพืชตั้งต้นทั้งสามส่วนนี้มีสมบัติที่แตกต่าง กัน ดังนั้น ภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ และสมบัติของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จึง แตกต่างกัน โดยเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มเมลิตินมีภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์ คือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 15:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 60 นาที [38] ส่วนเอทิล เอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบ และไชปาล์มสเตียริน มีภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์ เดียวกัน คือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 12:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 60 นาที ซึ่งสมบัติ

ของน้ำมันปาล์มเมล็ดใน น้ำมันปาล์มดิบ ไซปาล์มสเตียรีน และเอทิลเอสเทอร์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สมบัติของน้ำมันปาล์มเมล็ดใน น้ำมันปาล์มดิบ ไซปาล์มสเตียรีน และเอทิลเอสเทอร์ที่ได้

Property	Palm kernel oil (PKO)*	Crude palm oil (CPO)	Palm stearin (PS)	Ethyl esters		
				PKO*	CPO	PS
Acid Value (mg KOH / g oil)	24.58	9.33	0.16	-	-	-
Saponification Value (mg KOH / g oil)	143.22	193.74	193.43	-	-	-
Iodine Value (g I ₂ / 100 g oil)	-	52.54	36.03	-	-	-
Specific gravity at 15.6°C	-	-	-	0.88	0.88	0.86
Cetane Index	-	-	-	43.2	60.56	65.09
Flash point (°C)	240	330	380	77	158	152
Heating value (MJ/kg)	37.84	39.54	39.38	46	39.65	39.95
Kinematic viscosity, 40 °C (mm ² /s)	33.23	41.84	N/D	3.42	5.68	4.82
Liquid yield (wt.%)	-	-	-	95.8	91.46	96.86
Ethyl ester (wt.%)	-	-	-	93.9	95.99	97.48
Ethyl ester conversion (wt.%)	-	-	-	90	87.79	94.42

* Ref.[38]

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ของน้ำมันปาล์มเมล็ดใน น้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีนมีค่า 93.9, 95.9 และ 97.4 โดยน้ำหนัก ซึ่งสัมพันธ์กับค่ากรด ของน้ำมันตั้งต้นทั้งสามชนิด โดยน้ำมันที่มีค่ากรดสูงจะได้ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ต่ำ เนื่องจาก ต้องสูญเสียเบสที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจำนวนหนึ่งเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันอิสระ น้ำมันปาล์มเมล็ดในมีค่ากรดสูงกว่าน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีนมาก ดังนั้น การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มเมล็ดในจึงใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณมากถึงร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

เอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันทั้งสามชนิดมีสมบัติใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันแต่ละชนิด น้ำมันปาล์มเมล็ดในประกอบด้วยกรดไขมัน โมเลกุลเล็กโดยมีกรดลอริก (คาร์บอน 12) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งกรดลอริกมีน้ำหนักโมเลกุล 200.32 และมีจุดเดือด 131 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีนมีกรด ปาล์มิติก (คาร์บอน 16) และกรดโอเลอิก (คาร์บอน 18) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งกรดปาล์มิติก และกรดโอเลอิกมีน้ำหนักโมเลกุล 256.43 และ 282.47 ตามลำดับ และมีจุดเดือด 350 และ 286 องศาเซลเซียส ตามลำดับ [7] ทำให้ค่าความหนืด และจุดวาบไฟของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมัน ปาล์มเมล็ดในมีค่าต่ำกว่าเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสม ในการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีนทำปฏิกิริยากับเอทานอล โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

5.1.1 น้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เช่น น้ำมันปาล์มดิบ จะต้องใช้เบสปริมาณเพิ่มขึ้น เพราะปริมาณเบสส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในการสะเทินกรดไขมันอิสระและเบสส่วนที่เหลือจึงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แท้จริง

5.1.2 ผลของการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น ซึ่งภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ คือ ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ทำให้ปฏิกิริยาเริ่มเข้าสู่สมดุลโดยใช้เวลาเพียง 5 นาที

5.1.3 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีน โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีภาวะที่เหมาะสมเดียวกัน คือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 12:1 ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และปฏิกิริยาเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 5 นาที ร้อยละการเปลี่ยนที่ดีที่สุดของน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนคือ 87.79 และ 94.42 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ถึงแม้ว่า น้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรีนมีภาวะที่เหมาะสมเดียวกัน แต่ร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีนที่ได้แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันตั้งต้นที่แตกต่างกัน

5.1.4 การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีน โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่ภาวะอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 12:1 ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที พบว่า น้ำที่มีอยู่ในปฏิกิริยาจะมีผลทำให้ร้อยละผลได้ลดลง โดยน้ำสามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระหรือผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ และเกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันตามมา ทำให้ได้เกลือของกรดไขมันหรือสบู่เกิดขึ้น ดังนั้น ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงลดลง ซึ่งเมื่อคิดเป็นร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียรีน มีค่าเพียง 46.42 และ 57.55 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

5.1.5 เมื่อนำเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากภาวะที่เหมาะสมไปทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง พบว่า เอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสดเดียวรมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนช้า

5.2. ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปฏิบัติการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต้องคำนึงถึงปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมัน เพราะ ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระและน้ำสูงทำให้ร้อยละการเปลี่ยนลดลง เนื่องจาก เกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันได้สบู่แทน ดังนั้น ก่อนที่จะนำน้ำมันมาใช้ในการทำปฏิกิริยาควรลดปริมาณกรดไขมันอิสระโดยการใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์สะเทินกรดเหล่านั้นก่อน และใส่โซเดียมซัลเฟตคูดน้ำออกจากน้ำมันแล้วจึงกรองโซเดียมซัลเฟตออกจากนั้นจึงนำน้ำมันไปใช้ในการทำปฏิกิริยา

5.2.2 ควรสะเทินเบสในเอสเทอร์ด้วยกรดก่อนนำเอสเทอร์ไปล้างด้วยน้ำกลั่น เพราะจะทำให้ง่ายต่อการล้างเบสออก เนื่องจากเบสที่เหลืออยู่จะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำอุ่นที่ล้าง ทำให้เกิดอิมัลชันและส่งผลให้การแยกชั้นของเอสเทอร์กับน้ำยากขึ้น

รายการอ้างอิง

1. Bozbas, K. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. Renewable & Sustainable Energy Reviews (2005): 1-12.
2. Knothe, G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. Fuel Processing Technology 86 (2005): 1059-1070.
3. ดีเซลจากพืช ทางเลือกใหม่ของพลังงาน (ออนไลน์). สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน แหล่งที่มา :
[http:// www.doeb.go.th/dbd/knowledge/bio_diesel2.html](http://www.doeb.go.th/dbd/knowledge/bio_diesel2.html).
4. Encinar, J.M.; Gonzalez, J.F.; Rodriguez, J.J.; and Tejedor, A. Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. Oils with Ethanol. Energy & Fuels 16 (2002): 443-450.
5. Srivastava, A.; and Prasad, R. Triglycerides-based diesel fuels. Renewable & Sustainable Energy Reviews 4 (2000): 111-133.
6. รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2548 (ออนไลน์). กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน แหล่งที่มา: [http:// www.doeb.go.th/law/Oil/Diesel48_3.pdf](http://www.doeb.go.th/law/Oil/Diesel48_3.pdf)
7. Knothe, G.; Dunn, R.O.; and Bagby, M.O. Fuel and chemical from biomass, 1st ed., Washington: ACS Publication, 1996.
8. วัชระ ลอยสมุทร อู่ฟ้าวิศว์ ครอบงูทธ และสุรัชย์ ฝันแก้ว. การปรับปรุงน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต 3 (2542): 34-37.
9. Mittelbach, M. Diesel Fuel Derived from Vegetable Oils, VI: Specifications and Quality Control of Biodiesel. Bioresource Technology 56 (1996): 7-11.
10. Lang, X.; Dalai, A.K.; Bakhshi, N.N.; Reaney, M.J.; and Hertz, P.B. Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils. Bioresource Technology 80 (2001): 53-62.
11. สุมาลัย ศรีกำไลทอง พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล สมนึก อาษา และสุภัทรา มันสกุล. การพัฒนาเทคโนโลยีการแยกส่วนน้ำมันปาล์ม. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2529.

12. พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือก ?. กรุงเทพมหานคร : ฝ่ายสิ่งแวดล้อม
นิเวศวิทยาและพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย,
2544.
13. คณะกรรมาธิการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล.
พิมพ์ครั้งแรก. (ม.ป.ท.) แปลน กราฟิค , 2545, หน้า 28-96.
14. Demirbas, A. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic
supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey.
Energy Conversion & Management 44 (2003): 2093-2109.
15. Almeida, S.C.A.; Belchior, C.R.; Nascimento, M.V.G.; Vieira, L.S.R.; and Fleury, G.
Performance of a diesel generator fuelled with palm oil. Fuel 81 (2002):
2097-2102.
16. Ma, F.; and Hanna, M.A. Biodiesel production: a review. Bioresour. Technol. 70
(1999): 1-15.
17. Freedman, B.; Butterfield, R.O.; and Pryde, E.H. Preparation and properties of diesel
fuels from vegetable oils. Fuel 66 (1987):1372-8.
18. Lima, D.G.; Soares, C.D.V.; and Suarez, P.A.Z. Diesel-like fuel obtained by pyrolysis
of vegetable oils. J. Anal. Appl. Pyrolysis 71 (2004): 987-996.
19. Meher, L.C.; Sagar, D.V.; and Naik, S.N. Technical aspects of biodiesel production
by transesterification-a review. Renewable & Sustainable Energy Reviews
(2004): 1-21.
20. Barnwal, B.K.; and Sharma, M.P. Prospects of biodiesel production from vegetable
oils in India. Renewable & Sustainable Energy Reviews 9 (2005): 363-378.
21. Fukuda, H.; Kondo, A.; and Noda, H. Biodiesel fuel production by transesterification
of oils. J. Biosci. Bioeng. 92 (2001): 405-416.
22. Ma, F.; Clement, L.D.; and Hanna, M.A. The effect of catalyze and free fatty
acids and water on transesterification of beef tallow. Trans.ASAE 41
(1998a): 1261-1264.
23. Gerpen, J.V. Biodiesel processing and production. Fuel processing Technology 86
(2005): 1097-1107.
24. Tomasevic, G. Methanolysis of used frying oils. Fuel Process Technology 81 (2003):
1-6.

25. Mohamad, I. Evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. Bioresource Technology 85 (2002): 251-256.
26. Felizardo, P.; Correia, M.J.N.; Raposo, I.; Mendes, J.F.; Berkemeier, R.; and Bordado, J.M. Production of biodiesel from waste frying oils. Waste Management (2005): 1-8.
27. Freedman, B.; Pryde, E.H.; and Mounts, T.L. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. JAACS 61 (1984): 1638-1643.
28. Ma, F. The effect of mixing on transesterification of beef tallow. Bioresource Technology 69 (1999): 289-293.
29. May, C.Y.; Liang, Y.C.; Foon, C.S.; Ngan, M.A.; Hook, C.C.; and Basiron, Y. Key fuel properties of palm oil alkyl esters. Fuel 84 (2005): 1717-1720.
30. วิภา สุโรจนะเมธากุล. คุณสมบัติและประโยชน์ของกลีเซอรอล. วารสารอาหาร 33 (2003): 87-89.
31. Song, E. Chemistry of Diesel Fuels. 1st ed., Taylor & Francis, London, 2000.
32. ประเสริฐ เทียนนิมิตร ขวัญชัย สนิทพิทยสมบุญรณ์ และปานเพชร ชินินทร. เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. กรุงเทพมหานคร : (ม.ป.ท.): ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2546, หน้า 157-177.
33. Foidl, N.; Foidl, G.; Sanchez, M.; Mittelbach, M.; and Hackel, S. Jatropha Curcas L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua. Bioresource Technology 58 (1996): 77-82.
34. Tashtoush, G.M.; Al-Widyan, M.J.; and AJ-Jarrah, M.M. Experimental study on evaluation and optimization of conversion of waste animal fat into biodiesel. Energy Conversion & Management 45 (2004): 2697-2711.
35. Darmoko, D.; and Cheryan, M. Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor. JAACS 77 (2000): 1263-1267.
36. Fillieres, R.; Mlayah, B.; and Delmas, M. Ethanolysis of rapeseed oil: Quantitation of ethyl esters, mono-, di-, and triglycerides and glycerol by High-Performance Size-Exclusion Chromatography. JAACS 72 (1995): 427-432.
37. Zhou, W.; Konar, S.K.; and Boocock, D.G.B. Ethyl esters from the single-phase base-catalyzed ethanolysis of vegetable oils. JAACS 80 (2003): 367-371.

38. ธนาทิพย์ อัครผดุงสิทธิ์. การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มเมล็ดในและเอทานอลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
39. ASTM Standard, D86. Distillation of Petroleum Products: American society for testing and materials. U.S.A.,1989.
40. ASTM Standard, D93. Flash Point by Pensky-Martens Closed Tester: American society for testing and materials. U.S.A.,1989.
41. ASTM Standard, D240. Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuel By Bomb Calorimeter: American society for testing and materials. U.S.A.,1989.
42. ASTM Standard, D445. Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids: American society for testing and materials. U.S.A.,1989.
43. ASTM Standard, D976. Calculated Cetane Index of Distillate Fuels: American society for testing and materials. U.S.A.,1989.
44. ASTM Standard, D1298. API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum products by Hydrometer Method: American society for testing and materials. U.S.A.,1989.
46. AOCS Official Method, Cd – 3d – 63, Acid Value: American Oil Chemical Society. U.S.A.,1997.
47. AOCS Official Method, Cd – 3b – 73, Saponification Value: American Oil Chemical Society. U.S.A.,1997.
48. AOCS Official Method, Ca – 5a – 40, Free Fatty Acids: American Oil Chemical Society. U.S.A.,1997.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์สมบัติสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

1. การหาค่ากรด (Acid Value) AOCS Official Method Cd – 3D - 63

1.1 เครื่องมือ

- 1.1.1 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.1.2 บิวเรต (burette) ขนาด 25 มิลลิลิตร

1.2 สารเคมี

- 1.2.1 สารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับไดเอทิลอีเทอร์ อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์
- 1.2.2 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอ้มลในเอทานอล
- 1.2.3 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 10 กรัม ในเอทานอล 1 ลิตร

1.3 วิธีการทดลอง

- 1.3.1 ชั่งตัวอย่าง 10 –20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.3.2 เติมสารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับไดเอทิลอีเทอร์ 150 มิลลิลิตร
- 1.3.3 ไตเตรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จนกระทั่งสารที่ได้เป็นสีชมพูอ่อน

1.4 การคำนวณค่ากรด

$$\text{ค่ากรด} = (56.1 \times T \times V) / m$$

โดย	V	=	ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, มิลลิลิตร
	T	=	ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, นอ้มล
	m	=	น้ำหนักตัวอย่าง, กรัม

2. การหาค่าแซพอนิฟิเคชัน (Saponification Value) AOCS Official Method Cd – 3b – 76

2.1 เครื่องมือ

- 2.1.1. ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.1.2. รีฟลักซ์คอนเดนเซอร์ (Reflux condenser) ยาว 30 เซนติเมตร
- 2.1.3. ปิเปตต์ ขนาด 25 มิลลิลิตร
- 2.1.4. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 2.1.5. เต้าให้ความร้อน (Heating mantle)

2.2 สารเคมี

- 2.2.1. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 นอมล ในเอทานอล
- 2.2.2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอมล
- 2.2.3. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

2.3 วิธีทดลอง

- 2.3.1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันพืช 1 – 2 กรัม ใส่ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.3.2. เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 25 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปตต์
- 2.3.3. รีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 2.3.4. เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนขณะยังร้อน แล้วไตเตรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน จนกระทั่งสารละลายใส
- 2.3.5. ทำการทดลองซ้ำโดยไม่ใช้ตัวอย่าง (blank) ด้วยวิธีเดียวกัน

2.4 การคำนวณ

$$\text{ค่าแซพอนิฟิเคชัน} = (56.1 \times T \times (V_0 - V_1)) / m$$

โดย	V_0	=	ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้กับ blank, มิลลิลิตร
	V_1	=	ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้กับตัวอย่าง, มิลลิลิตร
	T	=	ความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริก, นอมล
	m	=	น้ำหนักตัวอย่าง, กรัม

3. ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid Content) AOCS Official Method Ca 5A – 40

3.1 เครื่องมือ

3.1.1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.1.2. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

3.2 สารเคมี

3.2.1. เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร

3.2.2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอมล ในเอทานอล

3.2.3. ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

3.3 วิธีทดลอง

3.3.1. ชั่งตัวอย่าง 7 กรัมใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.3.2. เติมเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร ปริมาณ 75 มิลลิลิตร

3.3.3. ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอมล ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพู

3.4 การคำนวณ

3.4.1. น้ำมันส่วนใหญ่มีกรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลัก

$$\text{Free fatty acids as oleic, \%} = \frac{\text{ml of alkali} \times N \times 28.2}{\text{wt of sample}}$$

3.4.2. น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มเมล็ดในมีกรดลอริกเป็นองค์ประกอบหลัก

$$\text{Free fatty acids as lauric, \%} = \frac{\text{ml of alkali} \times N \times 20.0}{\text{wt of sample}}$$

3.4.3. น้ำมันปาล์มดิบมีกรดปาล์มิติกเป็นองค์ประกอบหลัก

$$\text{Free fatty acids as palmitic, \%} = \frac{\text{ml of alkali} \times N \times 25.6}{\text{wt of sample}}$$

โดย N = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, นอมล

4. ค่าความถ่วงจำเพาะ (API, ASTM D1298 Standard Test Method for API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum products by Hydrometer method)

4.1 เครื่องมือ

- 4.1.1 กระจกตวงปริมาตร 1000 มิลลิลิตร
- 4.1.2 ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)
- 4.1.3 เทอร์โมมิเตอร์

4.2 วิธีทดลอง

- 4.2.1 เทน้ำมันที่ต้องการจะทดสอบปริมาณ 800 มิลลิลิตร ลงในกระจกตวงปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 4.2.2 นำกระจกตวงปริมาตรที่มีน้ำมันบรรจุอยู่ใส่ลงไปในอ่างน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ
- 4.2.3 ลดอุณหภูมิของน้ำมันในกระจกตวงลงถึง 60 °F หรือ 15.56 °C
- 4.2.4 นำไฮโดรมิเตอร์หย่อนลงในน้ำมันช้า ๆ ระวังอย่าให้ไฮโดรมิเตอร์กระทบกับก้นของกระจกตวงปริมาตร และอย่าให้ผิวด้านข้างของไฮโดรมิเตอร์สัมผัสกับผนังกระจกตวงปริมาตรด้วยเช่นกันโดยให้ไฮโดรมิเตอร์ลอยอยู่เหนือก้นของกระจกตวงปริมาตร แล้วอ่านตัวเลขที่ก้านไฮโดรมิเตอร์ค่าที่อ่านได้คือค่า API
- 4.2.5 ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้ง ค่าที่ได้ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 0.2 °API
- 4.2.6 ค่า API ที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะได้โดย

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{Sp.Gr.60/60^{\circ}F} - 131.5$$

$$API = \text{ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์}$$

- 4.2.7 ถ้าไม่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำมันได้ที่ 60°F หรือ 15.56 °C ให้ลดอุณหภูมิให้ได้มากที่สุดโดยยังไม่เกิดไข จากนั้นนำค่า API ที่ได้มาคำนวณเปลี่ยนให้เป็นที่อุณหภูมิ 60°F หรือ 15.56 °C

$$API (60^{\circ}F) = (0.002 (60 - T) + 1) * API (T)$$

- API (60°F) = ค่า API ที่จากการคำนวณเปลี่ยนมาเป็นที่ 60°F
- T = อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำได้โดยไม่เกิดไข °F
- API (T) = ค่า API ที่ได้ที่อุณหภูมิต่ำๆ

5. ค่าความหนืด (Viscosity, ASTM D445 Standard Test Method for kinematics Viscosity of Transparent and Opaque Liquids)

5.1 เครื่องมือ

5.1.1 เครื่องมือวัดความหนืดแบบ Kinematic viscosity ตามมาตรฐาน

ASTM D445

5.1.2. นาฬิกาจับเวลา

5.1.3. หลอดแก้วที่มีคอคอด (Capillary tube)

5.1.4. เทอร์โมมิเตอร์

5.1.5. ลูกยาง และแก้วใส่น้ำมัน

5.2 วิธีทดลอง

5.2.1. เลือกขนาดของหลอดแก้วที่มีคอคอด (Capillary tube) ให้เหมาะสมกับชนิดและความหนืดของน้ำมัน

5.2.2. ปรับอุณหภูมิของอ่างน้ำมันที่ใช้แช่ Capillary tube ให้ได้อุณหภูมิ 40°C

5.2.3. นำน้ำมันมากรองสิ่งสกปรกและฝุ่นละอองออกก่อนทดลอง

5.2.4. ใส่น้ำมันลงใน Capillary tube ประมาณ 3 /4 ของกระเปาะด้านล่าง

5.2.5. นำ Capillary tube ไปแช่ในอ่างน้ำมันประมาณ 20 นาที เพื่อให้น้ำมันมีอุณหภูมิ 40 °C

5.2.6. ใช้ลูกยางดูดน้ำมันขึ้นมาให้พ้นขีดบนของกระเปาะแรกแล้วปล่อยลงมา

5.2.7. เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำมันผ่านขีดบนจนถึงขีดล่างของกระเปาะแรก นำเวลาที่ได้อ่านบนหลอดแก้ว

5.2.8. ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้ง ค่าที่ได้ควรแตกต่างกันเกิน 0.35 % ของค่าเฉลี่ย

$$V = K \cdot t$$

เมื่อ V = Kinematic Viscosity, mm²/s

K = ค่าคงที่ Viscometer, mm²/s²

t = เวลาที่ใช้ , วินาที

6. จุดวาบไฟ (Flash Point)

6.1 Cleveland Open Cup (ASTM D92 Standard Test Method for Flash Point and Fire Point by Cleveland Open Cup)

6.1.1. ใส่น้ำมันตัวอย่างลงในถ้วยทดสอบน้ำมัน (Oil cup) ให้พอดีกับขีดและอย่าให้มีฟองอากาศ

6.1.2. นำเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำมัน อย่าให้เทอร์โมมิเตอร์สัมผัสกับภาชนะและให้อยู่กึ่งกลางถ้วย

6.1.3. ให้ความร้อนกับน้ำมันให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 14°C ต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำมันเข้าใกล้จุดวาบไฟที่คาดไว้ ให้ลดความร้อนลงให้เหลือ 2°C ต่อนาที

6.1.4. จุดเปลวไฟทดสอบ

6.1.5. นำเปลวไฟทดสอบลากผ่านผิวหน้าของน้ำมันจากขอบด้านหนึ่งไปยังขอบอีกด้านหนึ่งให้ลากผ่านเป็นรูปกากบาท

6.1.6. เมื่อเกิดเปลวไฟขึ้น บันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้

6.1.7. ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้ง ค่าที่ได้ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 5°C

6.2 Pensky-Martens Closed Tester (ASTM D93 Standard Test Method for Flash Point by Pensky-Martens Closed Tester)

6.2.1. ใส่น้ำมันตัวอย่างลงในถ้วยทองเหลืองให้พอดีกับขีด และอย่าให้มีฟองอากาศ

6.2.2. นำถ้วยทองเหลืองใส่ลงในเครื่องทดสอบ

6.2.3. เปิดเครื่อง ตั้งโปรแกรม ASTM แล้วกด Start

6.2.4. เริ่มจุดไฟทดสอบเมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิ 50°C และเริ่มทดสอบ

6.2.5. ถ้าไฟยังไม่ติดให้ทดสอบทุก 2°C จนกระทั่งเปลวไฟติด

6.2.6. เมื่อเปลวไฟติด บันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้ อุณหภูมิที่อ่านได้คือจุดวาบไฟ

6.2.7. ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้ง ค่าที่ได้ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 5°C

7. ค่าความร้อน (ASTM D240 Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter)

7.1 เครื่องมือ

- 7.1.1. เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์
- 7.1.2. เส้นลวด (Fuse wire)
- 7.1.3. ถังออกซิเจน
- 7.1.4. เครื่องชั่งละเอียด

7.2 วิธีทดลอง

- 7.2.1. นำตัวอย่างใส่ลงในถ้วยน้ำหนัก 1 กรัม
- 7.2.2. นำถ้วยที่ใส่ตัวอย่างไปติดในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ แล้วนำลวดที่วัดความยาวแล้วไปผูกไว้ที่ปลายทั้ง 2 ข้างของแท่นยึด
- 7.2.3. เติมน้ำลงในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ประมาณ 1 มิลลิลิตร เพื่อดูดกลืนไอน้ำจากการสันดาป
- 7.2.4. นำกระป๋องแคลอริมิเตอร์เปล่าใส่ น้ำ 2000 กรัม
- 7.2.5. นำบอมบ์ที่ภายในใส่ตัวอย่าง และพันขดลวดเรียบร้อยแล้ว ปิดฝาให้แน่นนำไปบรรจุออกซิเจนให้มีความดัน 30 บาร์
- 7.2.6. ใส่บอมบ์ลงไปในถังแคลอริมิเตอร์ ต่อ Electrode socket บนบอมบ์
- 7.2.7. รอจนอุณหภูมิใน Water bucket คงที่จึงกดจุดระเบิดการเผาไหม้ บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้น และรอจนกว่าอุณหภูมิการเผาไหม้ได้ค่าสูงสุด บันทึกอุณหภูมิสุดท้าย
- 7.2.8. นำบอมบ์ออกแล้วค่อยๆ ลดความดันจนหมด ล้างภายในบอมบ์ด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง ใส่สารที่ได้ไว้ใน ปีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
- 7.2.9. นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรต (titrate) กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein indicator) เป็นอินดิเคเตอร์ บันทึก ปริมาณ NaOH ที่ใช้เป็นมิลลิลิตร
- 7.2.10 วัดความยาวลวดที่เหลือหลังการเผาไหม้บันทึกผลนำไปคำนวณ

$$Q = (C\Delta T - q_1 - q_2) / m$$

C = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเบนโซอิก

ΔT = อุณหภูมิหลังเผาไหม้ – อุณหภูมิก่อนเผาไหม้ ($^{\circ}\text{C}$)

$$\begin{aligned}
 q_1 &= \text{เทอมของค่าแก้ไขจากลวดหลังการเผาไหม้ (J)} \\
 &= 12.6 * \text{ความยาวลวดที่เผาไหม้ไป} \\
 q_2 &= \text{เทอมของค่าแก้ไขจากการเผาไหม้ของซัลเฟอร์และไนโตรเจน} \\
 &= 5,987 * \text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้ (ml)} \\
 m &= \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง} \\
 Q &= \text{ค่าความร้อนของสารตัวอย่าง}
 \end{aligned}$$

8. ค่าการกลั่น (Distillation, ASTM D 86 Standard Test Method for Distillation of Petroleum product)

8.1. เทน้ำมัน 100 มิลลิลิตร ใน ขวดกลั่น (Distillation flask) ระวังอย่าให้น้ำมันไหลออกจากก้นขวด

8.2. ประกอบ Distillation flask เข้ากับเทอร์โมมิเตอร์ปิดจุกคอรัคให้สนิท ปรับระดับเทอร์โมมิเตอร์ให้อยู่สูงประมาณก้นขวด

8.3. ต่อก้นขวดเข้ากับอุปกรณ์ควบแน่น (condenser)

8.4. ปิดรอยรั่วด้วยซิลิโคน (silicone grease) บริเวณข้อต่อต่างๆ

8.5. เปิดเครื่องให้ความร้อน โดยให้ของเหลวหยดแรกหยดออกมาภายใน 2 นาที

8.6. บันทึกอุณหภูมิทุก 10 มิลลิลิตร ของสารที่กลั่นได้

9. ค่าซีเทน (Cetane, ASTM D 976 Standard Test Method for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels)

9.1 ค่าซีเทนหาได้โดยการคำนวณจากสมการที่ 1 และ 2

$$CI = -420.34 + 0.016 G^2 + 0.192 G \log M + 65.01 (\log M)^2 - 1.809 \times 10^{-4} M^2 \quad (1)$$

โดย G = ค่า API

M = อุณหภูมิการกลั่น 50 เปรอร์เซ็นต์, ($^{\circ}F$)

$$\begin{aligned}
 CI &= 45.2 + 0.0892(T_{10}-215) + 0.131(T_{50}-260) + 0.0523(T_{90}-310) + 0.901B(T_{50}-260) \\
 &\quad - 0.420B(T_{90}-310) + 0.0049(T_{10}-215)^2 - 0.0049(T_{90}-310)^2 + 107.0B + 60.0B^2 \quad (2)
 \end{aligned}$$

โดย $B = e^{[-3.5(D-0.85)]} - 1$

T_{10}, T_{50}, T_{90} = ค่าอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 10, 50, 90 $^{\circ}C$ ตามลำดับ

D = ความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM D4052 (กิโลกรัมต่อลิตรที่ 15 $^{\circ}C$)

9.2 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าซีเทน

จากการหาค่าการกลั่นทำให้ทราบ T_{10} , T_{50} และ T_{90} ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยน้ำหนักในอัตราร้อยละ 10, 50 และ 90 ตามลำดับ และจากการหาค่า API ทำให้ทราบค่าความหนาแน่น ซึ่งค่าการกลั่น และค่าความหนาแน่นของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรินแสดงดังตารางที่ ก1

ตารางที่ ก1 ค่าการกลั่น และค่าความหนาแน่นของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียริน

Properties	Ethyl ester from crude palm oil	Ethyl ester from palm stearin
T_{10} ($^{\circ}\text{C}$)	340.5	341
T_{50} ($^{\circ}\text{C}$)	362	343.5
T_{90} ($^{\circ}\text{C}$)	415.5	364
$^{\circ}\text{API Gravity}$	29	31.3
Density (g/ml)	0.88	0.86

จากตารางที่ ก1 สามารถนำข้อมูลมาคำนวณค่าซีเทนของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้สมการที่ 1 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าซีเทน} &= -420.34 + 0.016 (29)^2 + 0.192(29)\log 683.6 + 65.01 (\log 683.6)^2 \\ &\quad - 1.809 \times 10^{-4} (683.6)^2 = 46.79 \end{aligned}$$

ค่าซีเทนของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรินที่ได้จากการใช้สมการที่ 1 ในการคำนวณมีค่า 46.79 และ 50.20 ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลมาคำนวณค่าซีเทนของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้สมการที่ 2 ได้ดังนี้

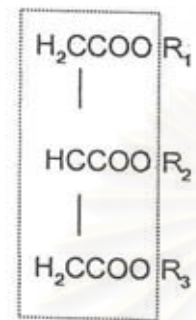
$$\begin{aligned} \text{ค่าซีเทน} &= 45.2 + 0.0892(340.5-215) + 0.131(362-260) + 0.0523(415.5-310) \\ &\quad + 0.901(-0.099)(362-260) - 0.420(-0.099)(415.5-310) + 0.0049 \\ &\quad (340.5-215)^2 - 0.0049(415.5-310)^2 + 107.0(-0.099) + 60.0(-0.099)^2 \\ &= 60.56 \end{aligned}$$

ค่าซีเทนของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบและไขปาล์มสเตียรินที่ได้จากการใช้สมการที่ 2 ในการคำนวณมีค่า 60.56 และ 65.09 ตามลำดับ

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณของผลิตภัณฑ์

1. การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม



ไตรกลีเซอไรด์

มวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ คำนวณโดย

$$MW_{TG} = 3R_{Aver} + 173$$

$$R_{Aver} = \sum \left(\frac{\%F_{an}}{100} \times MW_n \right)$$

จากตารางที่ 4.1 แสดงชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชตัวอย่าง ซึ่งสามารถนำมาคำนวณมวลโมเลกุลของน้ำมันปาล์มดิบได้จากสูตรข้างต้น

$$\begin{aligned} R_{Aver} &= (0.4246 \times 211) + (0.039 \times 239) + (0.4145 \times 237) + (0.1187 \times 235) + (0.0032 \times 233) \\ &= 225.79 \end{aligned}$$

$$3 R_{Aver} = 677.37$$

$$MW_{TG} = 850.37$$

สำหรับมวลโมเลกุลของไฮปาล์มสเตียรินสามารถคำนวณได้ด้วยวิธีเดียวกัน

$$\begin{aligned} R_{Aver} &= (0.5819 \times 211) + (0.0253 \times 239) + (0.3083 \times 237) + (0.0845 \times 235) \\ &= 221.75 \end{aligned}$$

$$3 R_{Aver} = 665.25$$

$$MW_{TG} = 838.25$$

2. การคำนวณร้อยละผลได้

$$\text{ร้อยละผลได้} = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์}}{\text{น้ำหนักของสารตั้งต้น}} \times 100$$

3. การคำนวณร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์

$$\%EE = \frac{\sum C \times 100}{W_i}$$

โดย

C = น้ำหนักของเอทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดที่ได้จาก Calibration curve (กรัม)

W_i = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่นำมาเตรียมเป็นสารละลาย (กรัม)

4. การหาชนิดของเอทิลเอสเทอร์และร้อยละการเปลี่ยน

4.1 การหาชนิดของเอทิลเอสเทอร์

ใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการวิเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ ซึ่งเอทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดจะมี retention time ไม่เท่ากัน โดยเทียบ retention time ของเอทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดของสารตัวอย่างกับ retention time ของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากสารละลายมาตรฐาน

4.2 การหาปริมาณเอทิลเอสเทอร์

การหาปริมาณเอทิลเอสเทอร์แต่ละชนิด ทำได้โดย Calibration curve ของเอทิลเอสเทอร์มาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

4.2.1 การคำนวณปริมาณเอทิลเอสเทอร์แต่ละชนิด

$$W_{MFA} = \frac{C \times W_p}{W_i}$$

โดย

W_{MFA} = น้ำหนักเอทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดในผลิตภัณฑ์ (กรัม)

C = น้ำหนักของเอทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดที่ได้จาก Calibration curve (กรัม)

$$W_p = \text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (กรัม)}$$

$$W_i = \text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่นำมาเตรียมเป็นสารละลาย (กรัม)}$$

4.2.2 การคำนวณร้อยละการเปลี่ยน

เนื่องจากรายงานวิจัยนี้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันปาล์มติก โอเลอิก ไลโนเลอิก ซึ่งคิดร้อยละการเปลี่ยนดังนี้

$$\text{ร้อยละการเปลี่ยน} = \frac{\text{น้ำหนักของเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์} \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น}}$$

5. ตัวอย่างการคำนวณ

ข้อมูลการคำนวณจากตารางที่ ค2

5.1 หาร้อยละผลได้

น้ำหนักของน้ำมัน	100	กรัม
น้ำหนักของผลิตภัณฑ์	91.46	กรัม
ดังนั้นร้อยละผลได้	=	[91.46 (กรัม) x 100 / 100 (กรัม)]
	=	91.46

5.2 หาร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์

หาความเข้มข้นของเอทิลเอสเทอร์ 3 ชนิด จาก Calibration curve ดังรูปที่ ข.1 – ข.3

เอทิลปาล์มมิเตต	3.038×10^{-3}
เอทิลโอเลอเตต	2.307×10^{-3}
เอทิล ไลโนเลอเตต	0.414×10^{-3}

น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่นำมาเตรียม.ในสารละลาย 1 มิลลิลิตร = 0.006 กรัม

ผลรวมของน้ำหนักเอทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดที่ได้ จาก Calibration curve

$$= (3.038 \times 10^{-3} + 2.307 \times 10^{-3} + 0.414 \times 10^{-3}) \quad \text{กรัม}$$

$$= 5.759 \times 10^{-3} \quad \text{กรัม}$$

$$\text{ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์} = [5.759 \times 10^{-3} \text{ (กรัม)} / 0.006 \text{ (กรัม)}] \times 100$$

$$= 95.99$$

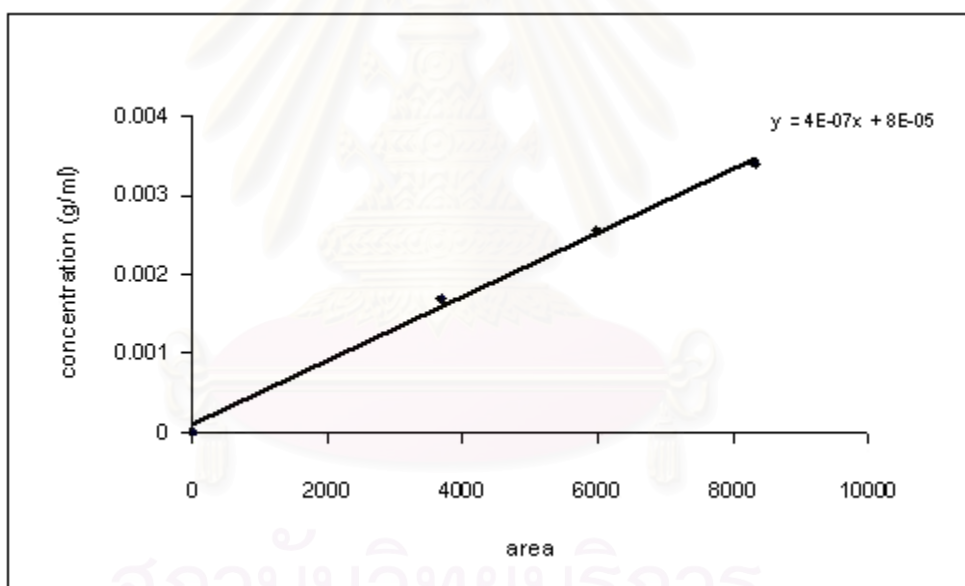
5.3 หาร้อยละการเปลี่ยน

จากข้อมูลหัวข้อ 5.2 ทำให้ทราบว่าร้อยละผลได้ 91.46 เกิดเอทิลเอสเทอร์ร้อยละ 95.99 ดังนั้น เมื่อคิดเป็นร้อยละการเปลี่ยน จะได้

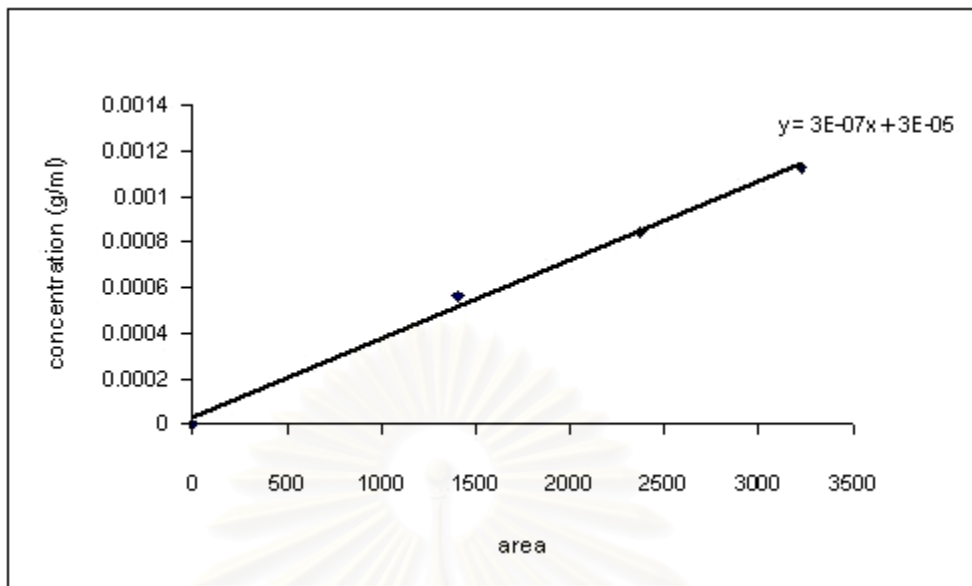
$$\begin{aligned}\text{ร้อยละการเปลี่ยน} &= [95.99 \times 91.46] / 100 \\ &= 87.79\end{aligned}$$

6. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

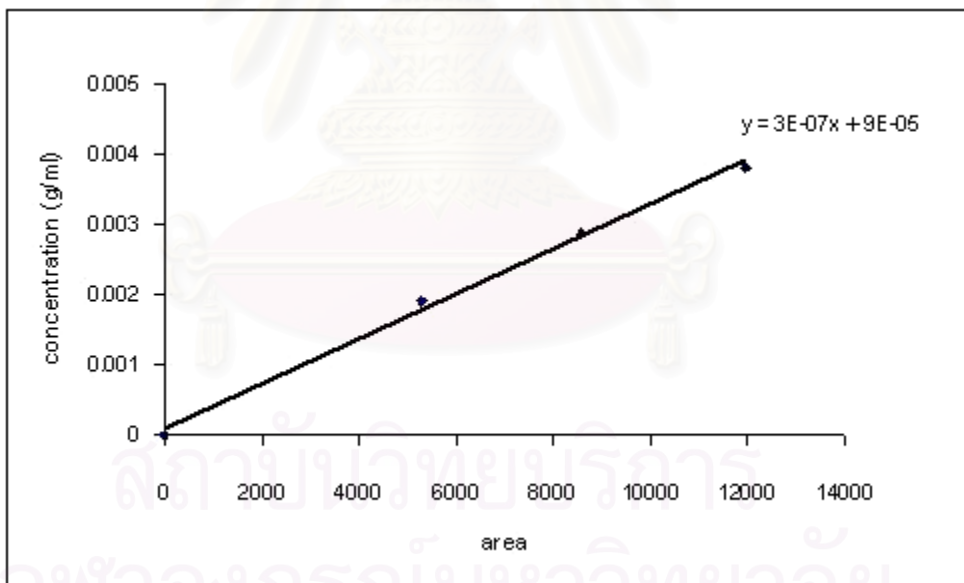
เตรียมสารละลายมาตรฐานจากเอทิลเอสเทอร์มาตรฐานที่ทราบน้ำหนักแน่นอน โดยละลายใน n-heptane จากนั้นนำพื้นที่พีคไปคำนวณหาความเข้มข้นจากการเขียนกราฟ calibration curve แสดงดังรูปที่ ข 1-ข 3



รูปที่ ข 1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานเอทิลปาล์มิเตต



รูปที่ ๒ Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานเอทิลโอเลเอต



รูปที่ ๓ Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานเอทิลโอเลเอต

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ค1 ข้อมูลการทดลองจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 9:1

Run	Temp. (°C)	Time (min)	%purity (wt.%)
1	30	3	79.28
2	30	5	80.95
3	30	10	84.90
4	30	20	87.78
5	30	30	88.25
6	30	60	89.97
7	30	90	89.96
8	30	120	89.99
9	50	3	84.24
10	50	5	85.42
11	50	10	86.73
12	50	20	88.11
13	50	30	89.34
14	50	60	90.67
15	50	90	90.92
16	50	120	91.15
17	75	3	88.50
18	75	5	89.68
19	75	10	89.98
20	75	20	89.36
21	75	30	90.02

Run	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Time (min)	%purity (wt.%)
22	75	60	90.53
23	75	90	91.39
24	75	120	91.42

ตารางที่ ค2 ข้อมูลการทดลองจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 60 นาที

Run	Molar Ratio	NaOH (wt%)	Result (wt%)		
			%yield	%purity	% conversion
1	6:1	0.5	69.12	16.52	11.43
2	6:1	1	69.67	40.15	27.87
3	6:1	2	61.11	78.75	48.13
4	6:1	3	34.87	80.65	28.12
5	9:1	0.5	71.49	15.78	11.27
6	9:1	1	81.32	51.55	41.84
7	9:1	2	62.67	89.65	56.16
8	9:1	3	45.27	91.91	41.51
9	12:1	0.5	74.33	20.54	15.35
10	12:1	1	91.46	95.99	87.79
11	12:1	2	75.94	97.87	74.45
12	12:1	3	69.25	96.97	66.91
13	15:1	0.5	74.11	20.44	15.28
14	15:1	1	82.37	91.95	75.72
15	15:1	2	74.14	93.37	69.26
16	15:1	3	68.14	94.17	64.18
17	18:1	0.5	73.87	20.16	14.83
18	18:1	1	80.13	88.45	70.86
19	18:1	2	70.64	87.31	61.67
20	18:1	3	66	87.79	57.94

ตารางที่ ค3 ข้อมูลการทดลองจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไฮปาล์มสเตียรินโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 60 นาที

Run	Molar Ratio	NaOH (wt%)	Result (wt%)		
			%yield	%purity	% conversion
1	6:1	0.5	76.14	84.40	64.26
2	6:1	1	80.82	87.03	70.33
3	6:1	1.5	80.59	85.93	69.25
4	6:1	2	79.64	86.50	68.89
5	9:1	0.5	90.11	88.97	80.17
6	9:1	1	90.19	91.28	82.32
7	9:1	1.5	89.33	90.79	81.10
8	9:1	2	88.03	91.92	80.91
9	12:1	0.5	93.76	96.68	90.65
10	12:1	1	96.86	97.48	94.42
11	12:1	1.5	96.46	96.97	93.54
12	12:1	2	95.11	96.78	92.04
13	15:1	0.5	91.31	95.74	87.42
14	15:1	1	94.62	96.84	91.63
15	15:1	1.5	94.99	95.67	90.87
16	15:1	2	93.66	96.25	90.15
17	18:1	0.5	91.23	92.71	84.57
18	18:1	1	91.78	94.56	86.78
19	18:1	1.5	90.55	93.33	84.51
20	18:1	2	89.41	93.56	83.65

ตารางที่ ค4 ข้อมูลการทดลองจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบ และไฮปาล์มสเตียรีนโดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 99.7 โดยปริมาตร ที่ภาวะ โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 12:1 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 60 นาที

Type of oil	Ethanol 95 vol.%			Ethanol 99.7 vol.%		
	%yield	%purity	% conversion	%yield	%purity	% conversion
Crude palm oil	49.81	93.20	46.42	91.46	95.99	87.79
Palm stearin	60.53	95.09	57.55	96.86	97.48	94.42

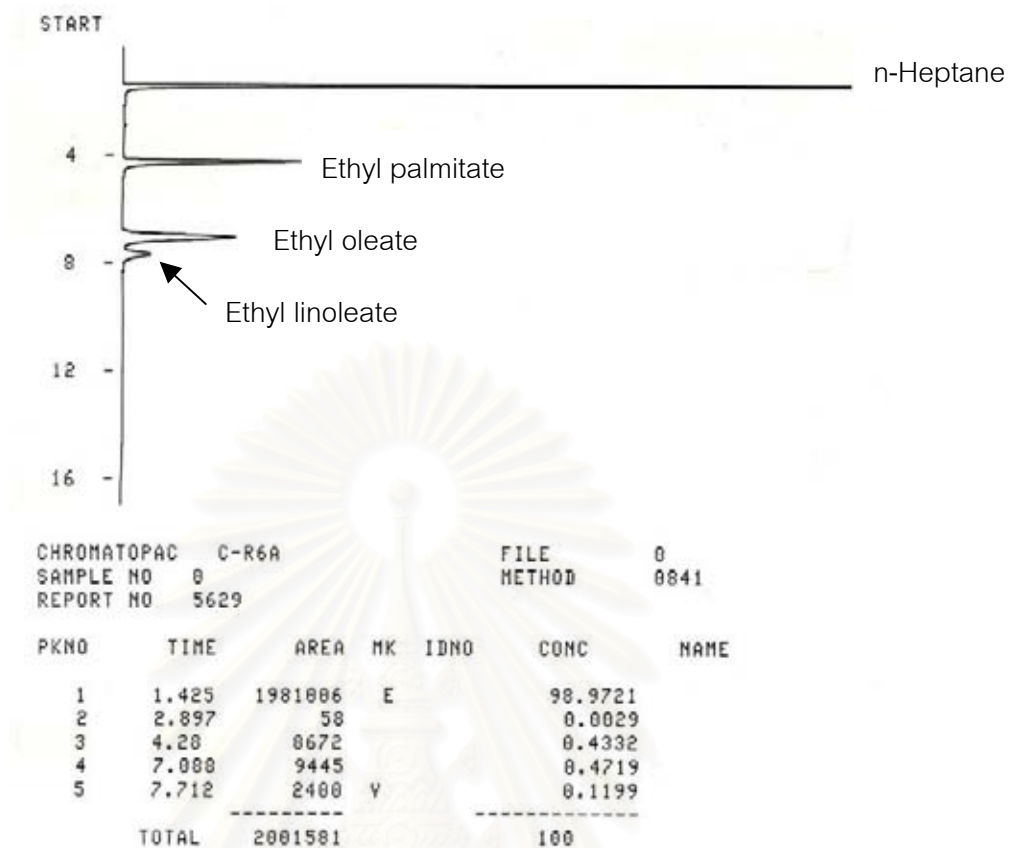
1. การเตรียมเครื่อง GC

การเตรียมเครื่อง GC มีการปรับภาวะที่ใช้ในการทดลองดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้นของคอลัมน์	220	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิสุดท้ายของคอลัมน์	220	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอินเจคเตอร์ (injector)	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิตัวตรวจวัด (detector) ชนิด FID	300	องศาเซลเซียส
เวลาที่คงที่ (hold time)	17	นาที
อัตราการไหลของก๊าซฮีเลียม	1	มิลลิลิตรต่อนาที
Split ratio	1:20	

โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานเอทิลเอสเทอร์ที่ได้ แสดงดังรูปที่ ค1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานเอทิลเอสเทอร์

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวบัวชุม อุดมทรัพย์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี
อุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชา
เคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย